



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS DA NATUREZA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
MESTRADO EM GEOGRAFIA

Fábio Vitorino Gomes

**ANÁLISE DA DINÂMICA HIDROGEOMORFOLÓGICA
DO CANAL DO ALTO CURSO DO RIO PARAÍBA**

LINHA DE PESQUISA: Gestão do Território e Análise Geoambiental

João Pessoa – PB

2023

Fábio Vitorino Gomes

**ANÁLISE DA DINÂMICA HIDROGEOMORFOLÓGICA
DO CANAL DO ALTO CURSO DO RIO PARAÍBA**

Defesa apresentada ao Programa de Pós-graduação em Geografia - Departamento de Geociências da Universidade Federal da Paraíba como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Geografia

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

João Pessoa – PB

2023

FICHA CATALOGRÁFICA

Catálogo na publicação Seção de Catalogação e Classificação

G633a Gomes, Fábio Vitorino.

Análise da dinâmica hidrogeomorfológica do canal do alto curso do Rio Paraíba / Fábio Vitorino Gomes. - João Pessoa, 2023.

115 f. : il.

Orientação: Jonas Otaviano Praça de Souza.
Dissertação (Mestrado) - UFPB/CCEN.

1. Geografia. 2. Hidrogeomorfologia. 3. Semiárido.
4. Escassez de água. I. Souza, Jonas Otaviano Praça de.
II. Título.

UFPB/BC

CDU 9(043)



Universidade Federal da Paraíba
Centro de Ciências Exatas e da Natureza
Programa de Pós-Graduação em Geografia

ATA DA SESSÃO PÚBLICA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DO ALUNO FÁBIO VITORINO GOMES, CANDIDATO AO TÍTULO DE MESTRE EM GEOGRAFIA, NA ÁREA DE TERRITÓRIO, TRABALHO E AMBIENTE.

Aos 14 (quatorze) dias do mês de dezembro de 2023 (dois mil e vinte e três), às 14:00 (quatorze) horas, na plataforma Google Meet, reuniram-se, em caráter de solenidade pública, os membros da comissão designada para avaliar Fábio Vitorino Gomes, candidato ao grau de mestre em Geografia, na área de Território, Trabalho e Ambiente. Foram componentes da banca examinadora os professores Joanas Otaviano Praça de Souza (orientador) – Doutor em Geografia; Richarde Marques da Silva (examinador interno) – Doutor em Geografia e Geislam Gomes de Lima (examinador externo) – Doutor em Geografia; sendo os dois primeiros integrantes do corpo docente da UFPB e o terceiro da URCA. Dando início aos trabalhos, o Presidente da banca, Prof. Joanas Otaviano Praça de Souza, após declarar os objetivos da reunião, apresentou o candidato Fábio Vitorino Gomes, a quem concedeu a palavra para que defendesse, oral e sucintamente, sobre o tema apresentado, intitulado: “ANÁLISE DA DINÂMICA HIDROGEOMORFOLÓGICA DO CANAL DO ALTO CURSO DO RIO PARAÍBA”. Após discorrer sobre o referido tema, o candidato foi arguido pelos examinadores, na forma regimental. Ato contínuo, passou a comissão em caráter secreto, a proceder à avaliação e julgamento do trabalho, concluindo por atribuir-lhe o conceito **APROVADO**. Face à aprovação, declarou o Presidente achar-se o avaliado legalmente habilitado a receber o Grau de mestre em Geografia, cabendo à Universidade Federal da Paraíba, providências, como de direito, à expedição do Diploma a que o mesmo fez jus. Nada mais havendo a tratar, foi lavrada a Ata, que segue assinada e aprovada pela Comissão Examinadora.

Prof. Dr. Jonas Otaviano Praça de Souza
Orientador

Documento assinado digitalmente



RICHARDE MARQUES DA SILVA
Data: 22/12/2023 10:11:20-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Richarde Marques da Silva
Examinador interno

Prof. Dr. Geislam Gomes de Lima
Examinador externo

DEDICATÓRIA

Dedico ao meu amado filho
Enzo Lukyan de Oliveira Vitorino.

AGRADECIMENTOS

Findado mais um ciclo em minha carreira acadêmica, percebo eu que todo trabalho, empenho, esforço e dedicação um dia valerão muito a pena. A pós-graduação já é por si só um caminho árduo com pequenos avanços significativos a cada dia e para quem trabalha, estuda, cuida do filho e tem todas as responsabilidades da sociedade moderna contemporânea, em uma aceleração virtiginosa do cotidiano, se torna ainda mais desbravante. Sendo assim, chegar ao final é o reconhecimento próprio de capacidade de se superar e suportar adversidades

Agradeço primeiramente aos meus pais, pois se não fosse por eles, biologicamente falando, eu não estaria aqui para cumprir esta estadia, neste “flash” de tempo geológico que, no geral, intitulam popularmente de “vida”. Agradeço por toda atenção, amor, carinho, dedicação, pois se não fosse todo esforço que meus pais fizeram por mim, talvez eu não pudesse estar aqui escrevendo esses agradecimentos. São pessoas que não tiveram acesso aos estudos e ensino de qualidade, tendo profissões (Doméstica e Pintor), onde se precisa batalhar muito para arrecadar “o pão de cada dia”, porém sempre me passaram a importância de estudar e sempre se dedicaram ao máximo para que eu tivesse a oportunidade que eles não tiveram. Quero deixar registrado meu profundo sentimento de gratidão e amor incondicional que eu tenho por esses dois seres humanos fantásticos, especialmente minha mãe, que até hoje se desdobra pra me ajudar no que pode. Por mais que eu diga e repita, ela ainda não vai ter a noção do quão ela é, foi e sempre será importante em minha vida. Portanto, Mãe (Maria José Vitorino) e pai (Geremias Gomes Aranha, com G mesmo), obrigado por tudo, eu amo vocês!

Ainda na parte do “primeiramente”, agradeço também a minha esposa amada, Luma de Oliveira Vitorino. Aqui não faltam agradecimentos, pois são 17 anos de união. Agradeço toda paciência, todo companheirismo, toda ajuda, toda dedicação. Sem você em minha vida eu não seria homem que sou hoje. Obrigado por ser meu porto seguro em momentos que precisei e também por gerar o amor mais puro em nossas vidas, nosso filho lindo Enzo Lukyan de Oliveira Vitorino.

Agradeço imensamente ao Prof. Dr. Jonas Otaviano Praça de Souza (cujo qual tenho enorme carinho e admiração) por toda orientação acadêmica, pois sem ele eu não poderia traçar todas as metas e objetivos que planejei. O admiro como professor, como pessoa e o considero um amigo. É um exemplo para mim e me incentiva a seguir no mundo acadêmico. Meu muito obrigado à você (amado mestre).

Agradeço aos meus colegas de grupo de pesquisa do GEAFS, pelo auxílio técnico e emocional na reta final deste trabalho, todos vocês são pessoas incríveis.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	10
LISTA DE TABELAS	12
1. INTRODUÇÃO.....	13
2. OBJETIVOS.....	15
2.1. Geral:.....	15
2.2. Específicos:	15
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	33
5. METODOLOGIA	42
5.1 Análise Hidrológica.....	42
5.2 Identificação e Monitoramento de Mudanças Morfológicas (Unidades Geomórficas)	52
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	57
6.1 Análise hidrológica - Pluviométrica.....	57
6.2 Análise hidrológica – Pluviométrica	67
6.3 Correlação dos dados de chuva e vazão	72
6.4 Análise temporal das modificações nas unidades geomórficas dos trechos selecionados	77
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	104
8. REFERÊNCIAS.....	106

RESUMO

A escassez de água é um dos indicadores mais importantes para a humanidade. Manter-se em constante atenção sobre essa temática é de crucial importância, pois essa escassez é uma das barreiras para o desenvolvimento social. Uma das formas de se combater o déficit hídrico, se dá por meio da introdução de fluxo fluvial de canais geralmente perenes, onde esse processo se realiza dentro de uma mesma bacia hidrográfica ou de outra bacia. Essa dinâmica de transferência de água por rios é denominada de transposição. O presente trabalho visou aprofundar as discussões sobre a dinâmica hidrogeomorfológica em ambientes fluviais semiáridos, mais especificamente na bacia do Alto Curso do Rio Paraíba onde se tem predominância de rios de regime intermitentes e efêmeros. A metodologia se voltou para a análise hidrológica da precipitação e da vazão em que a correlação dessas variáveis antes do início das operações do PISF (Projeto de Integração do Rio São Francisco) se mostrou positiva e posterior início das operações se deu de forma negativa. As análises dos trechos monitorados fornecidos pelas imagens geradas pelo VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado) identificou alterações nas unidades geomórficas encontradas no canal, corroborando com a estimativa de alteração da geomorfológica ocasionada pela introdução do fluxo fluvial gerado pelo PISF.

Palavras-Chaves: Semiárido; Hidrogeomorfologia; PISF; VANT

ABSTRACT

Water scarcity is one of the most important indicators for humanity. Remaining constant attention to this issue is of crucial importance, as this scarcity is one of the barriers to social development. One of the ways to combat water deficit is through the introduction of river flow from generally perennial channels, where this process takes place within the same river basin or another basin. This dynamic of water transfer by rivers is called transposition. The present work aims to deepen the discussion on hydrogeomorphological dynamics in semi-arid river environments, more specifically in the Upper Course basin of the Paraíba River where there is a predominance of intermittent and ephemeral rivers. The methodology focused on the hydrological analysis of evolution and flow in which the reflection of these variables before the start of operations of the PISF (São Francisco River Integration Project) proved to be positive and subsequent start of operations was negative. The analysis of the monitored sections provided by the images generated by the UAV (Unmanned Aerial Vehicle) shows changes in the geomorphic units found in the channel, corroborating the prediction of geomorphological changes caused by the introduction of the river flow generated by the PISF.

Keywords: Semi-arid; Hydrogeomorphology; PISF; UAV

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Modelo de Knox (1972).....	21
Figura 2: Regime de precipitação com alta produção de sedimentos.....	21
Figura 3: Presença da cobertura vegetal e queda no índice de produção de sedimentos	22
Figura 4: Diminuição do trabalho geomorfológico e retorno ao período seco.....	22
Figura 5: Zona hiporreica	27
Figura 6: Água armazenada entre os poros da zona hiporreica.....	28
Figura 7: Água armazenada entre os poros da zona hiporreica.....	29
Figura 8: Mapa de localização da área de estudo	34
Figura 9: Mapa Geológico do Alto Curso do Rio Paraíba	37
Figura 10: Mapa Geomorfológico do Alto Curso do Rio Paraíba.....	38
Figura 11: Mapa de isoietas da pluviometria média anual do Alto Curso do Rio Paraíba.....	39
Figura 12: Mapa da Drenagem do Alto Curso do Rio Paraíba.....	41
Figura 13: Etapas realizadas nos processamentos da pluviometriaFonte: Elaborado pelo autor ..	44
Figura 14: Exemplo de Análise Exploratória de Dados com Boxplot	47
Figura 15: Etapas realizadas nos processamentos da fluviometria.....	48
Figura 16: Equação do Coeficiente de Correlação de Pearson.....	50
Figura 17: Organograma das etapas realizadas nos processamentos de imagens	54
Figura 18: Mapa das estações pluviométricas analisadas.....	58
Figura 19: Gráfico Boxplot: Estações pluviométrica analisadas.....	64
Figura 20: Hidrograma das médias diárias do Posto Fluviométrico de Caraúbas.....	70
Figura 21: Gráfico do tempo de retorno da vazão - Posto Fluviométrico de Caraúbas	71
Figura 22: Gráfico da curva de permanência da vazão - Posto Fluviométrico de Caraúbas	72
Figura 23: Gráfico de correlação entre as estações pluviométricas e posto fluviométrico de Caraúbas (1994-2016)	73
Figura 24: Hidrograma da correlação entre as estações pluviométricas e posto fluviométrico de Caraúbas (1994-2016)	74
Figura 25: Gráfico de dispersão da correlação entre as estações pluviométricas e posto fluviométrico de Caraúbas (2017 - 2022).....	75
Figura 26: Hidrograma da correlação entre as estações pluviométricas e posto fluviométrico de Caraúbas (2017 - 2021)	76
Figura 27: Mapa da localização dos trechos analisados	77
Figura 28: Imagem do Google Earth (06/2013) do Trecho analisado no Congo antes do PISF... 78	
Figura 29: Mosaico das ortofotos analisadas no Congo pós PISF: - A: 01/10/2019; B: 04/12/2021; C: 18/12/2021; D: 19/02/2022.....	81

Figura 30: Imagem do Google Earth (01/2015) do Trecho analisado em Caraúbas antes do PISF.	83
Figura 31: Mosaico das ortofotos analisadas em Caraúbas pós PISF: E: 01/10/2019; F: 04/12/2021; G: 18/12/2021; H: 19/03/2022	86
Figura 32: Imagem do Google Earth (01/2015) do Trecho analisado em SDC2 antes do PISF. ..	88
Figura 33: Mosaico das ortofotos analisadas em SDC2 pós PISF: I: 01/10/2019; J: 04/02/2021; K: 04/12/2021; L: 19/03/2022	92
Figura 34: Imagem do Google Earth (08/2013) do Trecho analisado em SDC1 antes do PISF. ..	94
Figura 35: Mosaico das ortofotos analisadas em SDC1 pós PISF: M: 01/10/2019; N: 04/02/2021; O: 19/03/2022; P: 30/05/2022	97
Figura 36: Imagem do Google Earth (06/2016) do Trecho analisado em Cabaceiras antes do PISF.	99
Figura 37: Mosaico das ortofotos analisadas em Cabaceiras pós PISF: Q: 01/10/2019; R: 04/02/2021; S: 19/02/2022; T: 30/05/2022	102

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Identificação das estações pluviométricas selecionadas.....	43
Tabela 2: Classificação e interpretação da pluviosidade segundo IAC.....	46
Tabela 3: Classificação e interpretação do Coeficiente de Correlação de Pearson	52
Tabela 4: Lista de algumas unidades geomórficas reconhecidas em canal fluvial	55
Tabela 5: Precipitação acumulada (mm) de 1994* a 2022 cada estação selecionada.....	61
Tabela 6: Estatística descritiva do posto fluviométrico de Caraúbas de 1994 a 2021. (Média de vazão, Máximo de vazão, Mês com o máximo de vazão, Número de dias com vazão, Máximo de dias consecutivos com vazão e Máximo dias consecutivos sem vazão. * Valor arredondado para 0).....	68

LISTA DE SIGLAS

AESA	Agência Executiva de Gestão das Águas
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
GEAFS	Grupo de Estudos em Ambientes Fluviais Semiáridos
IAC	Índice de Anomalia de Chuva
MDE	Modelo Digital de Elevação
PISF	Projeto de Integração do Rio São Francisco
SDC	São Domingos do Cariri
UFPB	Universidade Federal da Paraíba
VANT	Veículo Aéreo Não Tripulado
VCAN	Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCIT	Zona de Convergência Inter Tropical

1. INTRODUÇÃO

Considera-se que a escassez de água é um dos indicadores mais importantes para a humanidade. Manter-se em constante atenção sobre essa temática é de crucial importância, pois essa escassez é uma das barreiras para o desenvolvimento social. Estudos da UN-Water (2005) apontam que nas próximas décadas a água pode se tornar um recurso estratégico, principalmente em regiões áridas e semiáridas do mundo. Historicamente nessas regiões, formulações de políticas públicas são elaboradas para resolver os problemas de insuficiência hídrica por meio de diversos recursos como construção de barragens, recarga de água subterrânea, dessalinização, recuperação de águas residuais e desenvolvimento de projetos de transferência de água. Na contramão deste debate existe um crescente número de evidências de que a escassez de água pode ser intensificada também por decisões governamentais equivocadas desenvolvidas para atender às crescentes demandas de água. Em regiões semiáridas, a transferência de água para o abastecimento humano, embora bem-vistas a curto prazo, podem trazer consequências secundárias, inicialmente não previstas, a longo prazo (GOHARI, 2013).

No decorrer dos anos a escassez hídrica no Nordeste do Brasil, especificamente na região que abrange o chamado semiárido brasileiro, vem ganhando cada vez mais destaque no cenário nacional, uma vez que, políticas públicas desenvolvidas para esta temática tem prioridade na gestão integrada de recursos hídricos, dado que o crescimento populacional nessa área necessita de uma maior disponibilidade hídrica (VIEIRA, 2003).

Uma das formas de se combater o *déficit* hídrico, se dá por meio da introdução de fluxo fluvial de canais geralmente perenes, com maior aporte de água bruta, mediante o redirecionamento de uma parte do seu curso para rios intermitentes (ou não), onde esse processo se realiza dentro de uma mesma bacia hidrográfica ou de outra bacia. Essa dinâmica de transferência de água por rios é denominada de transposição (AZEVEDO et al, 2005).

Para se compreender o foco do presente projeto de pesquisa, faz-se necessário explanar pelo menos de forma geral sobre o contexto em que ele está inserido. Ao se averiguar os estudos sobre transposição, é importante ter a compreensão de que os sistemas fluviais ali presentes, trabalham de uma maneira integrada, não podendo assim ser analisados de forma apartada, mas sim interpretados em um conjunto de unidades com relações diversas. Seus elementos constituintes como sua estrutura, sistematização e organização espacial promovem interações não-lineares, no qual mecanismos de estabilidade, evolução e retroalimentação

originam consequências complexas dentro de uma rede hidrográfica. No processo de transposição para o caso de rios intermitentes, a morfologia do canal e das planícies de inundação está adaptada à dinâmica intervalada do fluxo. O que se observa neste contexto é que quando há a introdução de água de um canal perenizado para um canal intermitente, acontecerá um aumento de sua vazão e seu fluxo a partir de então terá uma dinâmica sistematizada, resultando em impactos hidrogeomorfológicos, visto que agora, por onde não passava água de forma corriqueira, há um processo de escoamento contínuo, levando o sistema a se reajustar a novas conjunturas de um novo fluxo fluvial (DE MATTOS E PEREZ FILHO, 2004).

O presente projeto de pesquisa visa aprofundar as discussões sobre a dinâmica hidrogeomorfológica em ambientes fluviais semiáridos e sua evolução, onde predomina rios de regime intermitentes e efêmeros. Tal questão tem acentuada relevância, especialmente em um momento histórico de grandes mudanças hidrológicas de cunho antrópico, como é o caso do Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF), que altera o regime hidrológico de diversos rios no semiárido de Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte e Ceará. Deve-se entender que esse tipo de modificação no regime hidrológico representa uma mudança brusca em seus processos hidrossedimentológicos, especialmente a interação entre eventos de vazão (COSTA, ET AL., 2012; COSTA, ET AL., 2013; BRACKEN & CROKE, 2007; FIGUEIREDO, ET AL., 2016; BULL & KIRKBY, 2002), visto que a morfologia de um canal fluvial semiárido é resultante de uma dinâmica hidrológica baseado em pulsos de vazão e longos períodos de seca, alterando assim os processos de conectividade hidrológica (BRACKEN e CROKE, 2007; SANDERCOOCK e HOOKE, 2010; HOOKE, 2016).

É nesse cenário que o Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF) se insere, uma vez que a alteração do regime hidrológico do Alto Curso do Rio Paraíba já ocorreu devido a essa introdução artificial de fluxo. O grande debate acerca da transposição de água entre bacias, não se dá na proporção de que o canal receptor vai ter seu fluxo regularizado ou não. A grande questão é como o comportamento do canal irá se reajustar ao acontecer desequilíbrios naturais ou antrópicos. Se faz importante, efetuar o monitoramento constante para se obter respostas que elucidem a gestão recursos hídricos em uma área tão modificada, em um lugar historicamente tão pouco estudado como o semiárido tropical brasileiro. O projeto do PISF se interliga a bacia do Alto Paraíba, na região do Cariri Paraibano, através do eixo leste do projeto. Sendo assim, inicialmente este projeto de pesquisa tem o propósito de analisar e monitorar alterações no canal do Alto Curso do Rio Paraíba no semiárido paraibano que foi submetido a

este *input* hidrológico. O Alto Curso do Rio Paraíba, além do impacto de pequenos barramentos, teve sua dinâmica hidrológica natural afetada após começar a receber águas do PISF em março de 2017. A análise e monitoramento do canal do Alto Curso do Rio Paraíba possibilitará distinguir as respostas hidrogeomorfológicas visando identificar as alterações na dinâmica geomorfológica gerada pela operação do PISF.

2. OBJETIVOS

2.1. Geral:

Analisar o comportamento hidrogeomorfológico do canal principal Alto Curso do Rio Paraíba e suas diferenças processuais e morfológicas geradas após a implementação do Projeto de Integração do Rio São Francisco.

2.2. Específicos:

- Analisar o comportamento hidrológico (eventos de precipitação e a vazão) do Alto Curso do Rio Paraíba.
- Identificar e monitorar modificações morfológicas das unidades geomórficas do canal com ênfase no período das imagens dos aerolevantamentos (pós PISF).

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os referenciais abordados a seguir servem como base do entendimento epistemológico e prático do presente trabalho, uma vez que, sem esse alicerce conceitual teórico a compreensão das discussões vigora em caráter superficial, quando o foco é entender a proposta da complexidade nas temáticas abordadas. Estudos ambientais na Geografia, especialmente em trabalhos voltados a eixos específicos da área física (como por exemplo a geomorfologia) demandam uma percepção anterior sobre o que se está sendo apresentado.

Como a Geografia é uma ciência demasiadamente ampla, os estudos executados em suas linhas de pesquisa requerem um grau de conhecimento prévio do indivíduo que se habilita a desbravar os seus saberes. Portanto, essa fundamentação teórica busca apresentar uma visão global das temáticas praticadas, para que a percepção deste trabalho se apresente de forma completa e elucidadora, uma vez que os conceitos discutidos a seguir norteiam os processos posteriormente executados.

Factualmente na ciência, alguns métodos são estabelecidos como os que melhor evidenciam a realidade percebida pelos pesquisadores de uma determinada área do conhecimento. Nesse contexto, a racionalidade evolutiva do pensamento apresenta-se como processo de construção mental, por meio de premissas para integrar determinados saberes nos campos científicos (NHACUONGUE, 2022). Evidenciando a Geografia nessa perspectiva, percebe-se que a busca pelo seu método foi transitando por múltiplas linhas de pensamento (determinista, possibilista, positivista, crítica e neopositivista). Uma das mais recentes correntes que foi pautada como uma das que melhor explicam a realidade de um sistema ambiental físico foi a abordagem sistêmica (LIMBERGER, 2006).

A abordagem sistêmica surge em meados da década de 30, na concepção de assimilar o pensamento integrado e sistêmico dos elementos do mundo natural e também compreender, com certa previsibilidade, alterações que possivelmente pudessem acontecer em um sistema ambiental físico. O idealizador deste delineamento conceitual é o biólogo austríaco Ludwig Von Bertalanffy, que é o primeiro autor a formular um arcabouço teórico sobre sistemas, baseado na própria Biologia e na Termodinâmica. Posteriormente na década de 1950, Bertalanffy difunde a Teoria Geral dos Sistemas (TSG) com o objetivo de colaborar com a produção de conceitos que permitissem condições aplicáveis à realidade contemplando a ótica das questões científicas dos sistemas. Essa teoria define que conjuntos de vários elementos se relacionam, com uma certa organização. Bertalanffy propunha que a linguagem sistêmica oferecesse base a uma corrente científica que abrangesse diversos campos de

conhecimento (HAIG, 1985; DE MATTOS e PEREZ FILHO, 2003; SALES 2004; LIMBERGER, 2006; TAVARES et al, 2022).

A abordagem sistêmica impulsionou o desenvolvimento do campo Neopositivista na Geografia (conhecido como Nova Geografia ou Geografia Teorética) que pretendia usar perspectiva matemática para obter uma melhor exatidão em seus resultados, o que culminou em uma nova orientação de conceitos principalmente na Geomorfologia, na qual Strahler incorporou essa adaptação em seus estudos sobre sistemas de drenagem por volta da década de 50. Outros trabalhos (Hack (1960), Chorley (1962) Chorley e Kennedy (1971), por exemplo) também foram direcionados para essa, até então, nova linguagem da Geografia Física. Assim, dentro desse arcabouço, surge o estudo de Geossistemas com a lógica de que sistemas são abertos e tem organização hierárquica. Com essa nova gama de possibilidades para estudos em Geografia Física, vários autores começam a tentar desenvolver um conceito para Geossistemas. Os nomes que mais se destacam na busca por essa definição são Sotchava e Bertrand, no qual Sotchava dissemina que Geossistemas são formações naturais que são impactados pelos meios social e econômico, enquanto Bertrand define que o Geossistema é uma composição entre ações do homem, explorações de cunho biológico e potencial ecológico. Todavia a análise geográfica busca a interação e a inter-relação entre os fatores a serem analisados juntamente com os fenômenos que se desenvolvem no espaço (LIMBERGER, 2006 e TAVARES et al, 2022).

A perspectiva sistêmica defende o estudo das interações e inter-relações entre os elementos, não apenas os elementos e os processos isoladamente; adotando, assim, um exercício lógico que analisa os detalhes e ao mesmo tempo se preocupa com o todo. (CHORLEY e KENNEDY, 1971; DE MATTOS e PEREZ FILHO, 2004; GUERRA e MARÇAL, 2006). Essas relações são complexas e não lineares, assim, uma mudança na forma pode alterar os processos e mudanças nos processos podem alterar as formas, conhecidas como retroalimentação (CHORLEY e KENNEDY, 1971; THORNES e BRUNSDEN, 1977). No entanto, os sistemas podem ser abertos, fechados e isolados, além de admitir caráter de complexidade e irregularidade em seu comportamento. A compreensão desse caráter caótico é essencial para as abordagens sistêmicas complexas (VICENTE e PEREZ FILHO, 2003; DREW, 2005).

A complexidade resgata alguns conceitos que fundamentam a TGS como, por exemplo, a visão holística e o anti-reducionismo. Entretanto, a teoria da complexidade

incorpora o entendimento mais amplo de sistemas por reunir um estudo mais elaborado (MANSON, 2001), sendo um paradigma que permite abordar os vários sistemas complexos existentes dentro de um sistema, desde físicos até os sociais, a partir de um arcabouço teórico único. Os sistemas complexos definem um sistema como um todo organizado composto de elementos que se inter-relacionam de forma hierárquica e não linear. Os processos dinâmicos ocorridos com esses elementos são reconhecidos com comportamentos complexos de acordo com os avanços dos sistemas não-lineares (GOMES e VITTE, 2022). A não linearidade amplia a possibilidade de comportamentos complexos em sistemas considerados lineares, apesar de que nem todos os sistemas não lineares são complexos. A interação por si só entre elementos em sistema não forma um sistema se não forem capazes de criar algo que funcione como um todo integrado. Por outro lado, não é possível compreender totalmente esse todo se não se compreende quais são suas partes e como elas se inter-relacionam (PHILLIPS, 2001; DE MATTOS e PEREZ FILHO, 2004).

Como a complexidade trabalha com sistemas hierárquicos, os comportamentos não lineares podem surgir de interações locais desprezíveis entre os elementos que compõem o sistema através do tempo. Com isso, alterações na forma do comportamento do sistema não podem ser compreendidas sem referência de sub relacionamentos entre os elementos. A complexidade dentro do sistema fluvial se debruça em discernir como eles se modificam e evoluem ao longo tempo devido à interação de suas partes constituintes. Isso implica, por exemplo, nas formas das interações de estrutura dos sistemas fluviais que são organizados de maneira hierárquica e se apresentam com características complexas que emergem de uma grande quantidade de fatores e processos que os modelam em diferentes escalas de espaço-tempo (MANSON, 2001, TURNBULL et al, 2018).

Especificamente na geomorfologia, os comportamentos complexos necessitam estar relacionados a significativos processos históricos, padrões, relações ou estruturas que possam ser observados na paisagem. Dentro de sistemas geomórficos, a identificação de comportamentos e a multiplicidade de possíveis controles não lineares não é incomum e nem se apresentam de forma isolada em feições de relevo e processos na superfície. A identificação desses comportamentos é de fundamental importância para previsão, explicação e aplicação de estudos em geomorfologia. A não linearidade é identificada nos sistemas ambientais físicos e isso estabelece um cenário com uma gama de possibilidades de eventos complexos (PHILLIPS, 2003, RAMING, et al 2019).

O sistema ambiental físico é representado por uma sistematização geográfica vinda da interação dos objetos (elementos) físicos da natureza. Para o estudo do sistema ambiental físico é necessário levar em consideração quatro conceitos: uniformidade dos processos, limiares de mudança, evolução da paisagem e respostas complexas. A uniformidade dos processos seria a permanência das leis físicas no espaço e no tempo. O limiar de mudança seria o nível de energia necessária para levar a uma alteração no estado do sistema. A evolução da paisagem está relacionada com o estado atual da paisagem e sua alteração no tempo, geológico ou humano. E as respostas complexas estariam relacionadas às respostas e ajustes do sistema às mudanças, às retroalimentações, às inúmeras variáveis envolvidas (BRUNSDEN, 2001; PHILLIPS, 2012). O debate em torno desse sistema se dá por como se apresentam as ordens de comportamento não-lineares, ou seja, não existe um sistema que seja certo e contínuo, mas sim, um sistema no qual acontece a imprevisibilidade, mesmo se ele não apresentar alterações durante anos. Apresentando determinadas alterações, esse sistema irá desencadear uma série de processos em que sua ordem pode vir a se desestruturar, com isso ambiente entra em um processo auto organizacional sem precisar de alteração antrópica para que se adapte a essa nova fase. No entanto, alguns sistemas que recebem uma entropia (energia que gera mudança) muito forte, não conseguem se auto-organizar, assim o sistema vai criar um novo sistema (diferente do anterior) aonde ele venha a se adaptar a essa nova realidade (AMORIM, 2012).

A partir da compreensão das características e dinâmica dos sistemas ambientais físicos torna-se possível o entendimento adequado de um sistema fluvial semiárido tropical, pois as características gerais entram consenso quando analisadas na mesma perspectiva integrada. Dentro do contexto da dinâmica em sistemas fluviais semiárido é de suma importância entender as relações entre elementos físicos e seu estado de não equilíbrio. Alguns fatores internos do sistema são controlados por elementos externos como estrutura, litologia, relevo e clima, assim se deve avaliar a sensibilidade do sistema a forças de distúrbio que podem alterá-lo (SUTFIN, 2014; CAVALCANTE, 2018).

O sistema fluvial semiárido pode ser entendido através de sua aplicação para compreensão de relações não lineares entre elementos desse sistema que estão em constante transformação. Ao ser analisado se deve enfatizar também a entrada (*input*) e saída (*output*) de energia na perspectiva de quantidade de fluxos e essas quantidades não necessariamente significam retornos positivos para o sistema fluvial. Para assimilar as inter-relações desses processos, se faz necessário entender comportamento integrado do sistema fluvial semiárido,

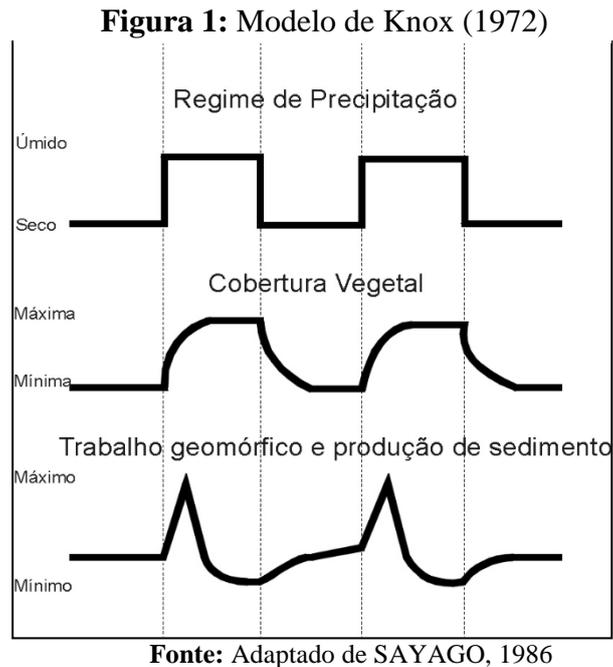
como o fluxo de água na zona fonte de sedimento, controles climáticos e geológicos e o como eles afetam o uso do solo, cobertura vegetal e sua relação com as zonas do ambiente fluvial. (SCHUMM, 1977). Em uma perspectiva mais recente, a atenção sobre esta temática está concentrada em quantificar modelos que contemplem as dimensões físicas e distribuições espaciais dos elementos, em várias escalas de análise para viabilizar dados para gerar modelos de previsão (PRIDDY e CLARKE, 2020).

Na perspectiva do sistema fluvial semiárido brasileiro, mais precisamente na área de estudo do presente trabalho (Alto Curso do Rio Paraíba) existem especificidades locais que condicionam as dinâmicas hidrológicas e hidrogeomorfológicas. É sabido que o balanço hídrico no semiárido brasileiro se caracteriza pelo seu *déficit* e também existem períodos mensais em que a evapotranspiração potencial excede a precipitação, ou seja, o sistema fluvial semiárido pode até ter meses com um bom índice pluviométrico, entretanto fatores como a baixa capacidade de infiltração no solo e a temperatura local, ocasionam o efeito evaporador da água que se encontra em superfície após um episódio chuvoso (ALMEIDA, 2011; ARAÚJO, 2021).

A interação hidrogeomorfológica em sistemas fluviais semiáridos se dá a partir de processos das condições naturais e intervenções antrópicas. Para a região do Alto Curso do Rio Paraíba existe uma série de intervenções naturais e elementos controladores que causam *déficit* hídrico (REZENDE ET AL, 2010). Os três principais elementos controladores, singularmente em regiões semiáridas, são a vegetação, hidrologia e geomorfologia. As alterações morfológicas dependem significativamente da quantidade dos fluxos de água que interagem com os processos geomórficos gerando assim perturbações no escoamento superficial da bacia. Se faz necessário analisar as ações hidrogeomorfológicas e a resposta da vegetação, pois eles podem fornecer, por exemplo, informações sobre alterações na planície de inundação do sistema fluvial e a partir disso se constituir uma melhor gestão desses ecossistemas (ABLAT et al, 2021).

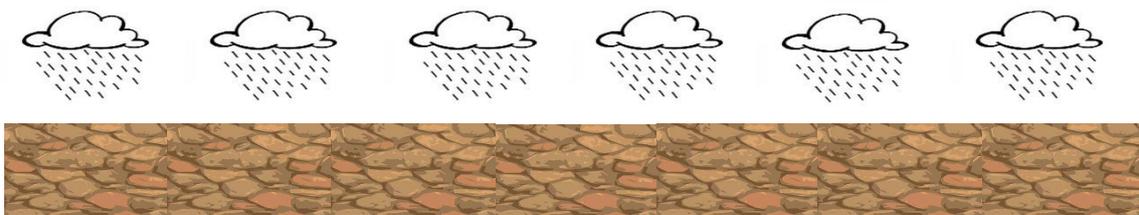
Diante do exposto supõe-se que taxas de produção de sedimento em sistemas fluviais semiáridos são muito relativas, pois dependem processos integrados. Haja vista que com o aumento da precipitação em determinados períodos, também ocorre a produção de sedimentos. Porém isso acontece até certo ponto, pois haverá um momento em que contraditoriamente, as taxas de produção começam a diminuir. Isso ocorre, visto que depois que há um evento de precipitação, a vegetação começa a se estender em uma densa camada

criando um efeito protetor no solo (SAYAGO, 1986). Com base na análise dos sistemas complexos, no qual existe de um todo integrado, a extensão da cobertura vegetal vai se modificando a partir das condições climáticas. O esquema de resposta da vegetação de Knox (1972) está ligado à mudança climática abrupta, que no caso específico do semiárido brasileiro isso será refletido de forma sazonal. A figura 1 representa o que foi exposto acima:



Observa-se na imagem um regime de precipitação que sai de um período seco para úmido em um ciclo contínuo dentro de um modelo ideal. Há um trabalho geomorfológico e produção de sedimentos, mas até um certo ponto, pois com a passar do tempo a cobertura vegetal começa a ficar densa impedindo que a produção de sedimentos continue com o mesmo volume. As figuras abaixo ilustram melhor o que foi abordado:

Figura 2: Regime de precipitação com alta produção de sedimentos



Fonte: Elaborado pelo autor

A figura 2 apresenta o regime de precipitação caindo sobre uma superfície sem cobertura vegetal que faz com que seu pico de produção de sedimentos chegue ao máximo, pois ainda não existe nenhum tipo de barreira natural para impedir a sua dinâmica.

Figura 3: Presença da cobertura vegetal e queda no índice de produção de sedimentos



Fonte: Elaborado pelo autor

Com o passar do tempo a vegetação começa a fazer presença na superfície antes dominada pelo solo exposto impedindo que a produção de sedimentos continue seu ritmo mais intenso, fazendo com que a mesma diminua de forma abrupta e ainda criando proteção ao solo em termos de erodibilidade (Figura 3).

Figura 4: Diminuição do trabalho geomorfológico e retorno ao período seco



Fonte: Elaborado pelo autor

Pouco depois do fim do período chuvoso a vegetação se propaga, porém, com o passar do tempo, a mesma vai se deteriorando deixando o solo exposto novamente, até que ocorra o próximo período de chuva e se inicie um novo ciclo de produção de sedimentos (figura 4). Lembrando que os modelos exibidos nas figuras estão dentro de um modelo ideal. Sistemas fluviais semiáridos possuem dinâmicas complexas e também é muito sensível as alterações de umidade onde os períodos chuvosos podem variar bastante, desde uma seca que pode durar alguns meses até precipitações acima da média anual em milímetros em questão de horas. As relações hidrogeomorfológicas e sedimentológicas evidenciam que o sistema fluvial não é estático e passa por evoluções dentro de um determinado equilíbrio dinâmico. Isso quando não

ocorre uma intervenção de grande magnitude, no qual o limiar de mudança é superado, levando o sistema a resultados específicos e a uma maior complexidade na evolução fluvial (ALMEIDA, 2011; WANG e PLINK-BJÖRKLUND, 2019).

Durante eventos de precipitação de alta intensidade e curta duração em ambientes semiáridos tropicais, há também uma grande produção de fluxos de água e sedimentos que estabelecem uma conexão hidrológica ao longo do canal fluvial (DA SILVA et al. 2019). Vale ressaltar que dentro do período chuvoso haverá momentos de escoamentos superficiais, onde ocorrerá a chegada da água desses escoamentos nos canais fluviais. Sendo assim é importante compreender a dinâmica entre a magnitude/frequência dos eventos de chuva que geram escoamento, pois eles controlam as vazões dos canais (SOUZA e CORRÊA, 2019; LIMA e GIRÃO, 2020; ANDRADE, 2021).

Uma das características mais marcantes em sistemas fluviais semiáridos, são as grandes variações hídricas em curtos períodos de tempo. O canal tende a responder de forma rápida a cada evento que gere fluxo e também pode exibir grandes mudanças nos fluxos de maior magnitude (CAVALCANTE E CUNHA, 2011; LIMA E DA CUNHA, 2014).

Habitualmente em ambientes semiáridos tropicais encontra-se um predomínio de rios não perenes, sendo os rios efêmeros caracterizados pela resposta à irregularidade pluviométrica com a permanência dos canais secos no decorrer do ano, apresentando escoamento superficial em seu canal durante apenas algumas horas, alguns dias ou logo após eventos de chuva intensa. Já os rios intermitentes secam durante algum período do ano, apresentando fluxo sazonal que corresponde aos meses do período estiagem. Esses canais apresentam características captação descontínuas com baixo escoamento superficial e sofrem diminuição de fluxo na direção da jusante em consequência das perdas por transmissão ao longo do trajeto do canal (OLIVEIRA, 2018; DE LIMA e GIRÃO, 2020). Portanto entende-se que qualquer alteração no regime hidrológico gera respostas hidrogeomorfológicas tanto abruptas quanto gradativas nos canais inseridos em ambientes semiáridos tropicais.

Como a tendência em regiões semiáridas são de longos períodos com a falta de escoamento, entender o comportamento dos eventos de oscilação do nível do fluxo é fundamental para se compreender a ação geomorfológica, redistribuição dos sedimentos nos canais e também a conectividade hidrológica com a transferência matéria, energia e organismos tanto dentro, quanto entre os elementos do hidrológico (FRYIRS e BRIERLEY, 2013; SOUZA e ALMEIDA, 2015; BRACKEN, 2015). A compreensão da conectividade hidrológica em rios

não perenes tem alta relevância para avaliações do manejo correto da terra e também para identificação de sinais de degradação. A degradação em encostas de rios não perenes em regiões semiáridas pode estar diretamente relacionada a efeitos de retroalimentação entre processos erosivos e mudanças na conectividade. Por conta da perda ou remoção da vegetação, há um reforço na conectividade hidrológica, o que ocasiona o aumento do potencial erosivo (SACO et al, 2020). Outro fator condicionante para o aumento desta conectividade são os eventos de cheia rápida (OLIVEIRA, 2018)

Analisando a dinâmica dos fluxos em rios não perenes a partir dos eventos de descarga no canal, percebe-se a distribuição da vazão a partir de um arranjo tridimensional, no qual a energia é distribuída de acordo com o balanço da descarga detrítica (FRYIRS e BRIERLEY, 2013). A vazão do fluxo hídrico sobre uma superfície natural gera o deslocamento de sedimentos e por consequência gera alterações topográficas que influem nas características naturais do canal. Ou seja, o processo vai transformar a forma e a forma vai condicionar o processo (ZANANDREA, KOBIYAMA e MICHEL, 2017). A conectividade hidrossedimentológica também respalda na estrutura geomorfológica e na dinâmica dos componentes de conexão do fluxo que converte energia potencial em cinética e, a partir disso, é feito o controle geológico, determinando o comportamento do fluxo de sedimentos e assim o processo hidrogeomorfológico da carga detrítica transportada pelo fluxo (CHRISTOFOLETTI, 1981; FRYIRS e BRIERLEY, 2013; ZANANDREA, KOBIYAMA e MICHEL, 2017).

Os rios em regiões semiáridas estão sempre sujeitos a impactos antrópicos e as modificações hidrogeomorfológicas, muito por conta das populações que habitam essas áreas e da procura de água. Esses sistemas fluviais são utilizados como fonte de energia, alimentação e por isso são submetidos também à geopolítica. Estão constantemente ameaçadas por mudanças no regime hídrico resultam em ambientes degradados. Grande parte de suas evoluções morfológicas está atribuída à intervenção antrópica direta (MIRZAEI, 2018).

A intervenção antrópica em regiões semiáridas é atribuída principalmente a atividades que buscam a retenção e captação de água para sustento e uso agrícola, produzindo uma série de modificações no ambiente natural. A forma do uso da água desenvolvido pelas populações das regiões do semiárido brasileiro, tem provocado inúmeros impactos por conta do processo de utilização do uso do solo (COELHO *et al.*, 2014). Especificamente na região do Alto Curso do Rio Paraíba é facilmente identificado o manuseio antrópico através das várias formas de captação de água. O mais comum são as intervenções de pequenos barramentos

(como por exemplo as barragens e passagens molhadas) que se comparadas com as maiores têm um volume de acumulação muito pequeno, entretanto a magnitude de grandes barramentos acaba sendo mais importante (OLIVEIRA, NUNES e MENDES, 2019).

As barragens são uma estratégia de contenção hídrica de fundamental importância para as populações que precisam armazenar água para períodos de estiagem em regiões semiáridas para tentar amenizar cenários futuros de desprovisionamento desse recurso. Como já dito anteriormente, a disponibilidade de água nessas localidades é irregular por conta de fatores meteorológicos e geomorfológicos que impedem a distribuição hídrica adequada, tornando-se substancial essas estratégias específicas para a subsistência dessas comunidades (SANTOS et al, 2000). Com tudo, os barramentos são responsáveis pelos impactos de maior significado causados por essas ações. A criação desses barramentos ocasiona mudanças no processo natural em que ambiente fluvial está adaptado, pois o fluxo é retido de forma abrupta, contendo uma parte considerável do sedimento em trânsito. O escoamento liberado pós barramento comporta um baixo volume de sedimentos, que faz com que o potencial erosivo do rio aumente consideravelmente (SOUZA, 2012). Com a ausência de planejamentos pertinentes a realidade semiárida, os barramentos podem afetar continuamente os recursos hídricos e promover diversas alterações, impactando de forma direta o canal fluvial (RITELA E CUNHA, 2014).

Existem dois tipos de intervenção em função da sua natureza, são os impactos que acontecem de forma direta e indireta. A discussão parte então para o entendimento de como essas intervenções antrópicas no sistema fluvial acarretam impactos cujo quais não alteram pontualmente os processos hidrológicos e geomorfológicos, mas sim a sua disseminação ao longo do canal que promove impactos consideráveis (FRYIRS e BRIERLEY, 2013; STEVAUX e LATRUBESSE, 2017). No caso das intervenções indiretas, elas estão habitualmente ligadas a modificações realizadas no manejo do solo, no qual as intervenções mais comuns se dão em torno das atividades agrícolas e retirada da vegetação total ou parcial das encostas dos canais, promovendo a ampliação de processos erosivos, o que provoca a produção de sedimentos que serão condicionados a migrar para o canal (OLIVEIRA, 2018). Já em referência de intervenções diretas ressalta-se as que tem por objetivo consolidar o fornecimento hídrico, muitas das quais feitas mediante controle de vazões, através de estocagem ou transferência de água entre bacias, com a finalidade de estabilização hídrica dos canais fluviais (CORRÊA, 2011, FRYIRS e BRIERLEY, 2013; STEVAUX e LATRUBESSE, 2017). Sendo assim se faz importante analisar intervenções que venham a impedir ou diminuir a conectividade no canal fluvial. (DUARTE, 2015).

Estruturas de intervenções antrópicas influenciam na conectividade dos sedimentos, tanto a montante quanto a jusante do rio. As intervenções desenvolvem oscilações nos processos fluviais muito por conta de alterações no nível de base a montante, no qual ocorre a alteração na velocidade do fluxo hídrico, ocasionando modificações no canal, muito por conta da complexidade geomorfológica do ambiente fluvial e também o desenvolvimento acelerado de processos erosivos a jusante da intervenção (SOUZA e CORRÊA, 2012; ZANANDREA, 2020).

Incorporando o debate para o contexto da transferência de água entre bacias, quando há um controle da vazão, processos que antes eram proporcionados por condicionantes naturais (como por exemplo o recuo de margens que tem sua dinâmica pautada no nível e velocidade da água, vazão, transporte de sedimentos) podem ser maximizado ou minimizado por esse controle. Trazendo isso para a conjuntura de transferência de água entre bacias especificamente em regiões semiáridas, é visto que a liberação de fluxo nos canais ao longo ano, impactos como a erosão fluvial podem ser ocasionados não apenas durante o período chuvoso, mas também em outros momentos, sendo capaz de causar impactos de magnitude extrema no balanço hídrico regional natural (ANDRADE, 2016). A assimilação das possíveis evoluções na transmissão de fluxo e sedimento é primordial para uma gestão adequada dos recursos hídricos, assim como também a organização para o uso e ocupação de regiões semiáridas por ter o condicionante da irregularidade pluviométrica e múltiplos de alterações por impactos antrópicos (SOUZA e CÔRREA, 2020).

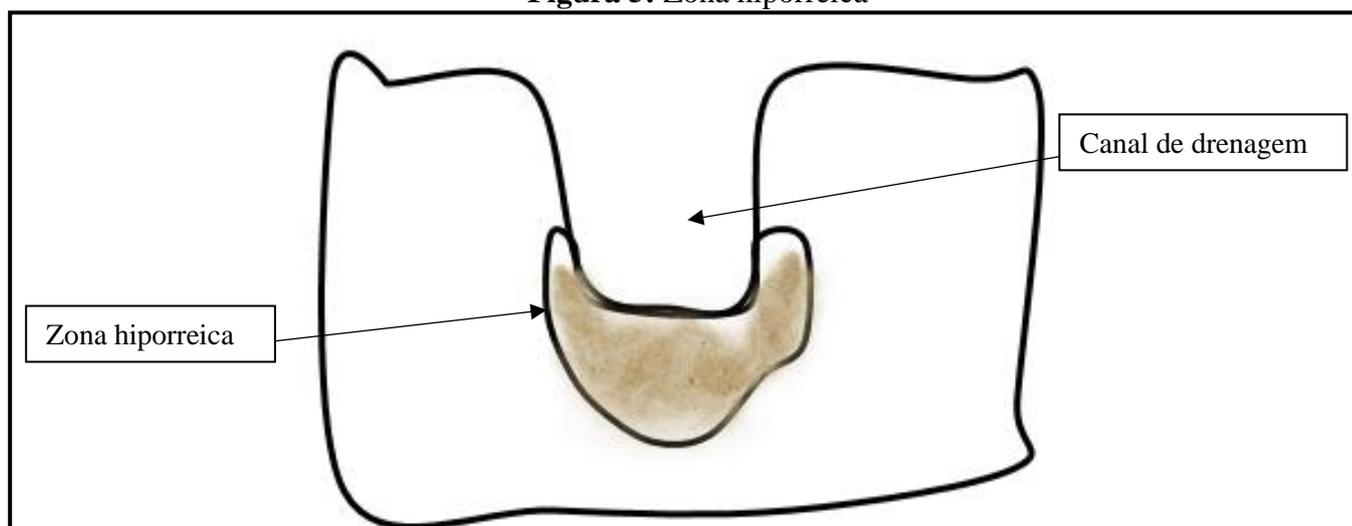
Além dos barramentos como forma de intervenção antrópica no canal fluvial, existem também impactos de desmatamento, extração em excesso da vegetação, uso intensivo do solo, manejo inadequado e a aplicação de técnicas agrícolas com baixo aporte tecnológico inapropriadas para ecossistemas como o semiárido brasileiro que gera um efeito integrado de impactos. (SÁ et al, 2010). Especificamente em ambientes fluviais semiáridos, existem também impactos como os de canalização para o abastecimento de áreas agricultáveis e a retirada de água no leito dos canais na estação seca (BERGER; FRÖR; SCHÄFER, 2019). Essa canalização gera impactos no ambiente fluvial, como o alargamento e aprofundamento da calha fluvial, retificação do canal, criação de canais artificiais, diques, proteção de margens e remoção de obstáculos (CUNHA, 1998).

Há também impactos da extração de areia e construção de cacimbões. É muito comum no semiárido nordestino, ações antrópicas de escavação de areia no leito de rios

intermitentes. A retirada de areia traz a superfície a água que estava estocada no leito seco, ficando sujeita à evaporação intensa. Já construção de poços amazonas (cacimbões), muitas vezes feitos de alvenaria com paredes espessas, estabelecidos no leito, resistentes até a enxurradas com bombas hidráulicas para a captação de água, faz com que a profundidade da zona hiporreica se reduza, provocando a diminuição do volume de água armazenada em subsuperfície (BRAGA et al, 2014). Para exemplificar, a zona hiporreica (Figura 5) é uma zona de convergência que interliga o fluxo superficial com o fluxo subterrâneo no leito de um canal. A mesma obtém variações de profundidade e a interação entre a superfície e o subterrâneo se dá em função da porosidade dos sedimentos, da morfologia do leito, força da ressurgência das águas subterrâneas e do fluxo de descarga (FREITAS et al, 2011).

Este tipo de intervenção no leito do canal também pode desenvolver bloqueios (*Blankets*) que rompem ligações verticais causando impactos na conectividade, desencadeando respostas hidrogeomorfológicas no canal e nas encostas, atuando diretamente na morfologia do canal, que possui vez busca um equilíbrio dinâmico em meio a estas perturbações no sistema (DUARTE, 2015). A zona hiporreica é intrinsecamente relacionada com a conectividade vertical. É nessa zona que acontecem trocas químicas, biológicas e hidrológicas entre superfície do canal e a subsuperfície. Essa troca irá ser controlada pela textura do material estratigráfico subsuperficial, no qual se conectam e desconectam verticalmente momentaneamente por conta das oscilações no armazenamento captado pelo grau de saturação dos poros (FREITAS et al, 2011; ZIMMER e MCGLYNN, 2018; ZANANDREA, 2020).

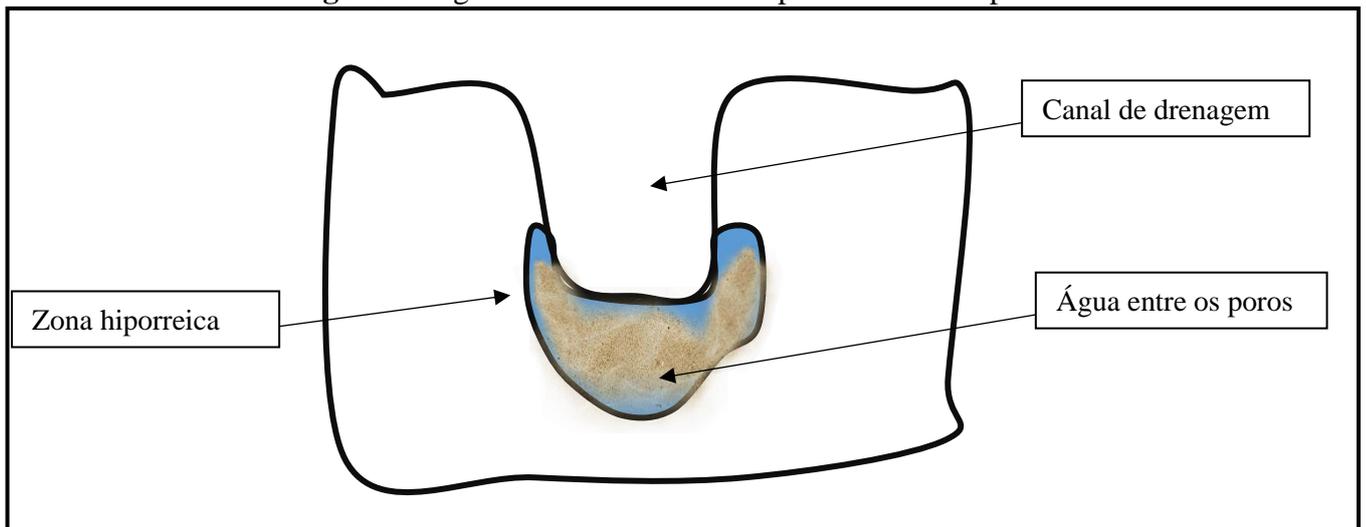
Figura 5: Zona hiporreica



Fonte: Elaborada pelo autor.

Quando há incidência de chuvas de baixa intensidade que atingem um canal de drenagem, cujo qual o leito é arenoso com zona hiporreica, a água costuma ficar alojada entre poros dos sedimentos fazendo com que o solo fique umedecido e não ocorra escoamento superficial no canal (FREITAS et al, 2011), como pode ser observado ver na imagem a seguir.

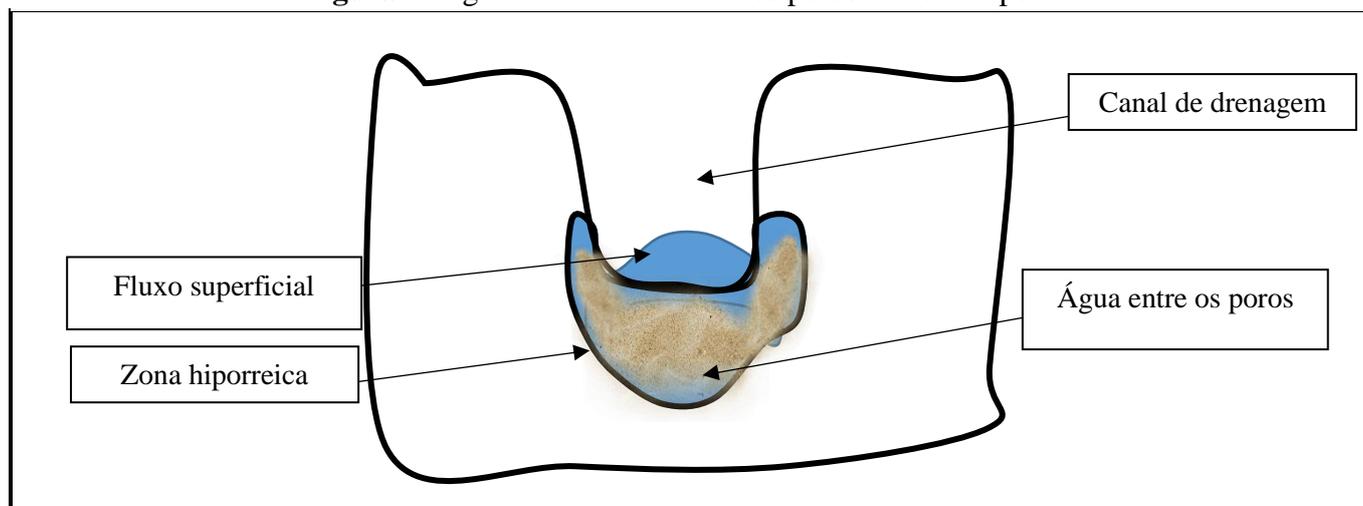
Figura 6: Água armazenada entre os poros da zona hiporreica



Fonte: Elaborada pelo autor.

Só após o preenchimento dos poros é que acontece o escoamento do fluxo superficial no leito do canal de drenagem, como pode ser observado na figura 7. Esta dinâmica é muito comum em regiões semiáridas e faz com que haja maior dificuldade na vazão, por conta do processo de drenagem da zona hiporréica (FREITAS et al, 2011).

Figura 7: Água armazenada entre os poros da zona hiporreica



Fonte: Elaborada pelo autor.

Intervenções antrópicas de pequena magnitude são capazes de ocasionar danos irreversíveis na estrutura da zona hiporréica. Como exemplo dentre as atividades que podem causar esses danos se tem a dragagem (remoção de sedimentos e alteração da capacidade natural de diminuição de poluentes além de remover cascalhos), barragens (alteram o controle do canal em volta da estrutura), má gestão do solo (principalmente em relação às atividades agrícolas que ocasionam processos erosivos) e barreiras de inundação (redução considerável da conectividade do rio com planície de inundação e processos de degradação de zonas ripárias e da própria zona hiporréica) (FREITAS, 2018). Como projetos de transferência de água são obras de intervenção antrópica de grande magnitude, se deduz que a gama de impactos seja mais abrangente.

Os projetos de transferência de água entre bacias recebem várias críticas por conta de possíveis impactos ambientais irreversíveis, como alterações no regime do fluxo e modificações na morfologia do canal fluvial a jusante. Tendo em mente que a dinâmica dos processos fluviais em rios não perenes é suscetível a mudanças de forma natural, uma introdução de fluxo artificial no canal fluvial pode acarretar mudanças do comportamento fluvial, modificando sua estrutura morfológica quanto sua conectividade (CHRISTOFOLETTI, 1981; STEVAUX e LATRUBESSE, 2017; SINHA, 2020). A assimilação dessas modificações tem importante relevância, visto que a preservação e a gestão dos recursos hídricos são de suma importância para as necessidades antrópicas.

Analisando esses processos de intervenção, percebe-se que a alteração do regime hidrológico associada a obras de transposição, também pode apresentar resultados adversos ao controle da dinâmica fluvial em regiões semiáridas, pois mudanças desenvolvidas de forma célere podem ocasionar impactos negativos ao longo do seu percurso planejado (AZEVEDO et al, 2005). Na região do Alto Curso do Rio Paraíba, as intervenções antrópicas são inevitáveis, uma que vez que o objetivo das populações que vivem nessa região é reter ou estocar água para suportar longos períodos de estiagem. Estudos sobre a compreensão da dinâmica fluvial semiárida para se compreender o comportamento natural agregado as atividades antrópicas se tornam indispensáveis.

É importante ressaltar a ainda incipiente construção teórica sobre a dinâmica hidrogeomorfológica em ambientes semiáridos tropicais, como o brasileiro. Visto que, geralmente, se trabalha com um contexto teórico metodológico construído em ambiente semiáridos com arranjos de vegetação muito distintos dos encontrados no Brasil. Trabalhos basilares para o estudo dos ambientes fluviais semiáridos, tais como os livros “Fluvial Process in Dryland Rivers” (GRAF, 1988) e “Dryland Rivers: Hydrology and Geomorphology of Semi-Arid Channels” (BULL e KIRKBY, 2002), tem como principal base de análise áreas subtropicais, com volumes de precipitação e temperatura menores que os ambientes tropicais. Tais áreas apresentam vegetação do tipo savânica ou estépica, as quais apresentam uma densidade vegetacional bem inferior as áreas de florestas secas, como a caatinga; bem como menor frequência de eventos de escoamento superficial e vazão. Tal diferença é de extrema relevância para ambientes secos cujo regime hidrológico é controlado pelo escoamento superficial e pelas baixas taxas de infiltração, e não a partir da saturação dos solos, que é o elemento controlador do regime hidrológico de ambientes úmidos (BRACKEN e CROKE, 2007; FIGUEIREDO, et al., 2016). Assim, as baixas taxas de infiltração nos ambientes semiáridos geram altos índices de escoamento superficial, sendo o principal mecanismo hidrológico de recarga dos canais fluviais semiáridos (HOOKE, 2016; BRACKEN e CROKE, 2007). Desse modo, é necessário aprofundar os estudos sobre a dinâmica hidrogeomorfológicas desses ambientes semiáridos, em especial nos ambientes fluviais semiáridos. E ao mesmo tempo, ponderar de forma mais precisa a resposta hidrogeomorfológica dos eventos de precipitação nos ambientes fluviais semiáridos do Nordeste Brasileiro, e com isso subsidiar o entendimento das possíveis modificações nos processos hidrológicos, geomorfológicos e sedimentológicos que o PISF provocará nos canais receptores de água.

Estudos de cunho ambiental geográfico, necessitam da realização de trabalhos de monitoramento, muitas vezes efetuados por levantamentos topográficos, além de outras atividades similares. O uso de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs), popularmente conhecidos como drones, tem se destacado na coleta de dados para estudos ambientais devido ao seu baixo custo, eficiência e flexibilidade. Esses dispositivos permitem a aquisição de imagens aéreas de alta qualidade, com detalhamento de até 1 cm do solo, tornando-os uma alternativa atraente em relação aos métodos tradicionais, como helicópteros e aeronaves monomotoras, que costumavam ser caros para pesquisa acadêmica (SIMÕES et al 2018; REZENDE, 2019; FONSECA,2020).

Os VANTs têm desempenhado um papel crucial no monitoramento ambiental, especialmente na observação da cobertura vegetal e do uso do solo. Eles são ágeis, o que os torna ideais para identificar áreas que requerem ações rápidas e contribuem para a preservação do ecossistema. Além disso, permitem uma programação flexível na aquisição de imagens, eliminando a dependência de satélites em órbita. Essa capacidade de captura sob demanda e a escolha da altitude de voo proporcionam imagens de alta qualidade, adaptadas às necessidades da pesquisa (MENEZES, SANTOS e SENRA, 2019; FONSECA, 2020).

Os VANTs são particularmente úteis no mapeamento de detalhes ambientais, como qualidade da água e vegetação ripária e aquática. As imagens capturadas por esses dispositivos, muitas vezes utilizando sensores NDVI, podem revelar precocemente indicadores de perturbações ambientais. A flexibilidade na aquisição de imagens permite a detecção de mudanças morfológicas em intervalos temporais curtos, fornecendo informações detalhadas que podem passar despercebidas em imagens de qualidade inferior (HUSSON et al., 2014; KLEMAS, 2014; SALAMI et al., 2014; RHEE et al., 2018; THÓTH, 2018; YAMAUCHI, 2021).

Comparados a sensores remotos orbitais, os VANTs não estão sujeitos às limitações das condições atmosféricas e são uma opção de baixo custo. Além disso, não apresentam risco de vida para tripulantes. Eles têm aplicações variadas em projetos de sensoriamento remoto, abrangendo recursos terrestres, planejamento urbano, manejo de recursos naturais, agricultura de precisão, monitoramento ambiental, resposta a desastres, monitoramento florestal e mapeamentos em geral. Sua operação é mais simples do que a de aeronaves tripuladas e sensores orbitais, o que torna os VANTs uma ferramenta promissora para estudos ambientais e análises detalhadas (LONGHITANO, 2010; THÓTH, 2018; YAMAUCHI, 2021).

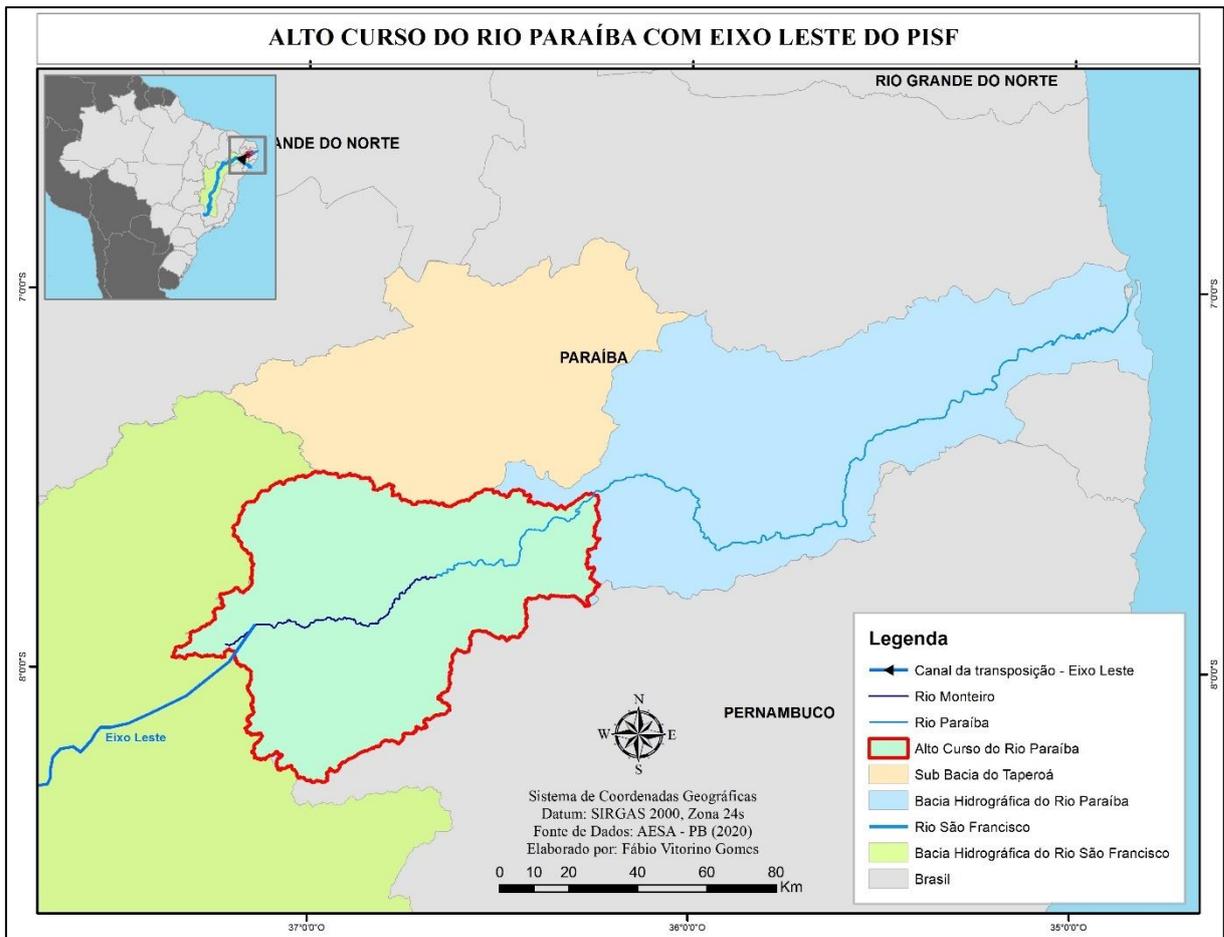
Em relação a Geomorfologia Fluvial, os mapeamentos de detalhe buscam estudar os canais fluviais a partir da identificação arranjos espaço-temporais e tendências de processos que ocorrem no sistema fluvial. O mapeamento do relevo em detalhes é fundamental para estudos geomorfológicos, proporcionando uma visão clara da origem das feições geomorfológicas e sendo essencial no planejamento do uso e da ocupação do solo. Este tipo de estudo permite identificar tendências espaciais e temporais em relação a dinâmica dos fluxos, bem como atribuir graus de suscetibilidade a diferentes áreas. No entanto, a de se levar em consideração a variabilidade de formas que revela processos hidráulicos descontínuos no espaço e no tempo de valores de cota-vazão para eventos extremos e de inundação. Portanto, o mapeamento de detalha serve para uma gestão eficaz de riscos relacionados a inundações, considerando a conectividade dos fluxos em uma planície fluvial (ALVES, 2013; SOUZA e FURRIER, 2019; VENEZIANI, RODRIGUES e MONTOVANI, 2019; DA COSTA, 2020).

4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo trabalhada neste projeto é a Bacia do Alto Curso do Rio Paraíba (Figura 8), a qual abarca 17 municípios do Estado da Paraíba, dentre eles destacam-se principalmente para este projeto Boqueirão, Cabaceiras, Camalaú, Congo, Monteiro, e São Domingos do Cariri (MARQUES DE CARVALHO et al, 2011). Esta região tem uma área de drenagem de aproximadamente 12.389,14 km², proporcionando uma ampla extensão para a análise hidrográfica e suas correlações com o comportamento do Rio Paraíba. Essa região está localizada entre as latitudes de 06°51'47" e 08°18'12"S e longitudes 36°00'10" e 37°21'22"W (MARINHO E ALMEIDA, 2013). A área de estudo é de grande importância devido à sua relevância hídrica para o Estado da Paraíba. A bacia do Alto Curso do Rio Paraíba, juntamente com a sub bacia do Rio Taperoá abastecem o segundo maior reservatório hídrico da região, o Açude Boqueirão (ou Açude Epitácio Pessoa), que é responsável pelo abastecimento de 18 municípios, incluindo Campina Grande, atendendo uma população de mais de 1 milhão de habitantes (DORNELLAS et al, 2020).

Posto isso, em março de 2017, se iniciaram na região da Bacia do Alto Curso do Rio Paraíba as atividades do PISF (Projeto de Integração do Rio São Francisco), composto por dois eixos: Norte e Leste (GUIMARÃES, 2016). O eixo do PISF de interesse deste projeto é o Leste. Ele está localizado entre os Estados de Pernambuco e Paraíba (Figura 8) e dispõe de 216,6km de extensão que vão desde o reservatório de Itaparica (que se encontra na divisa dos Estados da Bahia e de Pernambuco) até o Açude de Poções (Monteiro-PB). O eixo Leste conta com seis Estações de Bombeamento e sete Subestações, sendo seis abaixadoras 230/6,9kV e uma seccionadora, além de 13 reservatórios, de modo que em cada reservatório existem uma Tomada d'água de Uso Difuso (TUD) e uma Estação de Controle de Superfície (ECS) (PINTO, 2018).

Figura 8: Mapa de localização da área de estudo



Fonte: Elaborado pelo autor

Em relação a uma contextualização geral de sua composição geológica, o Alto Curso do Rio Paraíba faz parte do Escudo pré-cambriano do Nordeste, predominando rochas cristalinas formadas no Proterozóico e no Arqueano (XAVIER et al, 2013). Os principais tipos de rochas encontrados são quartzitos, gnaisses, migmatitos, micaxistos e filitos, além dos granitos, de origem magmática (CARVALHO, 1982). Sua estrutura geológica é constituída em grande parte por rochas cristalinas que formam o Escudo pré-cambriano do Nordeste. Essas formações são provenientes do proterozóico e o arqueozoico, constituídas por quartzitos, gnaisses, migmatitos e micaxistos. Exemplificando em percentuais, as rochas metamórficas representam quase 85%. Já as rochas ígneas vão corresponder a cerca de 15% da área do Alto Curso do Rio Paraíba. Esse percentual de rocha graníticas pode ser encontrado em praticamente todo o nordeste setentrional. (DORNELLAS, 2020). A região também corresponde a um agrupamento de gnáissicgranítico-migmatítico, cujo qual afloram nos topos das serras locais através de processos erosivos que ocorrem ao decorrer de milhares de anos a fio. Existe a

presença de inselbergs, que também emergem no decorrer da extensão aplainada na parte da Depressão Sertaneja e no Agreste da Borborema (CORDEIRO, DE SOUZA e FÉLIX, 2018).

Já com relação específica das unidades geológicas em que o canal do Alto Curso Rio Paraíba percorre ao longo de seu trajeto montante/jusante dentro da bacia, se encontram os Metagranitóides e Migmatitos Serra de Jabitacá, que se constituem de grandes batólitos, que vão desde a região a norte de Monteiro até São João do Cariri. São um série de suíte de biotita metagranitóides bandados ou foliados, geralmente migmatíticos, com estruturas schlieren ou nebulítica, de mesossoma difuso. Sua composição varia entre monzonítica-sienogranítica e granítica, tendo potencial de apresentar áreas de composição tonalítica-grano-diorítica, com enclaves de gnaisses granatíferos, além de anfibolitos e leptinitos, às vezes migmatizados, com mesossoma anfibolítico predominante (CPRM, 2002).

O Complexo Sumé que vem a ser uma associação de gnaisses de alto grau metamórfico, como ortognaisses, paragnaisses e migmatitos, com presença de metabasitos, metagabros, granada metagabros, metassienitos, calcários cristalinos, skarns, formações ferríferas, granulitos, metapiroxenitos e possíveis retroeclogitos. Alguns skarns estão associados a rochas metamá-fico-ultramáficas e são mineralizados em apatita, sugerindo uma conexão com complexos carbonatíticos-feníticos. A ocorrência de retroeclogitos e granulitos indica uma ligação com o trend de rochas máfico-ultramáficas com metamorfismo de alta pressão, situado entre os terrenos Alto Pajeú e Alto Moxotó, possivelmente colocados como alóctones na crosta média-superior durante fases pré-transcorrentes D1 e D2 (CPRM, 2002).

A Suíte Granítica Camalaú, que é formada por stocks deformados e intrusões tabulares contendo suíte de granitóides tonalíticos e trondhjemíticos deformados e intrusões tabulares, possivelmente relacionados a um ambiente de arco vulcânico. A idade da suíte é estimada em cerca de 1,0 Ga, mas precisa de refinamento. Alguns granitóides mais evoluídos apresentam características de granitóides intraplacas, sugerindo um evento extensional pós-colisão Cariris Velhos. As intrusões tabulares ocorrem na nappe Serra de Jabitacá, envolvendo biotita granitos intrusivos no Complexo Sertânia e em ortognaisses e migmatitos. Os zircões dos granitóides mostram núcleos herdados e idades concordantes afetadas pela orogenia Brasileira em torno de 550 Ma a 547 Ma (CPRM, 2002).

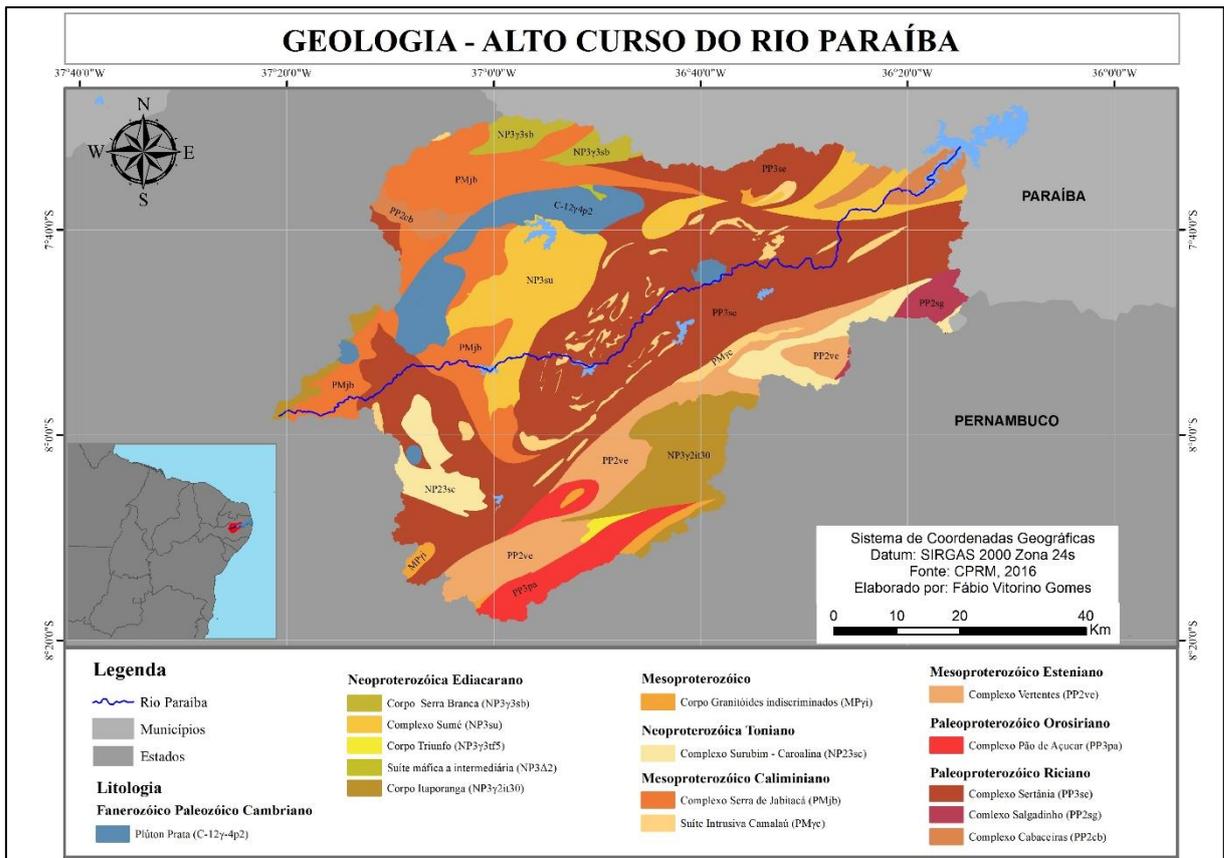
Complexo Sertânia (que é o mais abrangente em questão da extensão do canal), unidade metassedimentar com contribuição metavulcânica máfica, pertencente ao Terreno Alto Moxotó. Essa unidade é denominada Complexo Sertânia e é composta principalmente por

metapelitos altamente migmatizados e de grau metamórfico médio a forte. Na área-tipo, foram identificadas várias fácies migmatíticas, incluindo tipos estromáticos e com maior grau de fusão parcial, schlieren e nebulíticos. Além disso, há intercalações de mármore e rochas calcissilicáticas, bem como formações ferríferas raras. Idades U-Pb SHRIMP de aproximadamente 2.100 Ma foram obtidas em amostras de metandesito/metadacito e metapelitos na região próxima à cidade de Queimadas (CPRM, 2002).

E por fim Ortognaisse Granodiorítico-granítico que é uma unidade geológica composta por ortognaisses granodiorítico-graníticos, que apresentam graus variáveis de migmatização, e estão intercalados com muitas rochas metamáficas. Essa unidade é conhecida como o maciço de Cabaceiras (ou antigo Camalaú-Cabaceiras). É uma extensão da nappe Serra de Jabitacá, denominada de maciço de Boqueirão. A assinatura aeromagnética desse maciço é marcante, mostrando uma tendência de rochas magnéticas inseridas entre rochas não magnéticas. Idades preliminares de modelos Sm-Nd (TDM) e Rb-Sr obtidas na parte leste do maciço indicam características arqueanas e paleoproterozóicas (CPRM, 2002).

Essas unidades geológicas influenciam os atributos do relevo e dos canais, relacionados diretamente à decomposição do material original e à resistência das rochas, assim determinando as características e os processos geomorfológicos em toda a região. Nos canais, a estrutura geológica também determina a condição de confinamento, influenciando o comportamento do fluxo em diferentes trechos (OLIVEIRA, 2018). A área de estudo apresenta 19 classes distintas de unidades geológicas (Figura 9).

Figura 9: Mapa Geológico do Alto Curso do Rio Paraíba

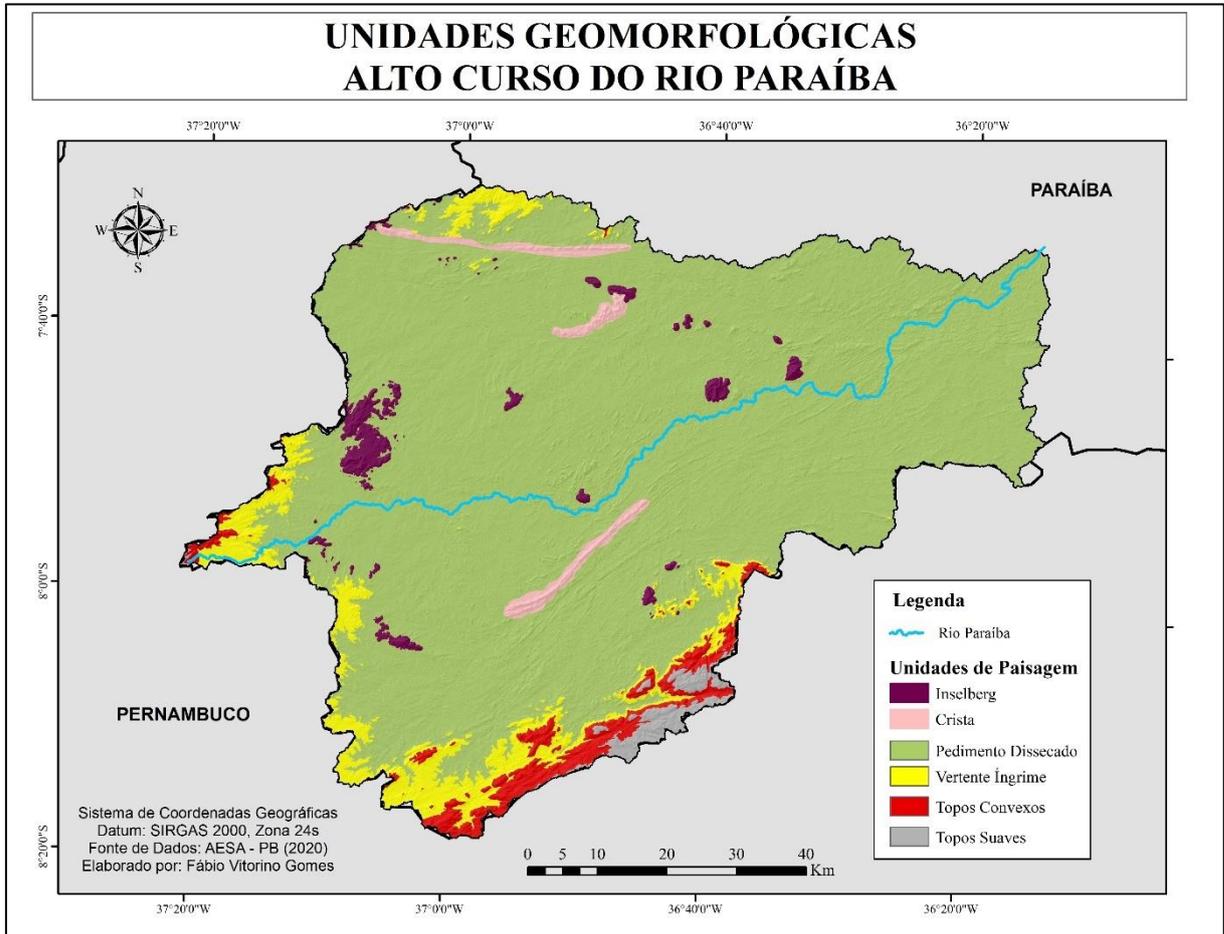


Fonte: Elaborado pelo autor

O conhecimento geomorfológico de bacias hidrográficas se faz importante para o entendimento dos processos dinâmicos da área. Em relação a sua geomorfologia, a Bacia do Alto Curso do rio Paraíba está situado no Planalto da Borborema, uma unidade geomorfológica que abrange grande parte do Nordeste brasileiro. Esse planalto é composto por uma série de serras, montanhas e colinas, formando um relevo geralmente elevado e acidentado, entretanto na região da área de estudo ele é caracterizado por conter superfícies aplainadas. A variação altimétrica na região a chega a 830 metros. O relevo da Bacia do Alto Curso do Rio Paraíba pode ser hierarquizado em ordens de grandeza, cujo quais são subdivididos em Domínios Morfoestruturais, onde se tem especificamente o Planalto da Borborema como destaque; Regiões Geomorfológicas, se destacando os maciços remobilizados da zona transversal e a depressão intraplanáltica paraibana; Unidades Geomorfológicas, como os maciços elevados, a superfície aplainada e as planícies fluviais. E, por fim, modelados e Formas de Relevo Simbolizadas, que são representados pelos modelados do terreno. Por exemplo, os brejos de altitude, cristas simétricas e assimétricas, *inselbergs*, maciços não tão elevados com topos

suavemente ondulados e a superfície aplainada dos Cariris Velhos (Figura 10) (RODRIGUES e LIMA, 2020).

Figura 10: Mapa Geomorfológico do Alto Curso do Rio Paraíba

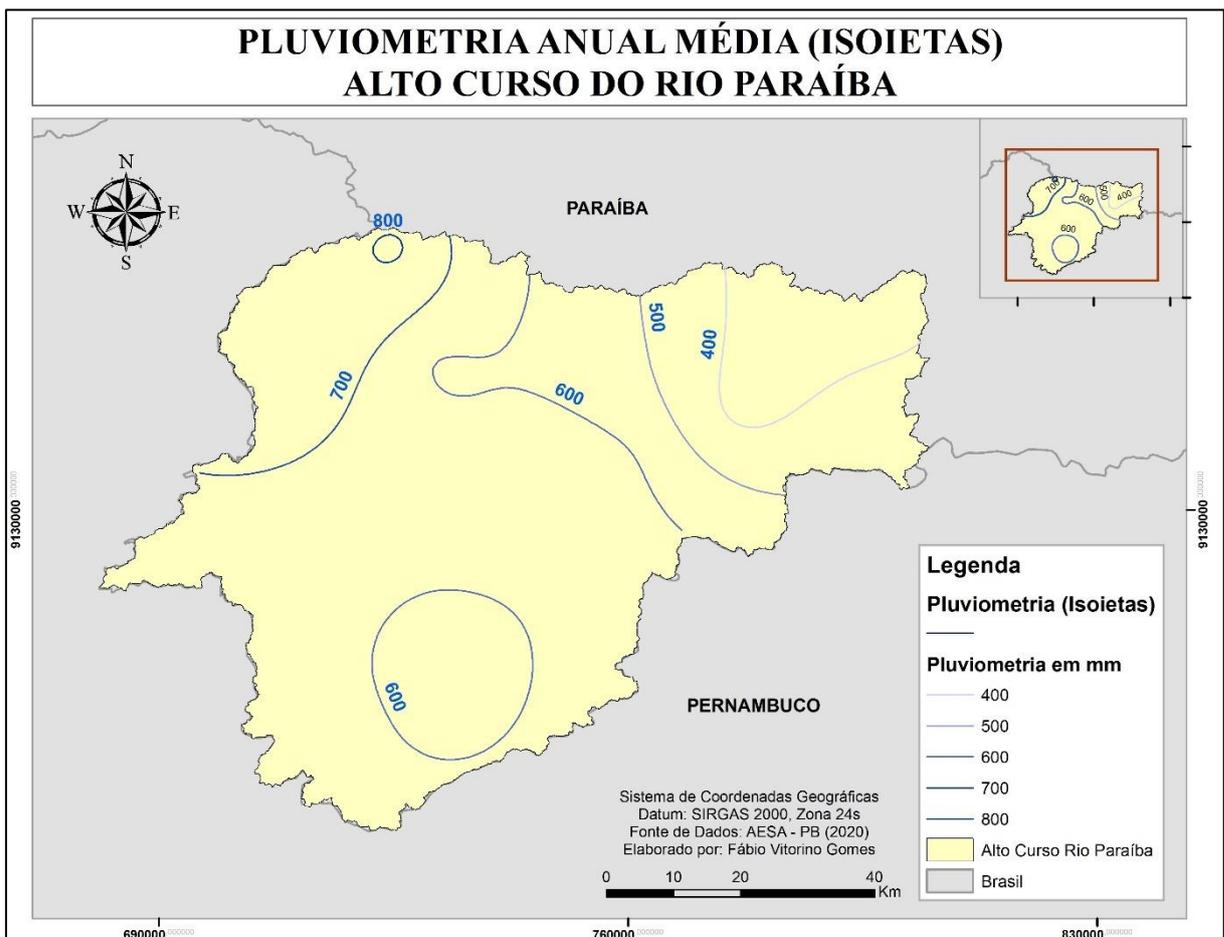


Fonte: Elaborado pelo autor

A área de estudo é influenciada por diferentes sistemas climáticos, desde a circulação geral atmosférica até a dinâmica oceânica. As células de Hadley atuam na região, originando-se de processos convectivos próximo ao Equador e impulsionadas pelos ventos alísios de sudeste. Essa dinâmica, associada à ressurgência oceânica, resulta em chuvas moderadas nas regiões costeiras, porém, ao penetrar no continente na direção Leste-Oeste, essa influência enfraquece, contribuindo para o déficit hídrico na área do Alto Curso do Rio Paraíba (SILVA, 2003; SILVA, 2020). A região é afetada por sistemas atmosféricos como a ZCIT, que traz chuvas nos primeiros meses, e VCAN's e ZCAS, juntamente com formações como Linhas de Instabilidade e Dipolo do Atlântico. Esses sistemas podem causar chuvas intensas e breves, levando a enchentes, alagamentos e transbordamentos de rios e reservatórios, ao mesmo tempo

em que também contribuem para eventos de seca na área (OLIVEIRA, 2018; MEDEIROS, 2020). A análise de isoietas permite contextualizar a pluviometria no Alto Curso do Rio Paraíba, considerando a influência topográfica (Figura 11). Na região do Cariri paraibano, a média anual de chuva é cerca de 500 mm, distribuída de forma irregular ao longo do ano (XAVIER et al, 2013; WESCHENFELDER, 2021). As secas são parte natural do clima na região nordeste do Brasil, e sua ocorrência no passado, presente e projeções futuras sugere uma tendência de intensificação. Essas secas estão concentradas no Polígono das Secas, abrangendo áreas semiáridas de oito estados nordestinos e parte de Minas Gerais. Recentemente, duas secas extremas atingiram o Nordeste brasileiro e a bacia do Alto Curso do Rio Paraíba: em 1998, devido ao El Niño e aquecimento tropical do Atlântico Norte; e em 2012, influenciada por La Niña no Pacífico tropical e condições neutras no Atlântico tropical (MARENGO et al., 2016).

Figura 11: Mapa de isoietas da pluviometria média anual do Alto Curso do Rio Paraíba



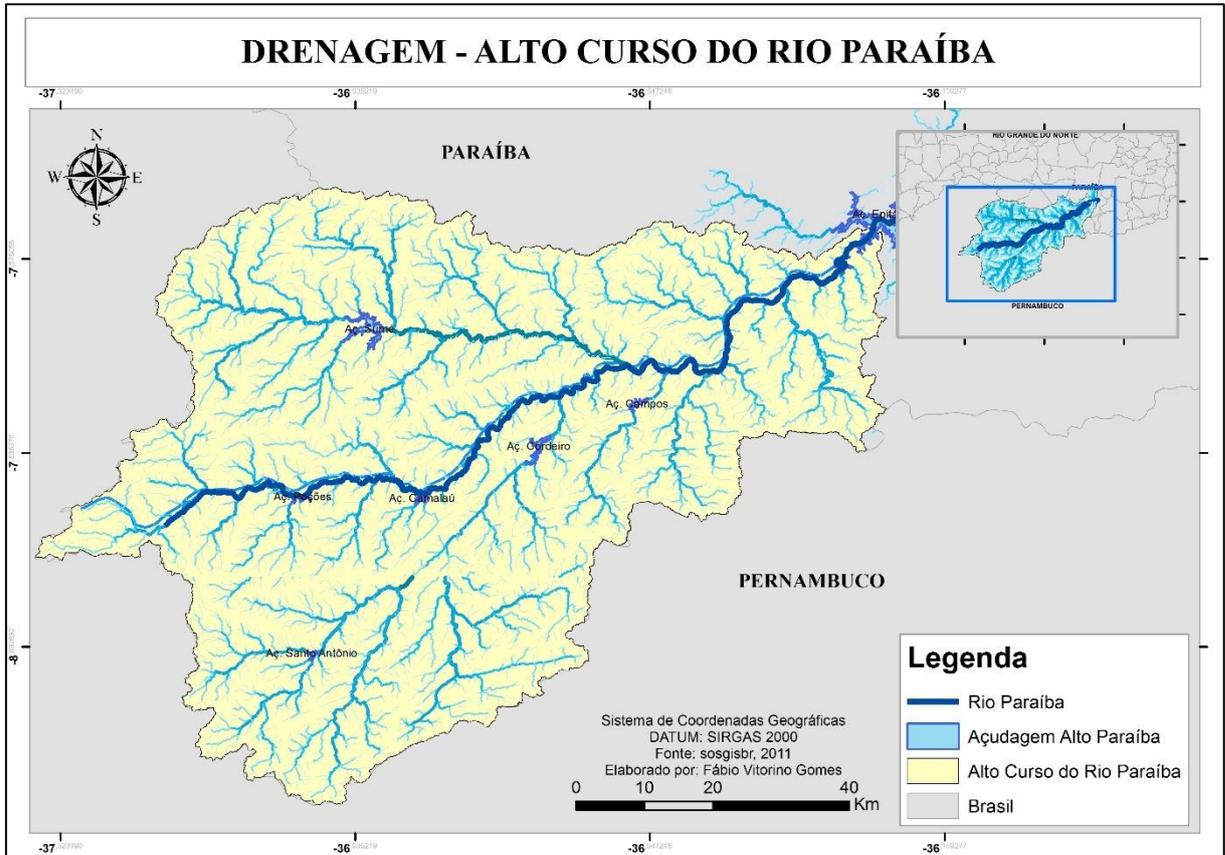
Fonte: Elaborado pelo autor

Isso leva a considerar também o uso e ocupação do solo devido ao intenso impacto que esses fatores exercem sobre os recursos hídricos e o meio ambiente em geral, pois a

compreensão de como o solo é utilizado e ocupado auxilia no entendimento do escoamento superficial, em que o seu uso adequado influencia diretamente na gestão da água para garantir um planejamento eficaz do território. Sendo assim, a bacia do Alto Curso do Rio Paraíba apresenta uma predominância de vegetação de caatinga arbustiva em sua maior parte. O uso e ocupação da área evidenciam impactos antrópicos substanciais, resultando em uma substancial redução das espécies vegetais locais, em grande parte devido às atividades de extração, exploração de espécies lenhosas para a produção de carvão e eliminação da vegetação nativa para pastagem ou plantações de palma, que também servem como alimento para o gado. Existem áreas menos afetadas, por conta da limitada viabilidade agrícola e dificuldades de acesso devido a terrenos acidentados. Essas exibem alta densidade e diversidade de espécies, onde há predominância de formações abertas e densas de arbustos e árvores da caatinga (OLIVEIRA et al, 2018).

Diante do exposto, entende-se que no semiárido tropical brasileiro, a compreensão dos aspectos geomorfológicos e topográficos é fundamental para uma gestão eficaz dos recursos hídricos da bacia (DORNELLAS et al., 2020). Segundo Dornellas et al (2020), a rede de drenagem vai ser condicionada por um alicerce geológico composto de dobramentos e falhamentos que se encontram nas regiões periféricas do Maciço da Borborema. Ainda segundos os autores, em concordância com a metodologia proposta por Strahler (1952), a Bacia do Alto Curso do Rio Paraíba é classificada como de 7ª ordem hierárquica por conta de sua ampla e complexa rede de drenagem. A bacia tem formato alongado e suas redes de drenagem, e os rios que a compõem são de baixas densidades que são comuns em ambientes semiáridos. Encontra-se na sua rede drenagem principal um controle estrutural que concedeu o seu desenvolvimento em relação aos seus afluentes. Pelo relevo da área estudada ser de grande variação em relação a sua hipsometria, encontra-se grande potencial para energia cinética no que se diz respeito aos escoamentos superficiais (DORNELLAS et al, 2020).

Figura 12: Mapa da Drenagem do Alto Curso do Rio Paraíba



Fonte: Elaborado pelo autor

5. METODOLOGIA

Visando atingir os objetivos da pesquisa, os seguintes procedimentos metodológicos foram seguidos: levantamento de dados secundários e organização dos dados. Após este levantamento, será realizada a análise hidrológica de dados serão antecessores ao ano de 2017, ano da implementação do PISF e posteriores a 2017 indo até o ano de 2022. O que vai determinar as datas são os dados obtidos dos bancos de informações disponíveis; identificação e monitoramento de mudanças morfológicas nos trechos estudados e dos *inputs* hidrológicos naturais e artificiais, através da observação e técnicas de identificação de alterações geomorfológicas de imagens de satélite, *Google Earth* e VANT (Veículo aéreo não tripulado) essas coletadas pelo Grupo de Estudos de Ambientes Fluviais Semiáridos (GEAFS); análise uso da terra e escolha dos trechos a serem analisados.

Os pontos de monitoramento servirão para a comparação das áreas analisadas depois do início das atividades do empreendimento do PISF. Foram selecionados cinco pontos de monitoramento. Esses cinco pontos foram selecionados de acordo com trabalhos de campo executados pelo GEAFS ao longo dos anos de 2019 até 2022. Esses pontos de monitoramento ficam espalhados pela região do alto curso do Rio do Paraíba dependendo de onde o grupo executa trabalhos em áreas fluviais específicas de acordo com pesquisas realizadas ou em andamento. Existem pontos estrategicamente localizados no alto curso do Rio Paraíba. Esses são encontrados nas cidades de (segundo o sentido do montante para a jusante) Camalaú, Congo, Caraúbas, São Domingos do Cariri e Cabaceiras. Nessas localidades foram realizados voos com o VANT para a captação das imagens de alta resolução para serem posteriormente identificadas as alterações geomorfológicas em escala de detalhe.

5.1 Análise Hidrológica

Com o objetivo de analisar o comportamento hidrológico das precipitações e sua influência nas vazões, foram coletados dados anteriores a 2017 (ano da implementação do PISF) e após 2017 até 2022. Para manter a análise uniforme dada a variabilidade de datas, os dados foram considerados a partir de 1994. Os bancos de dados foram organizados e verificados, excluindo períodos com erros ou falta de informações (como células vazias). Após essa etapa foi feita a caracterização do comportamento das vazões nos pontos de monitoramento, permitindo a análise comparativa do comportamento hidrológico do canal antes da implantação do PISF.

Inicialmente foi feita a análise dos dados de precipitação com intuito da obtenção da frequência das precipitações da área de estudo onde foram associados com as vazões. Para isso foi escolhido um intervalo de tempo que abarcasse também as informações de antes e depois do PISF. O período selecionado foi entre os anos de 1994 a 2022, tendo em mente um recorte nas análises de 1994 a 2016 e de 2017 a 2022, como forma de analisar as alterações hidrológicas ocorridas pós empreendimento do PISF relacionando a descarga hídrica sofrida pelo canal.

O que se buscou analisar nos dados das estações pluviométricas selecionadas foi expressar a variação da precipitação próxima ao canal da área de estudo, que estão localizadas próximas ao canal do Alto Curso do Rio Paraíba. Esses dados foram correlacionados com os dados fluviométricos para se ter uma noção da distribuição das chuvas próximas ao canal, como elas atuam e no que elas influenciam nas alterações morfológicas do canal. Os dados pluviométricos foram obtidos através de um pedido por e-mail encaminhado a AESA (Agência Executiva de Gestão das Águas). A escolha das estações foi feita através da distribuição espacial em que as mesmas fossem próximas ao canal para se ter o entendimento de que ele receba a descarga hídrica de eventos pluviais detectados por estas estações, para atestar que as determinadas estações atuam contribuindo para as vazões. Após isso, os processamentos executados serviram para se ter uma análise completa e integrada das informações processadas.

Foi feito um levantamento de algumas das estações pluviométricas do Alto Paraíba para que assim pudessem ser selecionadas as que teriam melhor relação com o canal e também as que coincidissem com os pontos de monitoramento que o grupo do GEAFS desenvolve suas pesquisas. Foram pegos os códigos das estações, verificando o posicionamento de cada uma através do mapa interativo das séries históricas do *site* HIDROWEB. Sendo assim, as seguintes estações foram selecionadas como mostra a seguir a tabela 1:

Tabela 1: Identificação das estações pluviométricas selecionadas

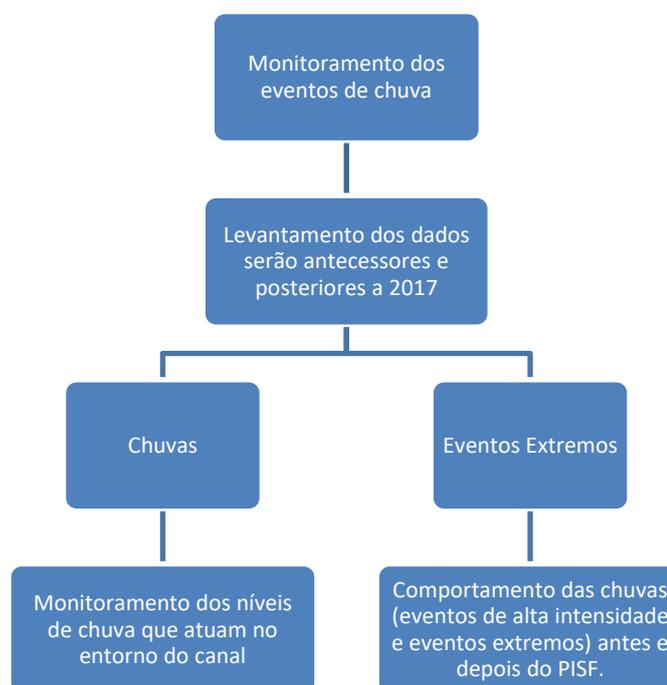
Cidade	Administradora	Latitude	Longitude	Período
Monteiro	EMBRAPA	-7,885	-37,1269	1994 a 2022
Camalaú	AESA	-7,89	-36,8256	1994 a 2022
Congo	AESA	-7,8022	-36,6586	1994 a 2022
Caraúbas	AESA	-7,7253	-36,4903	1994 a 2022
Sumé	AESA	-7,6736	-36,8964	1994 a 2022
São Domingos do Cariri	AESA	-7,6331	-36,4311	1998 a 2022

Cabaceiras	AESA	-7,4922	-36,2869	1994 a 2022
-------------------	------	---------	----------	-------------

Fonte: Elaborada pelo autor

Portanto, sete estações foram selecionadas para se fazer as análises (Monteiro, Camalaú, Sumé, Congo, Caraúbas, São Domingos do Cariri e Cabaceiras). O ano início das análises é o de 1994, pois este ano em questão foi selecionado de acordo a disponibilidade dos dados das estações, pois elas variam muito o início de suas atividades, por existirem estações com longo prazo de coleta e outras com prazos mais recentes. Dentre as estações escolhidas a única que apresenta o ano inicial diferente das demais é a de São Domingos do Cariri que tem o início de suas atividades no ano de 1998. Entretanto esta estação serviu apenas de parâmetro de análise do comportamento das precipitações que abrangem o canal como um todo, pois ela faz parte de um dos pontos de monitoramento que o grupo do GEAFS. Porém não entrou na correlação que foi elaborada, pois a mesma fica posterior ao posto fluviométrico de Caraúbas. A mesma coisa aconteceu com a estação de Cabaceiras, também não foi introduzida na correlação, por ser posterior ao posto fluviométrico de Caraúbas, servindo de parâmetro de análise do comportamento das precipitações que abrangem o canal como um todo. As etapas realizadas estão expressas no gráfico a seguir (Figura 13):

Figura 13: Etapas realizadas nos processamentos da pluviometria



Fonte: Elaborado pelo autor

Para a identificação dos anos que apresentarem anomalias em relação ao seu comportamento hidrológico nas estações analisadas do Alto Curso do Rio Paraíba, foi utilizado o índice de anomalia de chuva (IAC) que é uma medida utilizada para avaliar desvios

significativos nos padrões de precipitação em uma determinada região de acordo com sua média histórica. Ele é usado para identificar e quantificar variações anômalas na quantidade de chuva em diferentes períodos. Esse índice é calculado através da precipitação de um determinado período com a média histórica da precipitação para esse mesmo período. A anomalia pode ser positiva ou negativa (DINIZ, 2020).

O cálculo do índice de anomalia de chuva compreende a comparação da precipitação de um determinado período com a média histórica de precipitação para o mesmo período. A avaliação do grau de classificação de pluviosidade será feita através do cálculo do índice IAC, obtido a partir das equações:

$$IAC = 3 * \left[\frac{(N) - (\bar{N})}{(\bar{M}) - (\bar{N})} \right]$$

para anomalias positivas (1);

$$IAC = -3 * \left[\frac{(N) - (\bar{N})}{(\bar{X}) - (\bar{N})} \right]$$

para anomalias positivas (2);

Sendo:

N = precipitação mensal atual (mm);

\bar{N} = precipitação média mensal da série histórica (mm);

\bar{M} = média das dez maiores precipitações mensais da série histórica (mm) e

\bar{X} = média das dez menores precipitações mensais da série histórica (mm).

Para esta pesquisa, os procedimentos utilizados para calcular o IAC se basearam em determinar o período de 1994 a 2022 para calcular as anomalias de chuva. Calcular a média histórica de precipitação para o mesmo período. Calcular a média dos dez anos menos chuvosos e dez anos mais chuvosos. Depois, subtrair a média histórica de precipitação da precipitação observada para obter a anomalia de chuva de cada ano observado. E por fim, aplicar as equações para se obter os resultados, na qual a Equação 1 se dá para anomalias positivas e a Equação 2 se dá para anomalias negativas.

O resultado do cálculo se dá através de um valor que indica a magnitude da anomalia de chuva em relação as médias históricas. Assim se obtém a classificação da pluviosidade de acordo com índices das anomalias para o período analisado que podem ser vistos abaixo na tabela 2.

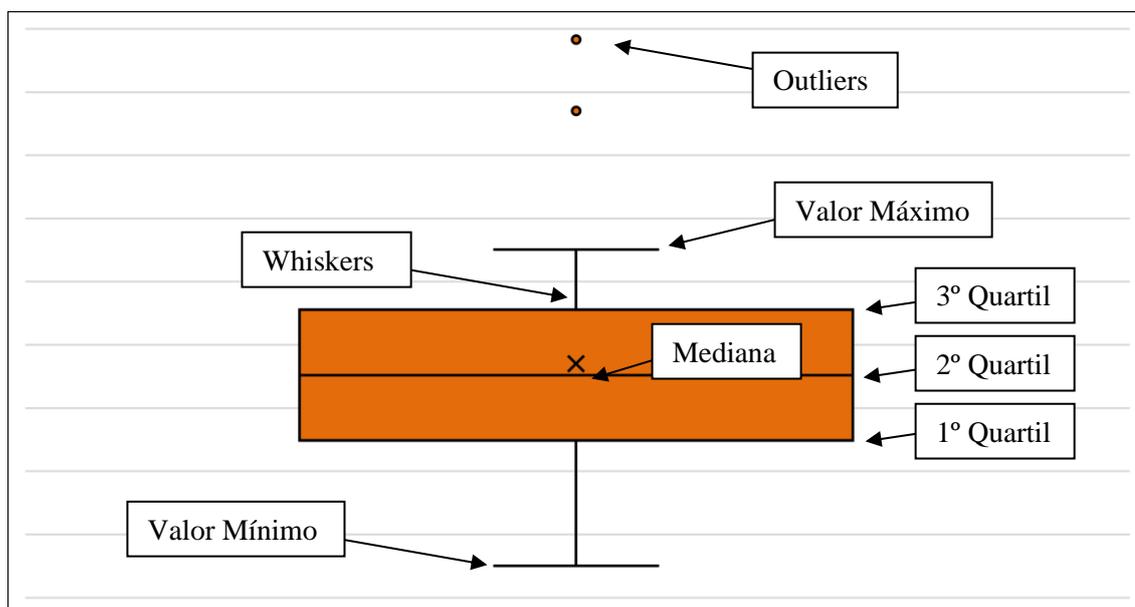
Tabela 2: Classificação e interpretação da pluviosidade segundo IAC

Índice de Anomalia de Chuva (IAC)	Classificação da Pluviosidade
IAC maior que 4	Extremamente Chuvoso
IAC entre 2 e 4	Muito Chuvoso
IAC entre 0 e 2	Chuvoso
IAC entre 0 e -2	Seco
IAC entre -2 e -4	Muito Seco
IAC menos que -4	Extremamente Seco

Fonte: Adaptado de Noronha (2016)

Após os resultados do IAC, se fez necessário definir o que seriam os eventos de alta intensidade e eventos extremos para cada estação analisada. A observação dos eventos foi feita a através do Boxplot (também conhecido como diagrama de caixa), que apresenta resultados entre intervalos de quartis (Figura 13). O Bloxpot foi utilizado para representar a distribuição estatística do conjunto de dados analisados e forneceu informações sobre a mediana, quartis, valores de mínimo e máximo. Além disso, o Boxplot permitiu também identificar a presença de *outliers* (valores extremos) nos dados, que são valores extremos que estão significativamente distantes dos intervalos interquartis e são representados como pontos individuais fora das *whiskers* (linha vertical que vai do mínimo ao máximo) (SHREFFLER e HUECKER, 2023).

Figura 14: Exemplo de Análise Exploratória de Dados com Boxplot



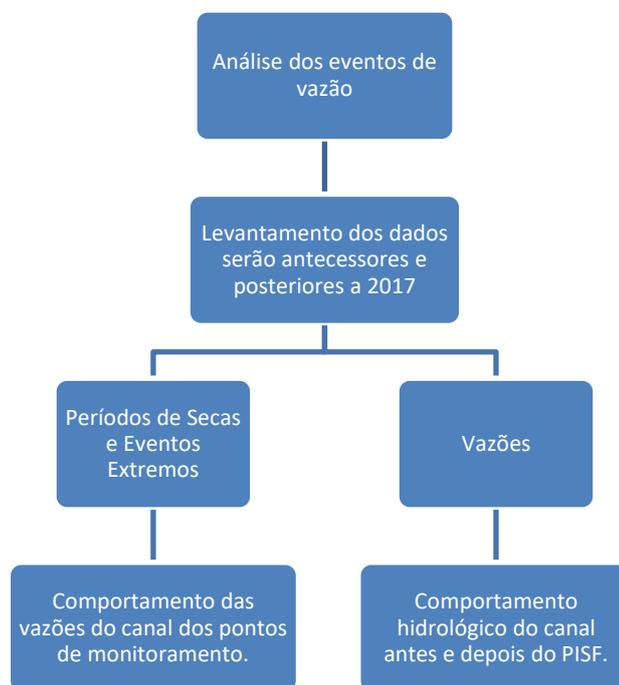
Fonte: Adaptado de Shreffler e Huecker (2023)

A partir das análises realizadas para este projeto, considerou-se como chuva intensa os valores acima de 75% (com limite de 100%) das máximas analisadas, que se encontram entre o 3º quartil e o valor máximo, qualquer evento de maior intensidade acima do valor máximo aparecerá representado por pontos que são os *outliers*, ou seja, eventos extremos.

Feita as análises de precipitação, por conseguinte, foram analisados os dados intrínsecos as informações fluviométricas referentes às vazões em pontos de monitoramento no Alto Curso do Rio Paraíba, foram obtidas por meio da plataforma HIDROWEB e a partir Sistema de Informações Hidrológicas da Agência Nacional de Águas (ANA). Os dados fluviométricos foram associados com dados de precipitação e pluviômetros distribuídos na Alto Curso e disponibilizados pela AESA com intuito de fazer uma correlação entre os registros de ocorrências pluviométricas com os eventos de vazão.

A análise entre a interação dos eventos de vazão com os eventos de precipitação foi realizada na identificação dos eventos de precipitação que geraram (e geram) eventos de vazão. As etapas realizadas estão expressas na figura a seguir (Figura 15):

Figura 15: Etapas realizadas nos processamentos da fluviometria



Fonte: Elaborado pelo autor

Inicialmente a análise fluviométrica se empenhou em observar os dados de alguns postos fluviométricos para que os resultados pudessem expressar a variação das vazões no canal do Alto Curso do Rio Paraíba. Sendo assim, o posto selecionado para se fazer as análises, foi o que se encontra no município de Caraúbas. Isso foi selecionado, pois foi verificado em seu banco de dados que ele conta com um longo histórico de coleta de dados com o período inicial de suas atividades datado de 1970. Para modelo de comparação e correlação, serão utilizados os dados entre 1994-2022.

Em princípio se procurou realizar a análise das informações do banco de dados para entender o comportamento de hidrológico das vazões. Com isso foi executada a estatística descritiva para se obter a Média de vazão, Máximo de vazão, Mês com o máximo de vazão, Número de dias com vazão, Máximo de dias consecutivos com vazão e Máximo dias consecutivos sem vazão.

Foi analisada também a variação temporal diária através de um hidrograma para que envolva algumas etapas e técnicas estatísticas para entender como o comportamento hidrológico varia ao longo do tempo. Após a coleta dos dados analisados foi feita a identificação de padrões sazonais, eventos extremos e comportamentos anômalos através de um gráfico elaborado depois das estatísticas descritivas. A análise das frequências foi utilizada para

verificar a probabilidade de ocorrência de diferentes níveis de vazão ao longo do tempo. Nesse contexto, foram utilizadas distribuições das médias diárias para estimar vazões máximas ou mínimas que ocorreram para um determinado período, que no caso deste trabalho é de 29 anos (ANDRADE, 2014).

Após esta etapa, foi realizada a estimativa de tempo de retorno a partir de uma série histórica, cujo a qual foi aplicada a metodologia da distribuição de Gumbel, que também conhecida como distribuição do “Valor Extremo Tipo I” ou “distribuição do máximo”, utilizada para modelar a distribuição dos valores máximos em uma série de dados. Primeiramente foi necessário ajustar a distribuição aos dados de interesse. Para estimar o tempo de retorno das vazões (T_r , em anos) foi extraído o evento máximo de vazão de cada ano, onde o mesmo foi colocado de forma decrescente para estimar os parâmetros da distribuição, no qual a maior vazão da série de dados irá ocupar a primeiro lugar na ordem das máximas (m =ordem) (MELLO e SILVA, 2005; NOBRE et al, 2021). O valor de T_r para cada cheia anual foi estimado utilizando a seguinte equação:

$$T_r = \frac{(n + 1)}{m}$$

Fonte: Adaptado de Nobre et al. (2021)

Onde:

T_r = Tempo de retorno (anos);

n = número de anos da série analisada;

m = número da vazão máxima na ordem.

Essa metodologia permitiu calcular o tempo de retorno das vazões, possibilitando identificar e analisar eventos extremos que ocorreram no período analisado ao longo da série histórica do posto fluviométrico de Caraúbas.

Por conseguinte, se obteve a curva de permanência de vazões que estabelece a relação entre o fluxo (normalmente na coordenada vertical) e a proporção do tempo em que ele é excedido ou igualado ao longo de todo o período histórico empregado na sua elaboração (geralmente na coordenada horizontal). Ela representa a contraparte da função cumulativa de

probabilidade das vazões ou a probabilidade de ocorrência de vazões superiores. Após a coleta dos dados das médias diárias, os mesmos são ordenados em ordem decrescente (CRUZ e TUCCI, 2008). O cálculo será executado através equação:

$$P = \frac{n}{m}$$

Onde:

P = Tempo de permanência;

n = Quantidade de vazões médias diárias total;

m = Número das vazões médias diárias na ordem.

Após obtenção dos dados mencionados acima, foi feita a correlação entre os dados fluviométricos e pluviométricos. Com essa correlação foi possível entender como a chuva agiu em relação as vazões do canal. O grau de associação entre as variáveis indica valores expressados entre +1 e -1, onde as relações analisam o comportamento coexistente, constatando se a variável está relacionada com a outra variável de forma negativa, nula ou positiva (NAGHETTINI E PINTO, 2007; MUKAKA, 2012). Se tratando de correlação, a equação mais utilizada para se fazer os cálculos referentes a essa temática é o Coeficiente de Correlação de Pearson (GOMES, 2019).

Os resultados entre os índices do Coeficiente de Correlação de Pearson, podem ser determinados pela seguinte equação:

Figura 16: Equação do Coeficiente de Correlação de Pearson

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_m)(y_i - y_m)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - x_m)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - y_m)^2}}$$

Fonte: adaptado de GOMES (2019).

No qual,

r é o coeficiente de correlação de Pearson;

x_i e **y_i** são valores medidos de ambas as variáveis;

\bar{x}_m e \bar{y}_m são as médias das variáveis x e y ;

n é o número de pares de variáveis.

Existem dois conceitos fundamentais para se compreender a correlação, que são: associação e linearidade. Em termos estatísticos, duas variáveis estão associadas quando as mesmas geram conformidades no ordenamento dos resultados que elas apresentam. Em termos gráficos, por relação entre as variáveis considera-se que a melhor forma de ilustrar o padrão de relacionamento entre duas variáveis é através de uma linha de tendência. Portanto, a correlação de Pearson (r) exige um compartilhamento de variância e que essa variação seja distribuída na linha de tendência. (FILHO e SILVA JÚNIOR, 2009).

Quando as variáveis estão em acordo linear, significa dizer que a relação entre elas tem o mesmo impacto, ou seja, quando uma aumenta a outra também aumenta proporcionalmente (isso se for positiva). Se for negativa as variáveis são inversamente proporcionais. Se uma aumenta a outra diminui, então existirá uma correlação negativa. (MATINS, 2014; GOMES, 2019)

A interpretação se dá através de nove resultados que apresentam, como já citado anteriormente, os resultados são expressos entre +1 e -1. Quando o resultado exprime o valor de 1 positivo, indica que há uma correlação perfeita positiva; Entre 0,8 e 1, correlação forte positiva; de 0,8 a 1 correlação moderada forte positiva; de 0,5 a 0,8 correlação moderada positiva; de 0,1 a 0,5 correlação insignificante positiva; quando o “ r ” exprime um resultado de 0, indica que a correlação é nula, ou seja, as variáveis não têm nenhum tipo de correlação. Quando o resultado exprime o valor de 1 negativo indica que há correlação perfeita negativa; de -1 a -0,8 correlação forte negativa; -0,8 a -0,5 correlação moderada negativa; -0,5 a -0,1 correlação fraca negativa; -0,1 a 0 correlação insignificante negativa. A tabela 3 a seguir apresenta a interpretação de forma organizada:

Tabela 3: Classificação e interpretação do Coeficiente de Correlação de Pearson

Classificação do coeficiente correlação	Interpretação da correlação
$r = 1$	Correlação perfeita positiva
$r = 0,8$ a 1	Correlação forte positiva
$r = 0,5$ a $0,8$	Correlação moderada positiva
$r = 0,1$ a $0,5$	Correlação fraca positiva
$r = 0$ a $0,1$	Correlação insignificante positiva
$r = 0$	Nula
$r = -0,1$ a 0	Correlação insignificante negativa
$r = -0,5$ a $-0,1$	Correlação fraca negativa
$r = -0,8$ a $-0,5$	Correlação moderada negativa
$r = -1$ a $-0,8$	Correlação forte negativa
$r = -1$	Correlação perfeita negativa

Fonte: Adaptada de GOMES (2019)

O nível de associação e linearidade entre duas variáveis pode ser visualizado através da elaboração de um gráfico com um diagrama de dispersão, ou por uma medida numérica que irá representar a correlação de duas variáveis. No Coeficiente de Correlação de Pearson, os dados podem ser representados em um plano cartesiano por pares ordenados, onde os eixos x e y que representam as duas variáveis, sendo uma vertical e outra na horizontal (DE JESUS LIMA, 2018).

5.2 Identificação e Monitoramento de Mudanças Morfológicas (Unidades Geomórficas)

Visando identificar as modificações morfológicas no canal do Alto Curso do Rio Paraíba, foram utilizadas imagens do *software* Google Earth para se obter uma visualização espaço-temporal que antecedem as obras do PISF, para poder visualizar como os pontos escolhidos para se fazer as análises eram antes da implementação do projeto. Foram utilizadas imagens, recentes o suficiente para fornecer uma visualização atualizada da configuração do ponto. A data da imagem do trecho analisado que fica no Congo é de 06/2013, a de Caraúbas é de 01/2015, a dos trechos que se encontram em São Domingo do Cariri são de 01/2015 (para o ponto 2) e 08/2013 (para o ponto 1), já Cabaceiras é de 06/2016.

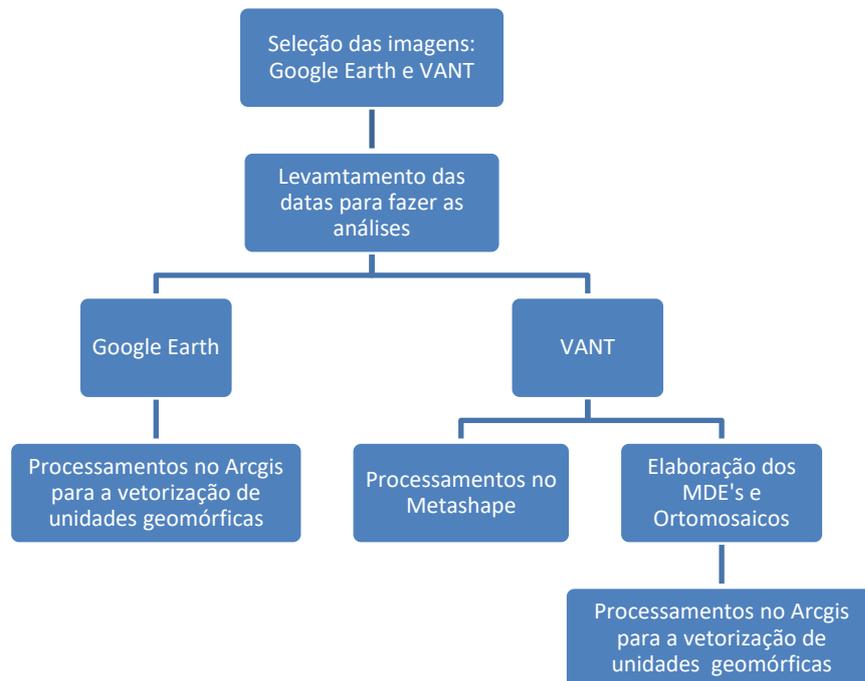
As imagens foram baixadas de acordo com uma lógica temporal, onde foram selecionadas dos mesmos trechos em que o GEAFS faz os monitoramentos, apresentando assim o comportamento do canal e de unidades geomórficas antes do início das atividades. O objetivo foi visualizar e identificar essas unidades para poder comparar as modificações geomorfológicas que ocorreram depois da implementação do PISF. Para isso se exigiu uma etapa de vetorização das unidades geomórficas no Arcgis 10.5, no qual as imagens foram georreferenciadas e submetidas aos procedimentos necessários dentro do *software* (Figura 17).

A metodologia unidades geomórficas através de drone envolve algumas etapas como a coleta e o processamento dos dados obtidos a partir das imagens capturados pelo VANT ao sobrevoar trechos do canal do Alto Curso do Rio Paraíba. Foram realizados trabalhos de campo para a identificação dos trechos a serem analisados. Posteriormente foram analisadas imagens de levantamentos aéreos feitos por VANT realizados pelo GEAFS entre os anos de 2019 e 2022 em cinco pontos de monitoramento ao longo do canal no Alto Curso do Rio Paraíba. A análise focou na interpretação de unidades geomórficas que se encontram dentro do canal, visando identificar as modificações que a maior disponibilidade hídrica pós PISF gerou no canal. A seleção das datas dependeu da disponibilidade das imagens obtidas pelo GEAFS em trabalhos de campo realizados para fazer as coletas das mesmas. Sendo assim as seguintes datas dos seguintes trechos foram escolhidas: Congo - 01/10/2019, 04/12/2021, 18/12/2021, 19/02/2022; Caraúbas - 01/10/2019, 04/12/2021, 18/12/2021, 19/03/2022; São Domingos do Cariri 2: 01/10/2019, 04/02/2021, 04/12/2021, 19/03/2022; São Domingos do Cariri 1: 01/10/2019, 04/02/2021, 19/03/2022, 30/05/2022 e Cabaceiras - 01/10/2019, 04/02/2021, 19/02/2022, 30/05/2022.

As imagens foram processadas no *software* Agisoft METASHAPE, no qual as imagens são processadas para a geração de nuvens de pontos. Esse processo inclui dos segmentos principais, um é o alinhamento das imagens coletadas através da detecção de pontos similares entre as imagens. O outro é a própria geração de nuvens de pontos usando uma correlação que é calculada por aproximação. Para o tratamento das imagens será necessário seguir alguns passos como importar as imagens para dentro do *software* e realizar o processamento das imagens para se obter os produtos necessários para utilizá-los nos resultados (TINKHAM e SWAYZE, 2021). Em geral a metodologia seguirá os passos de: Captura de imagens em alta resolução de acordo com os pontos de monitoramento do GEAFS na área de estudo, na qual foi feito um co-alinhamento entre as imagens para permitir a criação dos modelos tridimensionais; para criar ortomosaicos (imagens corrigidas geometricamente),

mosaicos e os Modelos Digitais de Elevação (MDE); Análise dos ortomosaicos através da morfologia identificando características das unidades geomórficas, para auxiliar na compreensão da dinâmica do canal e seus processos fluviais; Monitoramento de Mudanças através da comparação de diferentes períodos para monitorar mudanças as das unidades geomórficas, identificando as alterações morfológicas dessas unidades ao longo do período analisado; E por fim a apresentação de resultados das unidades geomórficas, apresentado através dos mapas e imagens, expressando os principais pontos da análise (Figura 17).

Figura 17: Organograma das etapas realizadas nos processamentos de imagens



Fonte: Elaborado pelo autor

Os mapeamentos foram realizados a partir de levantamento aerofotogramétricos realizados com um VANT modelo Phantom 3, disponíveis no Departamento de Geociências da UFPB, diferenciando os padrões de evolução para os trechos selecionados no canal do Alto Curso do Rio Paraíba. A partir da análise dos mapas elaborados foram obtidos os comportamentos representativos das evoluções das unidades geomórficas a partir desses mapeamentos de detalhe (GURNELL e BERTOLDI, 2020; MORGANA, BOLGERB, *et al.*, 2020).

As unidades geomórficas são feições geomorfológicas constituintes do ambiente fluvial encontradas tanto dentro quanto fora do canal fluvial. Essas unidades representam as

feições do relevo que compõem e moldam o canal fluvial ao longo do seu trajeto. Metaforicamente, podem ser comparadas a peças tridimensionais que formam a estrutura e a morfologia do canal. Essa abordagem parte da análise sistemática dessas unidades, oferecendo uma visão essencial sobre o comportamento e a evolução do canal fluvial (FRYIRS e BRIERLEY, 2013; PELECH, 2021).

As unidades geomórficas são fundamentais para se compreender as características e o comportamento do canal fluvial. Elas representam um parâmetro importante na compreensão de análises temporais. Os critérios adotados para essa análise incluem unidades como o próprio canal fluvial, bem como a presença de barras arenosas, barras laterais, barras arenosas lateais e ilhas. O procedimento de identificação abrange tanto análises em ambiente SIG (Sistema de Informações Geográficas) quanto em campo. (RODRIGUES, 2021)

As unidades geomórficas resultam de processos de erosão e depósito de sedimentos, e fazer a identificação das mesmas é fundamental para mapear as características do canal. O mapeamento geomorfológico das feições fluviais, utiliza níveis distintos, começando pelas maiores feições até as menores. O primeiro nível foca posição das feições, que podem ser fora ou dentro do canal. O segundo nível observa a geometria plana, côncava ou convexa das unidades. O terceiro nível se refere as formas que existem no canal, como ilhas, barras e etc. E o quarto nível subcategorias morfológicas (WHEATON et al. 2015; PELECH, 2021). Para este trabalho em questão, foram elencadas de forma simplificada a identificação da localização, forma e morfologia específicas das unidades geomórficas encontradas nas imagens analisadas (tabela 4).

Tabela 4: Lista de algumas unidades geomórficas reconhecidas em canal fluvial

Localização	Forma	Morfologia específica
Dentro do Canal	Côncava	Barra Arenosa
		Barra Arenosa Lateral
		Barra Lateral
		Ilha

Fonte: Adaptado de PELECH (2021)

Mesmo com uma metodologia de classificação simplificada das unidades geomórficas, existem certas limitações na identificação das mesmas, posto que existem

características específicas para cada metodologia aplicada por conta de seus diferentes propósitos para se fazer a classificação, sendo difícil atender a todos os propósitos ou conseguir englobar todas as possibilidades. Embora a literatura busque classificações mais precisas, alinhadas a objetivos específicos, um ponto crucial para o pesquisador é optar por uma classificação que adeque ao que ele irá usar. Essa situação pode provocar críticas por parte de especialistas, muitas vezes relacionadas à exigência de rigor científico, enquanto parte da crítica também está ligada a uma diferenciação cultural entre acadêmicos e profissionais da área da geomorfologia fluvial. A grande discussão dessa incompatibilidade de classificações de unidades geomórficas se é pertinente padronizar ou não as classificações, sendo que há múltiplos métodos e análise sendo. Um ponto a ser pensando é que a ideia de padronização resulta em que nenhum método será perfeito para todas as aplicações e propósitos de estudo (PELECH, 2021).

Os procedimentos e as discussões acerca das análises de imagens citados acima têm o intuito de expandir a metodologia sistemática de análise e monitoramento da dinâmica hidrogeomorfológica de canais intermitentes impactados, visando o entendimento das interações entre precipitação, vazão e geomorfologia. Entre os pontos mais relevantes está uma das metodologias de análise para os levantamentos de VANT, aplicados a dinâmica geomorfológica, visto que a partir dos dados gerados foi possível monitorar não apenas a morfologia dos elementos geomorfológicos dos ambientes fluviais, mas também analisar a modificação de suas unidades.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados desse trabalho se estruturaram na análise dos dados coletados e gerados a partir da aquisição de dados hidrológicos, sendo eles a interpretação das informações contidas nos bancos de dados adquiridos com ênfase na explanação das análises de antes e depois da transposição, considerando a correlação chuva e vazão. Em um segundo momento, a pesquisa se consistiu na análise a partir dos levantamentos de imagens, de modo que foram observadas alterações nos cenários geomorfológicos frente as mudanças no regime hidrológico do Alto Paraíba, os associando com imagens do *software* Google Earth e com o mapeamento de detalhe gerado pelos produtos do VANT, considerando as diferentes condições que se encontravam nos referidos trechos.

É perceptível algumas alterações no canal principal da área de estudo e com as análises executadas. Foram detectados um pequeno número de indicadores para o entendimento dos impactos gerados por modificações hidrológicas de projetos de integração entre bacias hidrográfica que aumentam a oferta de água em canais intermitentes e efêmeros. Sendo assim, a partir do monitoramento das evoluções geomorfológicas, foi possível identificar algumas modificações geradas pelo PISF. Tais informações geradas podem significar um avanço de certa forma ainda não apresentado no entendimento da dinâmica ambiental da região do Alto Curso do Rio Paraíba.

6.1 Análise hidrológica - Pluviométrica

No mapa a seguir estão posicionamentos das estações pluviométricas de Monteiro, Camalaú, Sumé, Congo, Caraúbas, São Domingos do Cariri e Cabaceiras dentro da área de estudo, juntamente com o posto fluviométrico de Caraúbas que serviu como base para se fazer a correlação (Figura 18).

Figura 18: Mapa das estações pluviométricas analisadas



Fonte: Elaborado pelo autor

Dentre as estações selecionadas, a de Sumé é a que fica mais afastada do canal. Entretanto ela fornece dados pluviométricos de potenciais chuvas que se localizam nas proximidades de um importante afluente Rio Paraíba em seu Alto Curso que converge um pouco antes do posto fluviométrico de Caraúbas, que é o rio Sucuru. Essa estação servirá também de base para se fazer a correlação de seus dados em conjunto com os dados de vazão.

A sequência da análise seguirá o curso do canal da montante para a jusante, seguindo a ordem dos municípios onde as estações estão localizadas. As estações apresentaram uma grande variabilidade de dados correspondentes as chuvas acumuladas.

Analisando os resultados mais expressivos de cada estação, em relação a anos com os acumulados mais significativos, se obteve as seguintes informações. As estações apresentaram médias anuais entre 342,7 mm a 597,1 mm, levando em consideração que as médias das estações de Camalaú e Caraúbas foram afetadas por falta de dados, pois as células

preenchidas com o símbolo de cerquilha (#) são de informações que se apresentaram incompletas no banco de dados quando foram feitas análises e assim foram retiradas dos resultados, como é o caso do acumulado do ano 2018 em Camalaú. A estação coletou dados apenas de maio a novembro. Já em Caraúbas, foram retirados os acumulados dos anos de 2015 (dados de janeiro a agosto), 2017 (dados de julho a dezembro) e de 2018 (dados de janeiro a março). Já São Domingos do Cariri só apresentou dados a partir de 1998.

Em relação a quantidade de chuva acumulada relacionada a extremos superiores, os seguintes resultados foram obtidos: A estação de Monteiro no ano de 2009 atingiu um acumulado anual de 883,6 mm. Já o outro ano em destaque foi 2020, com um acumulado anual de 1060,9 mm, sendo esse o maior acumulado anual do período analisado dentre todas as estações observadas, tendo 72 dias com chuva ao longo do ano. A estação do Congo apresentou o ano de 2009 com o maior acumulado anual de seu período analisado que foi de 932,2 mm. A estação de Camalaú apresentou que o ano de 2009 teve um acumulado anual de 1016,5 mm. Já o outro ano em destaque é 2020, que apresentou um acumulado anual de 1060,9 mm. A estação de Caraúbas no ano de 2008 obteve um acumulado anual de 708,5 mm. Já em 2009 obteve um acumulado anual de 654 mm. E no ano de 2011, ano do maior acumulado desta estação, ficou com 731,1 mm. A estação de Sumé também apresentou o ano de 2009, coincidindo com os resultados de Camalaú e Congo, com seu acumulado anual em 890,2 mm. A estação de São Domingos do Cariri apresentou o ano de 2008 como o ano com maior acumulado, 816,7 mm. 2011 ficou com um acumulado anual de 724,8 mm e 2020 com um acumulado anual de 739,6 mm. Por fim a estação de Cabaceiras apresentou o ano de 2004 com o maior acumulado anual de 755,8 mm. Já o outro ano em destaque foi 2008, com um acumulado de 736,8 mm. E por fim o ano de 2009 com um acumulado anual de 677,8 mm.

Em relação a quantidade de chuva acumulada relacionada a extremos inferiores, os seguintes resultados foram obtidos: Os acumulados anuais mais baixos na estação de Monteiro ocorrem em 1998 foi de 170,3 mm e em 2012 194,1 mm. Em Camalaú foram nos anos de 1998 com 115,5mm, 1999 com 84,8 mm e 2012 com 86,7 mm. Congo atingiu os acumulados mais baixos nos anos de 1998 com 109,7 mm e 2012 com 60,7 mm. Sumé obteve em 2012 apenas 27 mm, o acumulado anual mais baixo dentre todas as estações analisadas com 360 dias sem chuvas registradas nesse ano. Caraúbas apontou 1998 com 77,4 mm e 2012 com 114,6 mm. São Domingos do Cariri ficou em 1998 com 61,8 mm e em 2012 90,7 mm. E Cabaceiras ficou em 2017 com 104,7 mm e 2021 com 148,3 mm (tabela 5).

A título informativo complementar, as estações Camalaú, Congo e Sumé apresentam seus maiores acumulados no mesmo ano (2009), curiosamente estações que estão sequenciadas. Existem duas similaridades que chamam atenção dentre todas as estações em relação aos seus menores acumulados. São os anos de 1998 e 2012 que apresentam essa característica de serem os anos com os menores acumulados anuais. Esses dois anos sofreram esse *déficit* de precipitação por conta alterações climáticas que ocorreram nesses anos. Nos anos em questão ocorreram dois períodos de secas extremas no Nordeste brasileiro que consequentemente atingiram o Alto Curso do Rio Paraíba. Em 1998, foi causada por conta El Niño/quente tropical do Atlântico Norte. Já em 2012, a seca afetou mais de 1.100 cidades em toda a região semiárida brasileira. Isso ocorreu por conta de um evento da La Niña existente no Pacífico tropical no decorrer do verão do sul e por causa do Atlântico tropical que se encontrava relativamente neutro (MARENGO, 2016).

Tabela 5: Precipitação acumulada (mm) de 1994* a 2022 cada estação selecionada.

*São Domingos do Cariri a partir de 1998

Anos Analisados	Monteiro	Camalaú	Congo	Sumé	Caraúbas	São Domingos do Cariri	Cabaceiras
1994	449 (-2,39)	408 (0,12)	326,1 (-1,34)	551,9 (0,53)	335,2 (-0,11)	-	501 (1,46)
1995	707 (1,55)	588,6 (2,89)	525,6 (1,60)	487 (-0,16)	272,9 (-1,00)	-	355,3 (-0,73)
1996	506,7 (-1,46)	430,5 (0,46)	389 (-0,36)	624,7 (1,48)	253,2 (-1,29)	-	396,1 (-0,08)
1997	604 (0,10)	428,8 (0,44)	412,2 (0,01)	431,5 (-0,52)	503,6 (2,20)	-	463,3 (0,91)
1998	170,3 (-6,88)	115,5 (-4,10)	109,7 (-4,74)	234,8 (-1,80)	77,4 (-3,81)	61,8 (-2,45)	154,5 (-3,98)
1999	451,3 (-2,35)	84,8 (-4,54)	329,5 (-1,29)	357,3 (-1,00)	458,9 (1,59)	209,3 (-1,44)	238,8 (-2,62)
2000	793,1 (2,76)	397,3 (-0,04)	553,5 (1,99)	809,3 (3,89)	479,2 (1,86)	634,1 (2,89)	649,8 (3,64)
2001	556,7 (-0,65)	357,3 (-0,62)	350,8 (-0,96)	535,1 (0,31)	295,3 (-0,68)	413,3 (-0,04)	337,8 (-1,02)
2002	772,2 (2,47)	333,1 (-0,97)	370,9 (-0,64)	746,2 (3,07)	484,9 (1,94)	480,1 (0,82)	574,3 (2,54)
2003	408,1 (-3,05)	233,2 (-2,40)	218,2 (-3,04)	462 (-0,32)	140,4 (-2,91)	161,6 (-1,76)	402,2 (0,02)
2004	857,3 (3,67)	594,7 (2,98)	623 (2,97)	737 (2,95)	472,7 (1,77)	683,8 (3,55)	755,8 (5,19)
2005	707,3 (1,55)	458,1 (0,89)	641,8 (3,23)	685,8 (2,28)	421,8 (1,08)	465,4 (0,63)	433 (0,47)
2006	707,7 (1,56)	468,9 (1,05)	498,3 (1,22)	526,6 (0,20)	397,5 (0,75)	470,5 (0,70)	306,4 (-1,53)
2007	517,4 (-1,29)	360,4 (-0,57)	348,3 (-1,00)	393,5 (-0,77)	371,7 (0,40)	378,9 (-0,27)	288,1 (-1,82)
2008	790,7 (2,73)	495,8 (1,47)	646,6 (3,30)	777,2 (3,47)	708,5 (4,99)	816,7 (5,34)	736,8 (4,91)
2009	883,6 (4,04)	1016,5 (9,45)	932,2 (7,32)	890,2 (4,95)	654 (4,25)	715,8 (3,98)	677,8 (4,05)
2010	757,9 (2,27)	542,8 (2,19)	659,8 (3,49)	522,9 (0,15)	503,3 (2,19)	693,6 (3,69)	379,8 (-0,34)
2011	769,8 (2,43)	555,1 (2,37)	610,2 (2,79)	814,7 (3,96)	731,1 (5,30)	724,8 (4,10)	596,5 (2,86)
2012	194,1 (-6,50)	86,7 (-4,51)	60,7 (-5,51)	27 (-3,15)	114,6 (-3,28)	90,7 (-2,25)	205,8 (-3,15)
2013	524,1 (-1,18)	400,1 (0,00)	269,5 (-2,23)	254,4 (-1,67)	141,8 (-2,89)	267,7 (-1,04)	317,3 (-1,35)
2014	476,4 (-1,95)	444,2 (0,67)	249,2 (-2,55)	726,1 (2,81)	186,2 (-2,25)	262,7 (-1,07)	397,3 (-0,06)
2015	519,8 (-1,25)	258,7 (-2,04)	302,6 (-1,71)	220,4 (-1,89)	#	288,7 (-0,89)	187,9 (-3,44)
2016	450,4 (-2,36)	220,5 (-2,59)	166,4 (-3,85)	285,3 (-1,47)	183 (-2,29)	239,2 (-1,23)	200,7 (-3,24)
2017	585,8 (-0,18)	189,8 (-3,03)	273,3 (-2,17)	237,4 (-1,78)	#	153,7 (-1,82)	104,7 (-4,79)
2018	512,6 (-1,36)	#	421,5 (0,14)	104,8 (-2,64)	#	400,4 (-0,13)	378,3 (-0,36)
2019	566,1 (-0,50)	499,1 (1,52)	551,9 (1,97)	545,4 (0,45)	286,6 (-0,81)	385,5 (-0,23)	332,3 (-1,11)
2020	1060,9 (6,53)	678,6 (4,27)	506,7 (1,34)	747 (3,08)	628,7 (3,90)	739,6 (4,30)	428,8 (0,41)
2021	525,8 (-1,15)	519,3 (1,83)	231,5 (-2,83)	511,1 (0,00)	341,2 (-0,02)	315,1 (-0,71)	148,3 (-4,08)
2022	491 (-1,71)	402,5 (0,04)	360 (-0,81)	577 (0,86)	226,9 (-1,66)	413 (-0,04)	672,9 (3,98)
MÉDIA	597,1 (-0,16)	400,2 (0,7)	411,7 (-0,13)	511,2 (-0,60)	342,7 (-0,06)	418,6 (0,59)	400,7 (-0,11)

Fonte: Elaborado pelo autor

A categorização estabelecida para fazer as análises dos comportamentos anuais dos acumulados, se deu com base no IAC de cada estação. Foi necessário fazer o índice para cada estação, pois mesmo as estações se encontrando numa mesma região, os resultados também apresentaram uma grande variabilidade espacial de precipitação. Posto isso, não se pode afirmar que a anomalia encontrada em um ano extremante chuvoso de Monteiro é a mesmo de Caraúbas. Senso assim, foi visto que ficaria inviável de fazer as análises do comportamento da

precipitação utilizando um valor unificado entre as estações da área de estudo como base para todas as estações analisadas. Os resultados estão exibidos dentro da tabela 3 e estão entre parênteses na frente dos resultados dos acumulados anuais.

Na estação pluviométrica de Monteiro, os anos mais chuvosos com um índice superior a 4 foram 2009 (índice de 4,04) e 2020 (índice de 6,53), indicando que foram anos extremamente chuvosos. Em contraste, 1998 e 2012 tiveram índices de -6,88 e -6,50, respectivamente, revelando anos extremamente secos, os mais baixos entre todas as estações. O ano de 2017, quando o PISF iniciou, teve um índice de -0,18, sugerindo condições secas na estação. Um dado interessante exposto nas observações desta estação, foi que os valores dos resultados de alta intensidade, não implicaram em dizer que eles ocorreram nos anos considerados extremamente chuvosos. Como por exemplo o ano de 2017 que apresentou um evento de 120 mm no dia 02 de abril, comprovando que mesmo em um ano considerado seco, existe a probabilidade de ocorrer um evento de chuva de alta intensidade. A média dos acumulados desta estação ficou em 597,1 mm anuais. Os resultados mostraram eventos de alta intensidade de precipitação em anos com outra variação no IAC diferente de extremamente chuvosos, como será apresentado nos resultados de eventos extremos mais à frente no gráfico boxplot.

Na estação de Camalaú revelou dois anos com IAC acima de 4, indicando extrema pluviosidade: 2009 (IAC de 9,45) com destaque para os dias 03 de abril e 07 de maio, onde se obtiveram chuvas de 153,8 mm e 100 mm, respectivamente, e 2020 (IAC de 4,27), semelhantes aos resultados da estação de Monteiro. Já os anos de 1998 (-4,10), 1999 (-4,54), 2012 (-4,51) e 2018 (-5,22) foram anos extremamente secos. 2017 teve um IAC de -3,03, sendo considerado um ano muito seco. A estação do Congo apresentou apenas um ano com IAC acima de 4, que foi 2009 (IAC de 7,32), considerado extremamente chuvoso, no qual o dia 06 de maio, evidenciou uma chuva de 127,6 mm. Em contrapartida, 1998 (-4,74) e 2012 (-5,51) foram anos extremamente secos. Em 2017, o IAC foi -2,17, classificado como um ano muito seco. A estação de Sumé registrou um único ano com IAC acima de 4, que foi 2009 (IAC de 4,95). Não houve anos com IAC abaixo de -4 nesta estação. No entanto, 2012 teve um IAC de -3,15, indicando um ano muito seco. 2017 foi classificado como um ano apenas seco, com um IAC de -1,78. Já a estação de Caraúbas, apresentou anos extremamente chuvosos, com IAC acima de 4, os anos de 2008 (IAC de 4,99), 2009 (IAC de 4,25) e 2011 (IAC de 5,30). Tendo 2008 no dia 6 de maio uma chuva de 84 mm e 2001 no dia 24 de fevereiro uma chuva de 110,8 mm. Já

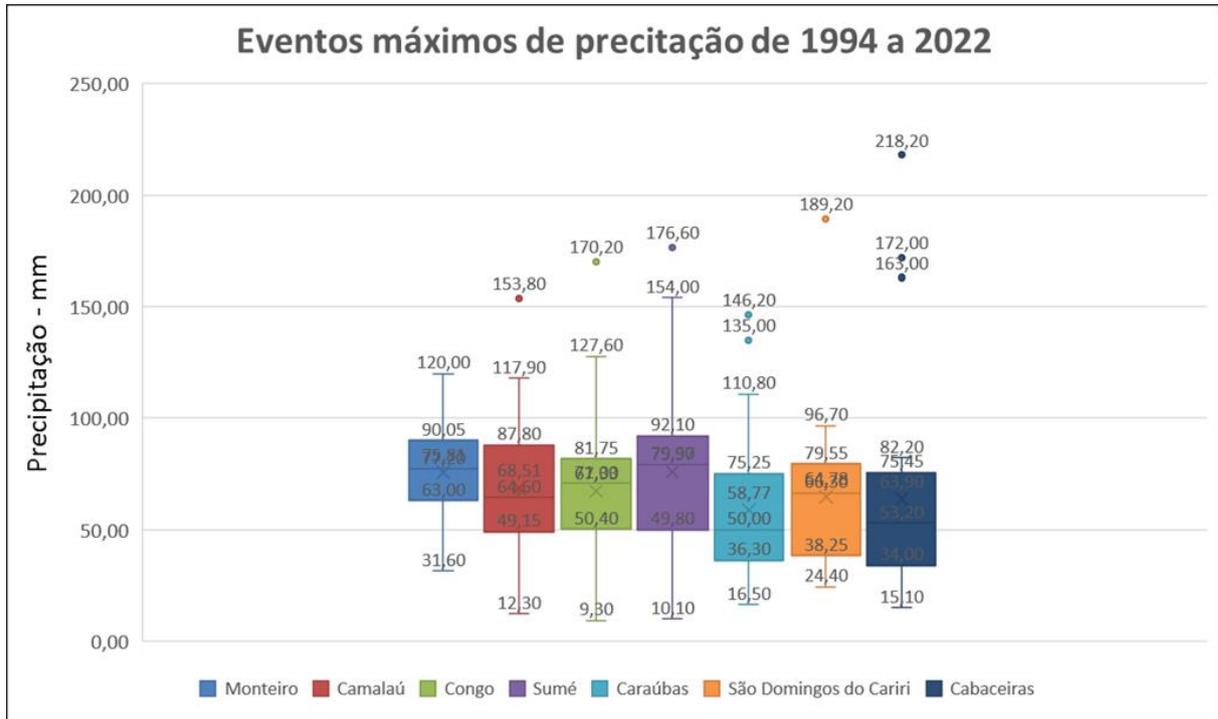
o ano de 2017 apresentou uma lacuna nos dados e não foi relacionado. O resultado mais notável foi em 1998, com um IAC de -3,81, equivalente a um ano muito seco.

As estações de São Domingos do Cariri e Cabaceiras, embora não façam parte da correlação estatística com o posto fluviométrico de Caraúbas, as mesmas têm relevância acentuada na área de estudo, uma vez que estão em municípios de referência para esta pesquisa também auxiliaram na análise das imagens realizadas. Ambas foram analisadas da mesma forma que as estações anteriores. Na estação de São Domingos do Cariri, três anos foram considerados extremamente chuvosos, destacando 2008 (IAC de 5,34), 2011 (IAC de 4,10) e 2020 (IAC de 4,30), com IAC acima de 4. Não houve anos com IAC abaixo de -4 nesta estação, mas em 1998, registrou-se um IAC de -2,45, indicando um ano muito seco. O ano de 2017 teve um IAC de -1,82, classificando-o como seco. Na estação de Cabaceiras, também houve três anos extremamente chuvosos, incluindo 2004 (IAC de 5,19), 2008 (IAC de 4,91) e 2009 (IAC de 4,05), com IAC superior a 4. Dois anos tiveram IAC abaixo de -4, sendo 2017 o mais seco, com um IAC de -4,79, correspondendo ao ano do início das operações do PISF, e 2021 com um IAC de -4,08, também considerado extremamente seco.

Nas estações analisadas, ficou evidente que 2009 e 2020 foram anos extremamente chuvosos em várias destas estações, indicando eventos pluviométricos acima dos 4 no IAC. Além disso, os eventos extremos de precipitação nem sempre estiveram associados a anos extremamente chuvosos, indica que esses eventos podem ocorrer independentemente do tipo de anomalia do ano. As quantidades de chuva acumulada durante esses anos extremamente chuvosos variaram em cada estação, mostrando a complexidade das chuvas ao longo da região.

Os meses que mais se repetiram nos resultados foram os meses de maio (17 vezes), março (14 vezes), abril (13 vezes), fevereiro (9 vezes) e janeiro (8 vezes), todos esses dentro do período chuvoso. Fora do período chuvoso apareceram julho (2 vezes), outubro (2 vezes) e dezembro (2 vezes). Esses se destacam por serem eventos fora do período chuvoso. Vale ressaltar que os meses de junho, agosto, setembro e novembro não apareceram nos resultados analisados.

A ocorrência de chuvas intensas e eventos extremos nas estações analisadas, foram apresentadas em um gráfico boxplot (Figura 19). Nos *outliers* dos boxplots, foram registrados em alguns anos extremamente e até mesmo em anos secos de acordo com os acumulados e IAC apresentados acima. Esses eventos extremos são os eventos que de fato causam modificações significativas na área de estudo, além de indicarem situações atípicas.

Figura 19: Gráfico Boxplot: Estações pluviométrica analisadas

Fonte: Elaborado pelo autor

De acordo com a descrição de chuvas intensas, que para esse trabalho foram definidas nos valores acima de 75% (com limite de 100%) das máximas analisadas, que se encontram entre o 3º quartil e o valor máximo no boxplot. Na estação de Monteiro, os eventos de chuva de maior intensidade ficaram entre 90,05 mm e 120 mm, aconteceram nos dias 31 de dezembro de 1997 com 105 mm; dias 13 e 14 de maio de 2006 com 103 mm e 100 mm respectivamente; 6 de maio de 2008 com 108,02 mm; 11 de dezembro de 2010 com 90,1 mm; 30 de março de 2016 com 98,1 mm; 2 de abril de 2017 com 120 mm e 31 de março de 2019 com 90,1 mm. A estação de Monteiro não apresentou nenhum *outlier* (ou seja, um evento extremo) acima do valor máximo evidenciado.

Para a estação de Camalaú, os eventos de chuva intensas, que para esta estação ficaram entre 87,80 mm e 117,90 mm, aconteceram nos dias 13 de fevereiro de 1994 com 98 mm; 6 de abril de 1996 com 106 mm; 26 de janeiro de 2004 com 96 mm; 7 de maio de 2009 com 110 mm; 28 de abril de 2014 com 117,9 mm; 16 de maio de 2019 com 114,1 mm e 13 de abril de 2021 com 90 mm. A estação de Camalaú apresentou um evento extremo (*outlier*) acima do valor máximo evidenciado em seu boxplot, que foi no dia 3 de abril de 2009. O evento extremo foi de 153,80 mm e aconteceu dentro de um dos anos extremamente chuvosos desta estação.

Para a estação do Congo, os eventos de chuva intensas, que para esta estação ficaram entre 81,75 mm e 127,60 mm, aconteceram nos dias 17 de fevereiro de 1995 com 87 mm; 26 de março de 1997 com 86,2 mm; 13 de maio de 1999 com 93 mm; 5 de janeiro de 2002 com 84 mm; 6 de maio de 2009 com 127,6 mm e os dias 6 e 14 de fevereiro de 2019 com 83,5 mm e 83 mm, respectivamente. A estação ainda apresentou dois eventos extremos acima do valor máximo 127,60 mm, entretanto apenas um evento apareceu como *outlier*. Isso ocorreu pois o outro evento extremo aconteceu no mesmo ano e na seleção das máximas, prevaleceu o maior valor. Sendo assim o dia 25 de janeiro de 2005 ficou com 130 mm e o evento extremo mostrado como outlier foi o do dia 25 de março de 2005 com 170,2 mm. Os eventos extremos não ocorreram dentro do ano extremamente chuvoso desta estação.

Para a estação de Sumé, os eventos de chuva intensas, que para esta estação ficaram entre 92,10 mm e 154 mm, aconteceram nos dias 14 de fevereiro de 1994 com 94,7 mm; 7 de março de 1994 com 103,2 mm; 12 de março de 1996 com 110,2 mm; 10 de janeiro de 2000 com 115 mm; 25 de março de 2002 com 106,4 mm; 13 de fevereiro de 2003 com 93 mm e 14 de março de 2021 com 154 mm. A estação apresentou um evento extremo (*outlier*) acima do valor máximo de 154 mm, que foi no dia 27 de março de 2014. O evento extremo foi de 176,6 mm e aconteceu dentro de um ano considerado muito chuvoso desta estação de acordo com IAC.

Para a estação de Caraúbas, os eventos de chuva intensas, que para esta estação ficaram entre 75,25 mm e 110,8 mm, aconteceram nos dias 15 de março de 1999 com 82 mm; 28 de dezembro de 1999 com 93 mm (destaque para esse ocorrido, pois aconteceu fora do período chuvoso); 24 de março de 2005 com 81 mm; 18 de março de 2008 com 78 mm; 6 de maio de 2008 com 84 mm; 24 de outubro de 2010 (mais um ocorrido fora do período chuvoso) com 97,2 mm; 24 de fevereiro de 2011 com 110,8 mm e 24 de fevereiro de 2011 com 78 mm. A estação do Caraúbas apresentou dois *outliers* no boxplot, que ocorreram no dia 26 de março de 1994 que ficou com 146,2 mm e do dia 17 de fevereiro de 2021 com 135 mm. Os eventos extremos não ocorreram dentro do ano extremamente chuvoso desta estação.

Para a estação de São Domingos do Cariri, os eventos de chuva intensas, que para esta estação ficaram entre 79,55 mm e 96,70 mm, aconteceram nos dias 15 de janeiro de 2000 com 86 mm; 18 de março de 2008 com 95 mm; 15 de março de 2009 com 96,7 mm; 2 de maio de 2011 com 80,3 mm e 17 de fevereiro de 2021 com 82,2 mm. A estação do São Domingos do Cariri, apresentou um evento extremo que ocorreu no dia 3 de abril de 2008. O evento foi

de 189,2 mm e aconteceu dentro de um ano considerado extremamente chuvoso desta estação de acordo com IAC.

Para a estação de Cabaceiras, os eventos de chuva intensas, que para esta estação ficaram entre 75,45 mm e 82,20 mm estipuladas a partir dos valores acima de 75% (com limite de 100%) das máximas analisadas no boxplot, aconteceram nos dias 4 de maio de 2003 com 82,2 mm; 4 de fevereiro de 2004 com 80,3 mm e 24 de fevereiro de 2009 com 82,2 mm. A estação do Cabaceiras, apresentou 3 eventos extremos identificados pelos *outliers* acima do valor máximo evidenciado no bloxpot (82,2 mm), que ocorreram nos dias 15 de fevereiro de 2002 com 172 mm; 18 de março de 2008 com 218,2 mm, sendo esse o maior evento extremo detectado nos resultados dentre todas as estações analisadas, ocorrido dentro de um ano considerado extremamente chuvoso (2008) desta estação de acordo com IAC. E por fim o evento ocorrido no dia 21 de maio de 2022 com 163 mm.

A análise dos dados pluviométricos de várias estações ao longo da região do Alto Curso do Rio Paraíba revelou resultados significativos sobre a variabilidade espacial de precipitação ao longo dos anos. Observou-se que mesmo as estações estando próximas geograficamente, houve uma diversidade nos padrões de precipitação, destacando a importância de analisar individualmente cada estação para entender seu comportamento. Além disso, o IAC permitiu identificar anos extremamente chuvosos, bem como destacou anos em que eventos de alta intensidade de precipitação ocorreram em anos com diferentes níveis de anomalia.

A análise dos dados pluviométricos das estações do Alto Curso do Rio Paraíba mostrou a complexidade e a importância de compreender a variabilidade espacial e temporal das chuvas na região. O monitoramento contínuo desses dados é fundamental para entender melhor os padrões climáticos. As informações apresentadas nos resultados destas estações são de fundamental para se entender o comportamento. Estes dados analisados das estações pluviométricas posteriormente serão observados junto com os dados do posto fluviométrico de Caraúbas para se fazer a verificação da correlação entre os dados de vazão e os dados de chuva.

6.2 Análise hidrológica – Fluviométrica

Dando sequência aos procedimentos, foi realizada a análise fluviométrica do posto fluviométrico Caraúbas, para que os resultados pudessem expressar a variação das vazões em um trecho do canal do Alto Curso do Rio Paraíba. O mesmo foi selecionado, pois foi verificado em seu banco de dados que ele conta com um longo histórico de coleta de dados com o período inicial de suas atividades datado de 1970. Foi fundamental se fazer uma análise minuciosa dos dados para se ter um melhor discernimento da forma de como trabalhá-los para que as informações pudessem expressar resultados mais próximos possíveis da realidade.

As análises dos dados fluviométricos se deram em conformidade com os dados pluviométricos que apresentaram suas informações a partir do ano de 1994. O posto fluviométrico de Caraúbas também passou a ser analisado a partir desta data para se poder fazer a correlação dos dados pluviométricos e fluviométricos e observar suas interações como pode se observar na tabela 6.

Tabela 6: Estatística descritiva do posto fluviométrico de Caraúbas de 1994 a 2021.

(Média de vazão, Máximo de vazão, Mês com o máximo de vazão, Número de dias com vazão, Máximo de dias consecutivos com vazão e Máximo dias consecutivos sem vazão. * Valor arredondado para 0)

Estatística descritiva do posto fluviométrico de Caraúbas						
Ano	Média de vazão	Máximo de vazão	Mês com o máximo de vazão	Número de dias com vazão	Máximo de dias consecutivos com vazão	Máximo de dias consecutivos sem vazão
1994	1,0	119,5	Fevereiro	140	127	164
1995	3,3	271,7	Março	287	153	38
1996	1,9	42,1	Janeiro	223	146	61
1997	0,7	15,1	Abril	116	57	128
1998	0*	2,5	Janeiro	16	16	346
1999	0,4	52,9	Maio	31	17	212
2000	1,1	92,2	Fevereiro	99	56	246
2001	1,6	99,5	Março	45	45	253
2002	2,7	183,4	Janeiro	150	78	192
2003	2,2	135,7	Março	97	97	224
2004	10,2	320,8	Março	99	84	162
2005	5,1	299,5	Março	129	60	166
2006	4,6	213,1	Maio	194	194	126
2007	0,7	61,01	Janeiro	107	107	122
2008	10,3	470,3	Abril	171	162	127
2009	22,3	491,7	Maio	247	247	82
2010	2,6	75,5	Outubro	168	42	64
2011	8,7	211,0	Maio	218	218	126
2012	0,2	44,7	Janeiro	8	8	340
2013	0,2	33,1	Dezembro	11	11	354
2014	2,6	114,6	Fevereiro	130	88	99
2015	2,1	100,1	Fevereiro	41	18	250
2016	0,4	103,9	Fevereiro	25	25	297
Média	3,7	154,5		119,7	89,4	181,7
2017	6,8	423,8	Março	282	268	70
2018	3,1	182,7	Março	146	80	199
2019	2,1	77,5	Fevereiro	129	128	210
2020	2,7	326,4	Fevereiro	55	18	213
2021	3,9	28,3	Dezembro	245	186	46
Média	3,7	207,7		171,4	136	147,6

Fonte: Elaborado pelo autor

Os resultados da estatística descritiva do posto fluviométrico de Caraúbas apontaram informações pertinentes em relação ao comportamento hidrológico deste trecho do canal do Alto Curso do Rio Paraíba. O mesmo apresentou uma variação do pico máximo de vazão, maior entre os quatro primeiros meses do ano (janeiro, fevereiro, março e abril). Em

alguns meses a máxima de vazão variou tendo o seu pico em outros meses que ficam fora do período chuvoso, como em 2010 que foi em outubro e em 2013 e 2021 que foi em dezembro.

A maior média anual que se teve dentro dos anos analisados (de 1994 até 2016) foi no ano de 2009 onde ele é destacado como um ano com condições hidrológicas excepcionais, tanto em termos de chuvas quanto de vazão. Se obteve também nesse ano o maior máximo vazão desse período, 491,7 m³/s no mês de maio com uma média anual de 22,3 m³/s. Se postula que os altos índices de vazão coincidem com as anomalias de chuva, pois esse mesmo ano marca anos extremamente chuvosos (IAC acima de 4) nas estações de Monteiro, Camalaú, Congo e Caraúbas. Neste ano se teve apenas 82 dias consecutivos sem vazão. Já nos dois anos que antecedem a implementação do PISF (2015 e 2016), foram anos que não apresentaram nenhum resultado acima de anos considerados chuvosos pelo IAC. As médias anuais de vazão por consequência ficaram bem baixas chegando a 2,1 m³/s de média anual em 2015 e apenas 0,4 m³/s de média anual em 2016.

Analisando os anos pós PISF (2017 a 2021), o ano de 2017 se obteve uma média anual de 6,8 m³/s e se teve uma vazão máxima de 423,83 m³/s no mês de março, coincidindo assim com mês que o PISF iniciou suas atividades. Um ponto a se destacar é que a análise pluviométrica indicou condições secas em algumas estações neste ano. Nesse mesmo ano de 2017, também se obteve 70 dias consecutivos sem vazão, além de se ter o maior número de dias consecutivos com vazão, 268 dias, que é também o maior número de dias consecutivos com vazão do período pós PISF. Na análise pluviométrica do ano de 2021 algumas estações indicaram condições extremamente secas pelo IAC, mesmo assim se obteve uma média anual de vazão 3,9 m³/s com sua vazão máxima de 28,3 m³/s ocorrendo no mês de dezembro, fora do período chuvoso. Isso indica que mesmo em um ano sem uma máxima de vazão tão alta, se obteve uma média comparada à anos com vazões máximas acima de 100 m³/s. Isso sugere que neste existiu uma frequência de fluxo constante durante o ano todo, tanto que, no período pós PISF, esse ano obteve o menor número de dias consecutivos sem vazão (46 dias), além de ter 245 dias consecutivos com vazão.

Em seguida foi feito o gráfico da variação temporal da vazão diária (figura 20) para demonstrar como a vazão variou ao longo do período analisado, tendo uma linha vermelha separando o período anterior e posterior ao PISF. A vazão do posto fluviométrico de Caraúbas apresentou flutuações diárias com variações de picos de vazão. Observa-se um comportamento com oscilações regulares entre 1994 e 2002, tendo claramente um período com uma diminuição

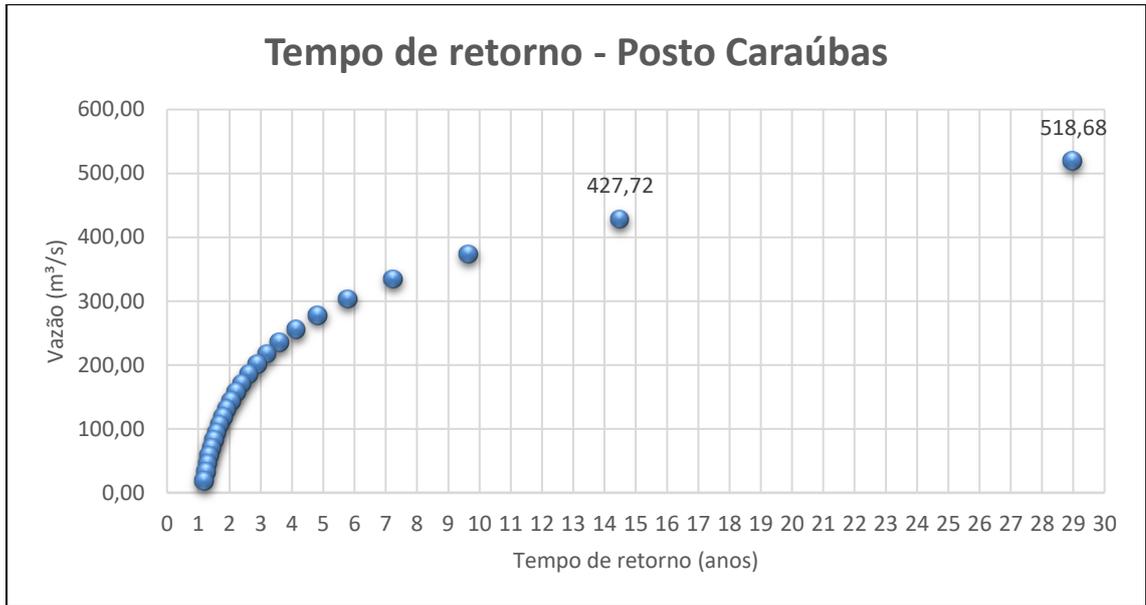
significativa no pico de vazão no ano de 1998, cujo qual apresentou sem um ano extremamente seco e muito seco em várias estações pluviométricas analisadas. Posteriormente há um aumento com um pico repentino no ano de 2009, ano em que apresentou resultados extremamente para 6 das 7 estações analisadas. O ano de 2017 se mostra regular nos picos de vazão diária durante o ano todo por conta do início das atividades do PISF. Já no ano de 2021, se manteve oscilações diárias regulares mesmo sendo um ano em que não se obteve uma máxima de vazão muito expressiva, mas se teve uma média anual de vazão considerável, sendo que nenhuma estação pluviométrica apresentou um ano muito chuvoso ou extremamente chuvoso, tendo em anos secos ou muitos secos em 4 das 7 estações analisadas.

Figura 20: Hidrograma das médias diárias do Posto Fluviométrico de Caraúbas



Fonte: Elaborado pelo autor

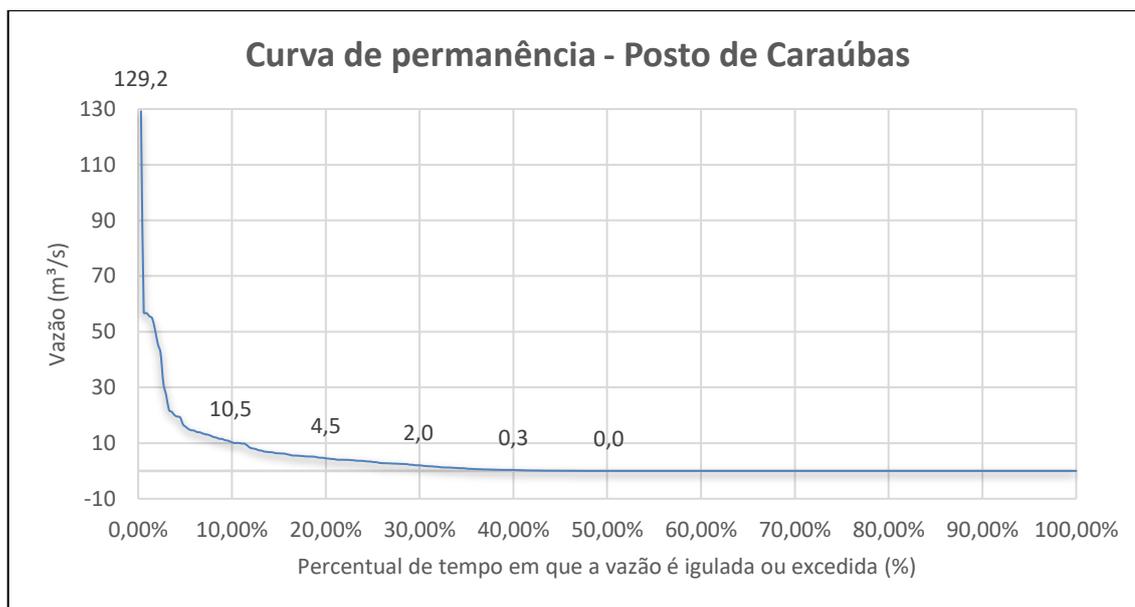
Por conseguinte, foi feito também o tempo de retorno (figura 21), elaborado com base na distribuição de Gumbel, cujo qual foi ajustado aos dados de vazão máxima anual. Com base no ajuste para a quantidade anos analisados (28), o resultado do valor de vazão estimado para um tempo de retorno de 29 anos foi de 518,68 m³/s. Isso significa que há uma probabilidade de 17,8% de que a vazão máxima anual exceda 518,68 m³/s em qualquer ano que se observe. Já o valor de vazão estimado para um tempo de retorno de 14,5 anos foi de 427,72 m³/s. Significa que há uma probabilidade de 29,4% de que a vazão máxima anual exceda 427,72 m³/s em qualquer ano. Ou seja, há 70,6% de chance de uma vazão máxima anual que exceda 427,72 m³/s não acontecer.

Figura 21: Gráfico do tempo de retorno da vazão - Posto Fluviométrico de Caraúbas

Fonte: Elaborado pelo autor

Também foi elaborado o gráfico da curva de permanência do posto de Caraúbas (figura 22) ao período 1994 a 2021 através média dados diários de vazão, no qual o mesmo apresenta uma ampla variação da vazão. A vazão mínima observada através média dados diários de vazão foi de 0 m³/s, enquanto a vazão máxima da média foi de 129,2 m³/s. A vazão média durante esse período foi de 3,75 m³/s. A vazão de 10,5 m³/s é igualada ou excedida em 10% do tempo. A vazão de 4,5 m³/s é igualada ou excedida em 20% do tempo. A vazão de 2 m³/s é igualada ou excedida em 30% do tempo. E a vazão de 0,3 m³/s é igualada ou excedida em 40% do tempo. Na maior parte do tempo do período analisado (mais de 50%) as vazões ficaram em 0 m³/s. Já os picos de 129,2 m³/s são atingidos em alguns períodos por conta de alguns eventos hidrológicos, como anos extremamente chuvosos ou alterações no regime hídrico.

Figura 22: Gráfico da curva de permanência da vazão - Posto Fluviométrico de Caraúbas



Fonte: Elaborado pelo autor

A seguir será feito a associação entre os resultados das estações pluviométricas analisadas e o posto fluviométrico de Caraúbas. Nesse contexto a correlação avaliou se existe uma relação entre a quantidade de chuva e o fluxo de água nos períodos de 1994 a 2016 e 2017 a 2021.

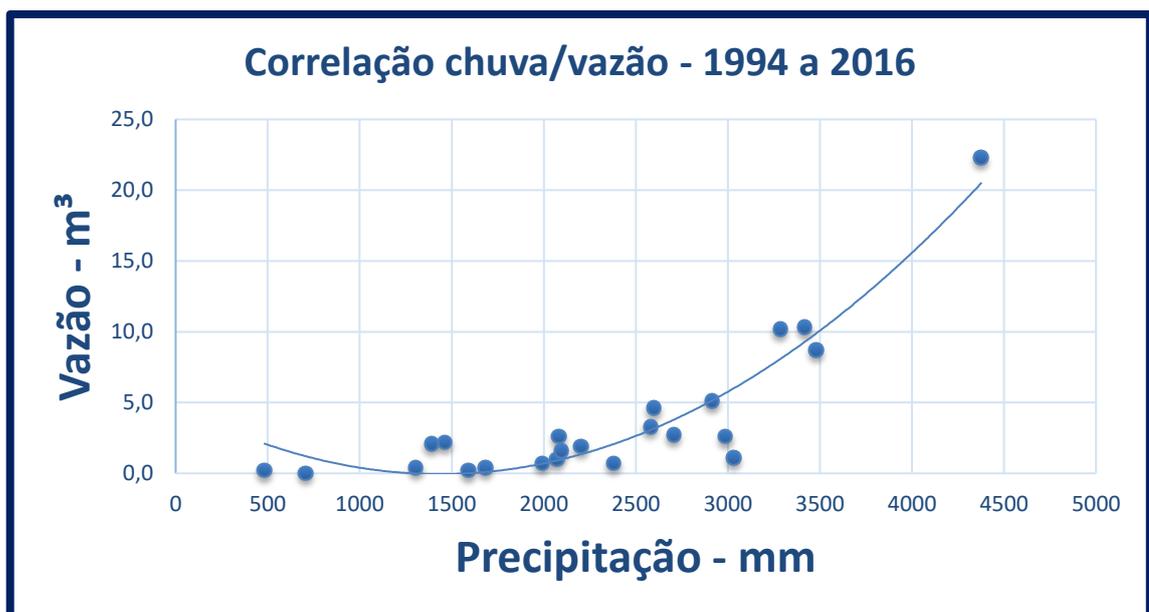
6.3 Correlação dos dados de chuva e vazão

Dando continuidade aos resultados, realizou-se a correlação interligando os dados das análises de vazão com os dados de precipitação. Os acumulados anuais de cada estação pluviométrica (Monteiro, Camalaú, Congo, Sumé e Caraúbas) foram utilizados como os parâmetros para a correlação. Inicialmente, tentou-se correlacionar os acumulados anuais de cada estação de forma individual com a média das vazões do posto pluviométrico. No entanto, observou-se que esses resultados não refletiam a realidade. Isso ocorreu porque as precipitações de estações pluviométricas mais distantes do posto fluviométrico escolhido não estavam relacionadas às médias de vazão, uma vez que as chuvas em uma estação mais distante não afetavam imediatamente o fluxo do canal no posto de medição das vazões. Portanto, a abordagem mais apropriada para a correlação foi somar os dados de precipitação de cada estação pluviométrica anterior a Caraúbas, uma vez que o acumulado de precipitação segue a direção natural (de montante a jusante) em direção ao posto fluviométrico de Caraúbas. É importante destacar que a estação pluviométrica de Sumé coleta dados de um afluente importante, o rio Sucuru.

Posto isso, com o acumulado das precipitações de cada ano (1994 a 2016) de cada estação analisada obtidos, foi elaborada a correlação que apresentou um modelo de comportamento da precipitação em conjunto a vazão antes do início das operações do PISF.

Os resultados apresentaram uma correlação de 0,8. Este resultado corresponde a classificação de correlação forte positiva na interpretação dos dados do Coeficiente de Correlação de Pearson. Este resultado indica que os índices de precipitação e vazão tem uma relação harmoniosa no período de 1994 a 2016, onde na medida em que se tem um acúmulo das precipitações, a vazão também se eleva positivamente, o que assinala que os índices são proporcionais. Isso pode ser observado no gráfico a seguir (figura 23) pela dispersão dos pontos ao longo do trajeto acompanhando a linha de tendência. Sendo assim, houve a identificação de que neste período em que foi realizada a análise, o comportamento hidrológico se manteve correlacionado.

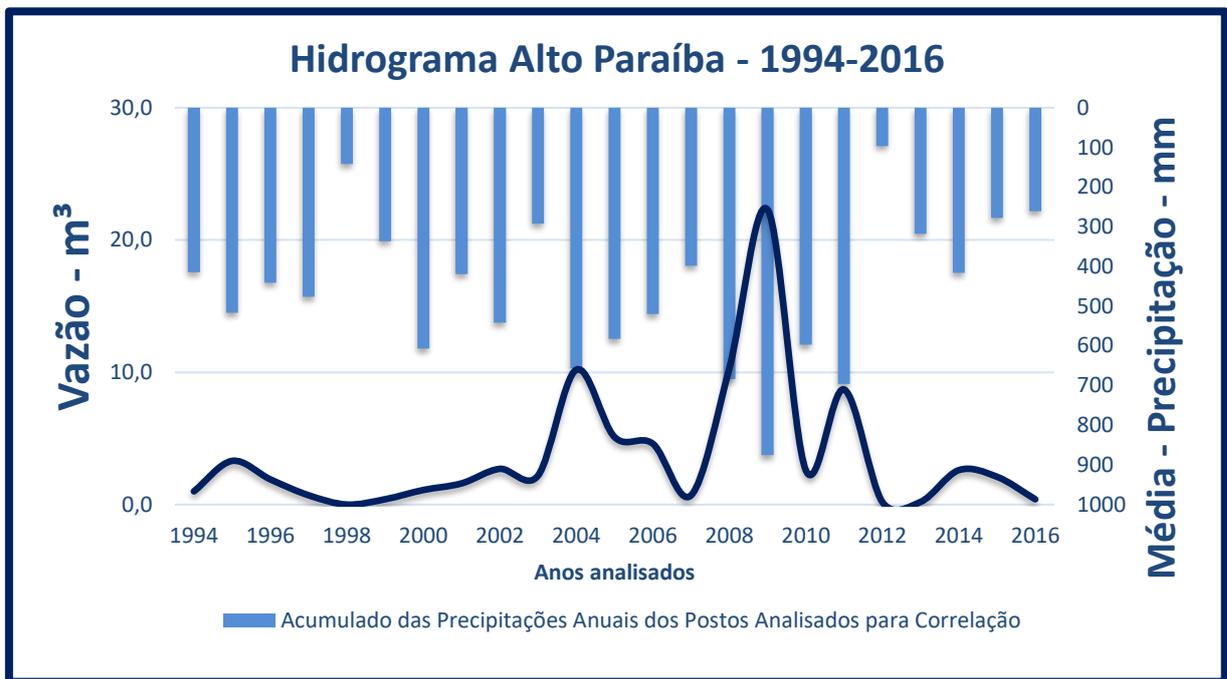
Figura 23: Gráfico de correlação entre as estações pluviométricas e posto fluviométrico de Caraúbas (1994-2016)



Fonte: Elaborado pelo autor

No hidrograma (figura 24) relacionado a esse mesmo período, percebe-se que as alterações das colunas referentes a precipitação em mm (eixo vertical secundário invertido) acompanham as ondulações da linha de vazão em m³ (eixo vertical principal), sendo interpretado que quando há o acúmulo das precipitações, transcorre o aumento da vazão, como pode ser mais perceptível nos anos de 1995, 2004, 2009 e 2011 que é quando acontece os picos na linha da vazão. A mesma situação acontece ao contrário, quando se menos índices de precipitação a linha da vazão oscila desfavoravelmente em relação aos seus picos de vazão.

Figura 24: Hidrograma da correlação entre as estações pluviométricas e posto fluviométrico de Caraúbas (1994-2016)

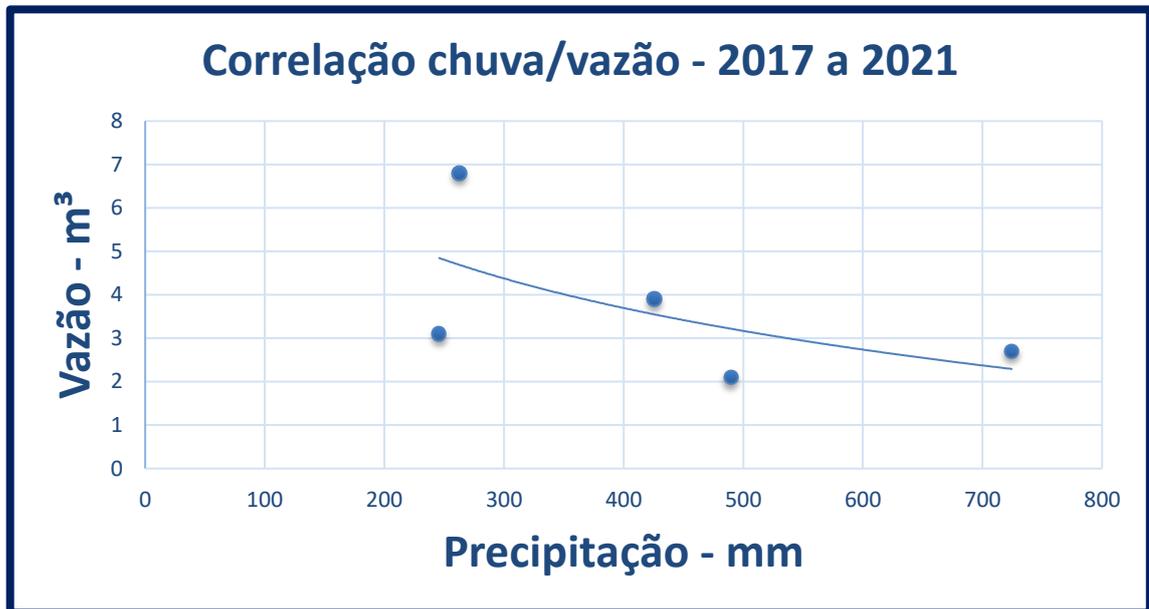


Fonte: Elaborado pelo autor

Já o resultado da correlação feita no período de 2017 a 2021 apresentou uma correlação de -0,6. Este resultado corresponde a classificação de correlação forte negativa na interpretação dos dados do Coeficiente de Correlação de Pearson classificação. Este resultado indica que os índices de precipitação e vazão depois do início das atividades do PISF dispõem de incompatibilidade, onde na medida em que se tem um aumento expressivo na vazão, não se tem o acúmulo necessário para esse aumento, o que assinala que os índices são inversamente proporcionais. Nesses termos eles são desproporcionais. Isso pode ser observado no gráfico a seguir (figura 25) na dispersão dos pontos ao longo da linha de tendência. Portanto, foi identificado que no período de 2017 a 2022, o comportamento hidrológico em relação a chuva e a vazão foi alterado após o início das atividades do PISF.

Foi possível identificar no gráfico que a linha de tendência se encontra no sentido diagonal curvo para baixo e os pontos se encontraram dispersos sem seguir um padrão de acompanhamento da linha, indicando que a classificação da correlação forte negativa e que não ocorre correlação entre os índices.

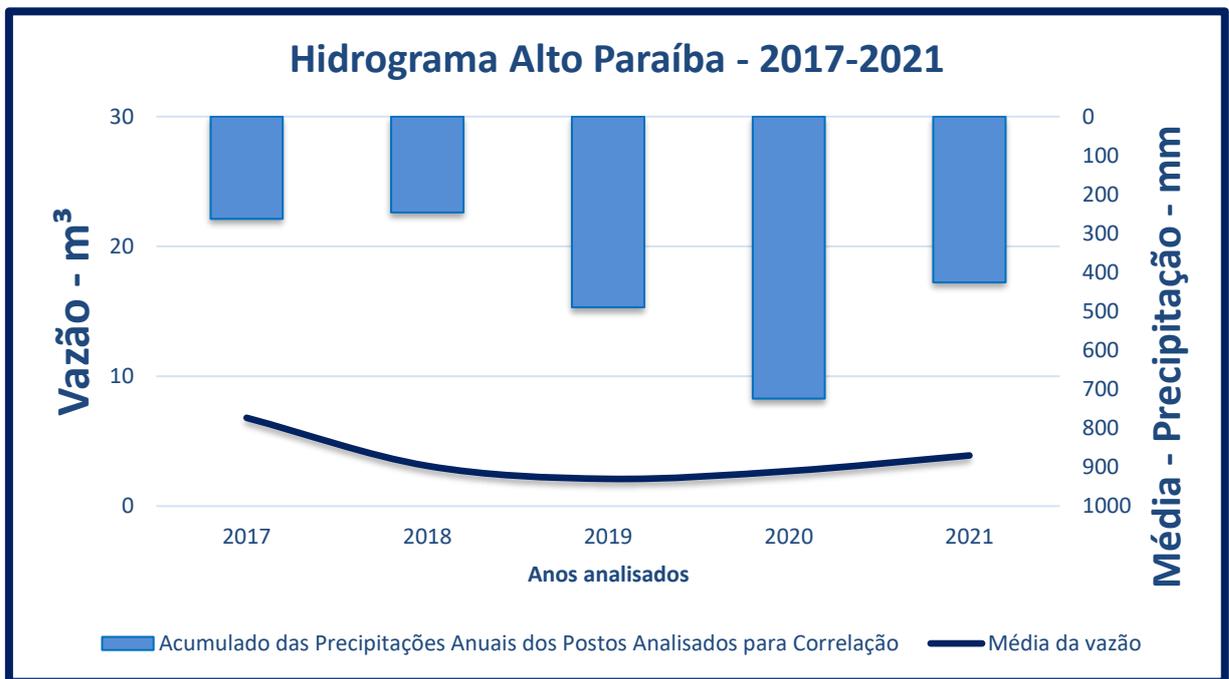
Figura 25: Gráfico de dispersão da correlação entre as estações pluviométricas e posto fluviométrico de Caraúbas (2017 - 2022)



Fonte: Elaborado pelo autor

Os resultados do hidrograma (figura 26) correspondente ao período de 2017 a 2022, apresentaram alterações desproporcionais nas colunas referentes a precipitação em mm (eixo vertical secundário invertido), com as ondulações da linha de vazão em m³ (eixo vertical principal), sendo interpretado que correlação entre elas, uma vez há um aumento da vazão exponencial da vazão, como pode ser percebido no de 2017 onde se tem um pico na linha da vazão, mas a coluna da precipitação está inversamente proporcional.

Figura 26: Hidrograma da correlação entre as estações pluviométricas e posto fluviométrico de Caraúbas (2017 - 2021)



Fonte: Elaborado pelo autor

É importante ressaltar que a correlação de Pearson estimou apenas a associação linear entre as duas variáveis e não demandou interpretações de causalidade. Ou seja, uma correlação forte entre chuva e vazão não significa necessariamente e diretamente que um determinado período de chuva cause o aumento do fluxo de água no canal, pois outros fatores (como antropogênicos, por exemplo) também podem estar envolvidos.

Com esses resultados obtidos, toda essa análise hidrológica serviu como recurso interpretativo que auxiliou na identificação das alterações geomorfológicas apresentadas nas imagens analisadas, pois a variação do fluxo hidrológico está associado as precipitações que ocorrem ao longo do ano e assim se teve a ideia do que ocorreu no intervalo de tempo da observação de uma imagem para outra.

6.4 Análise temporal das modificações nas unidades geomórficas dos trechos selecionados

Como informado anteriormente, as análises das imagens de trechos selecionados se inicializaram por intermédio de escolhas dos pontos de monitoramento do GEAFS no canal do Alto Curso do Rio Paraíba com o objetivo analisar e identificar as alterações e mudanças em nas unidades geomórficas como ilhas e barras fluviais que são características geomorfológicas que se encontram no canal e refletem mudanças em escala temporal, em que se podem observar essas unidades afetadas pelas intervenções do PISF. Os trechos foram escolhidos em consequência do acompanhamento das variações geomorfológicas em que o grupo já vem trabalhando e acompanhando. Sendo assim, os trechos de monitoramento a seguir se dão no Congo, Caraúbas, São Domingos do Cariri (dois pontos que serão identificados como SDC1 e SDC2) e Cabaceiras (Figura 14). A análise seguirá ordem dos pontos da montante para a jusante e será colocada uma seta indicando o caminho que o fluxo percorre nas imagens dos trechos.

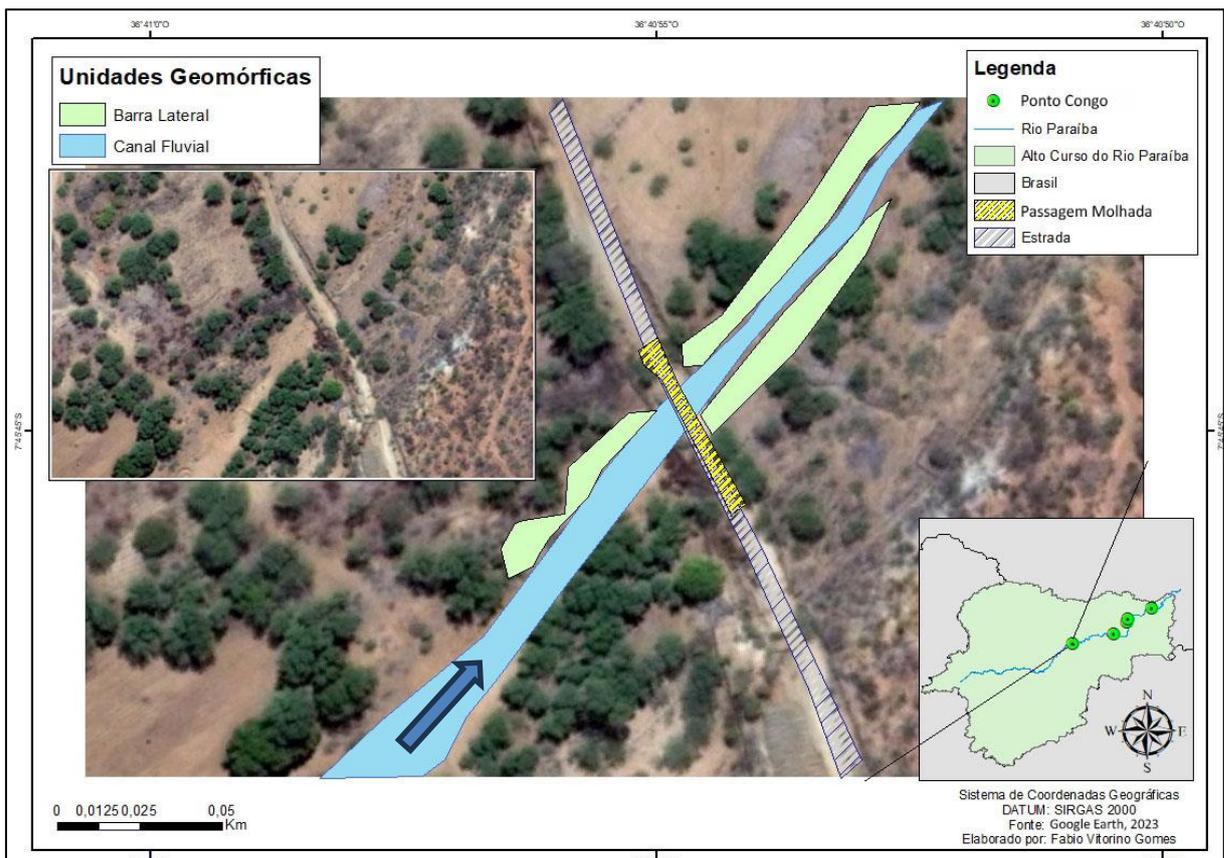
Figura 27: Mapa da localização dos trechos analisados



Fonte: Elaborado pelo autor

O primeiro trecho analisado se situa na zona rural no município do Congo (Figura 28) e está nas coordenadas geográficas de latitude $7^{\circ}45'46.30''\text{S}$ e longitude $36^{\circ}40'54.63''\text{O}$. A imagem é datada do período de junho de 2013, ano que pela análise da estação pluviométrica foi considerado muito seco de acordo com IAC com um acumulado anual de 269,5 mm, sendo que o acumulado de precipitação para o mês da imagem analisada nesse ano foi de apenas 21,1 mm. Isso indica um baixo acumulado para se gerar vazão nas condições do semiárido tropical brasileiro. Na data da imagem questão o canal não possui carga hidrológica e apresenta três unidades geomórficas, sendo todas elas são barras laterais que estão localizadas próximas as margens do canal. Uma anterior a passagem molhada na margem esquerda e as outras duas situadas depois da passagem molhada, sendo uma em cada margem. As barras laterais fazem parte do padrão característico de ambiente fluviais semiáridos e são formadas pela deposição de sedimentos (IBGE, 2009).

Figura 28: Imagem do Google Earth (06/2013) do Trecho analisado no Congo antes do PISF.



Fonte: Google Earth

A seguir se encontra o mosaico das ortofotos analisadas no Congo pós o período de implementação do PISF (Figura 29), sendo que do esquerdo do mosaico foram colocados os ortomosaicos gerados após os procedimentos no Agisoft Metashape e do lado direito foram colocadas as imagens processadas no Arcgis 10.5 no qual foi feito o procedimento de vetorização das unidades geomórficas.

O primeiro conjunto de imagens (A) no mosaico é datado de 01/10/2019, período interessante de análise por se tratar do período seco para a região. Na imagem é possível notar que ainda não se tem carga hidrológica. O ano de 2019 obteve um acumulado anual de 551,9 mm, sendo considerado um ano chuvoso de acordo com seu IAC (1,97). O mês da imagem em questão teve um acumulado de 26,1 mm, sendo que esse foi um único evento de chuva no dia 21. O mês anterior (setembro) não apresentou precipitação. Foram identificadas três barras laterais, sendo elas agora alteradas em relação a 2013, duas anteriores a passagem molhada e uma depois; três pequenas barras arenosas, constituídas de formas convexas dentro do canal, sendo uma antes da passagem e outras duas depois da passagem molhada; e por fim uma pequena ilha, que se apresenta como uma barra mais antiga, geralmente fixada por vegetação (IBGE, 2009), logo após a passagem molhada. O perfil lateral nesta data apresenta uma diferença de praticamente 1 m de altura da margem esquerda em relação a direita, tendo seu vale uma profundidade de aproximadamente 3 m em relação à margem mais alta.

O segundo conjunto de imagens (B) no mosaico é datado de 04/12/2021, trata-se também do período seco para a região. O ano de 2021 obteve um acumulado anual de 231,5 mm, sendo considerado um ano muito seco de acordo com seu IAC (-2,83). O mês da imagem em questão teve um acumulado de 65,5 mm, sendo que maior evento de chuva ocorreu no dia 26. O mês anterior (novembro) não apresentou precipitação. O que chama atenção na imagem é já é possível notar um fluxo centralizado no canal, mesmo sendo em um ano considerado muito seco e praticamente sem chuvas na data da imagem analisada.

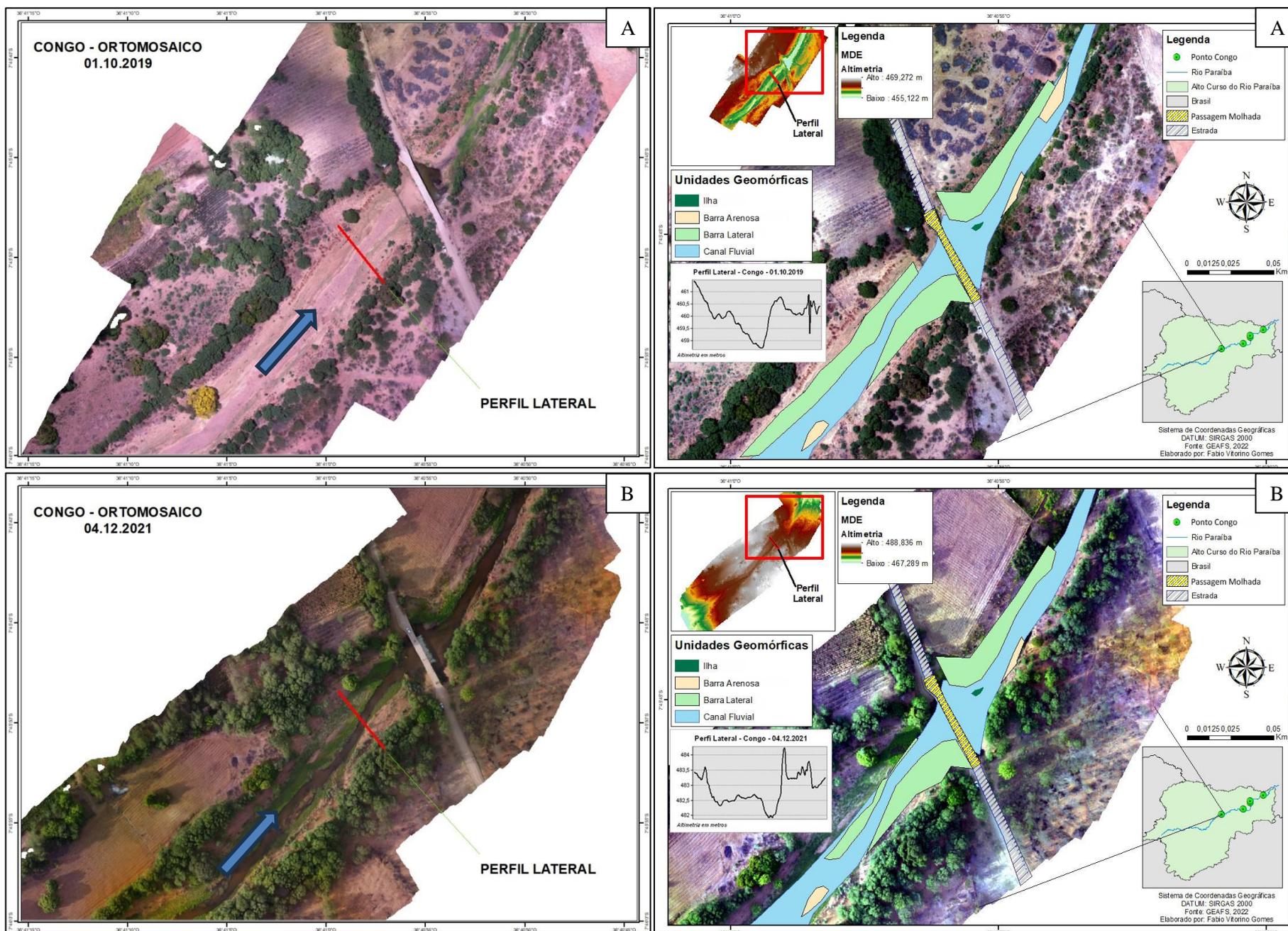
Foram identificadas três barras laterais, duas anteriores a passagem molhada e uma depois, sendo que barra da margem esquerda diminui consideravelmente em relação a imagem analisada em 2019; duas pequenas barras arenosas, sendo uma antes da passagem e a outra depois da passagem molhada; e por fim a pequena ilha permanece no mesmo local logo após a passagem molhada. O perfil lateral nesta data apresenta que a margem esquerda e margem direita diferenciando em apenas 0,2 m, tendo praticamente a mesma altimetria. O ponto mais elevado se encontra agora em sua barra lateral na margem direita do canal antes da passagem molhada com 0,8 m a mais de altimetria de que margem mais elevada. Seu vale apresentou uma diferença altimétrica de 2 m em relação à margem mais alta.

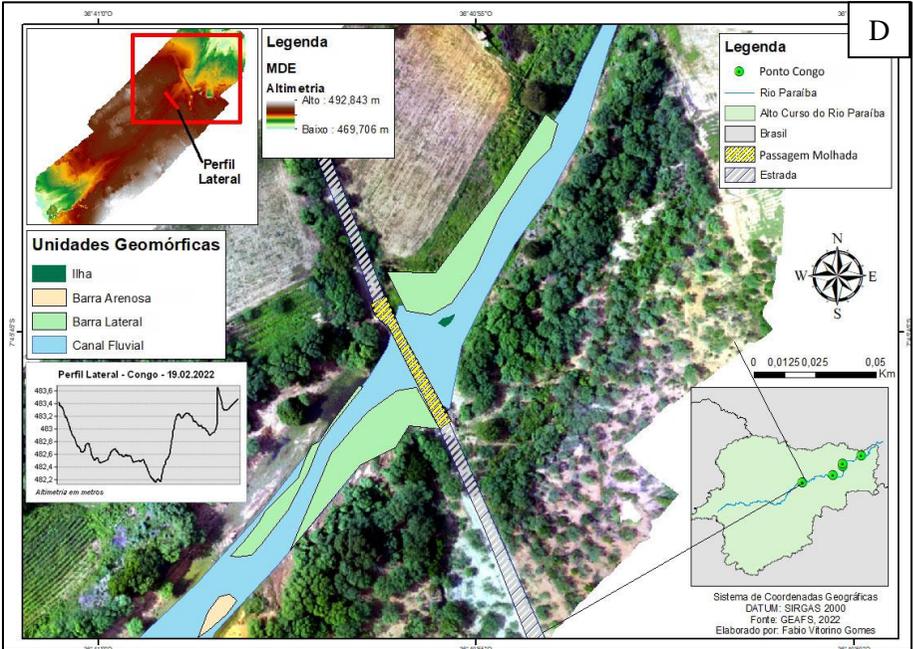
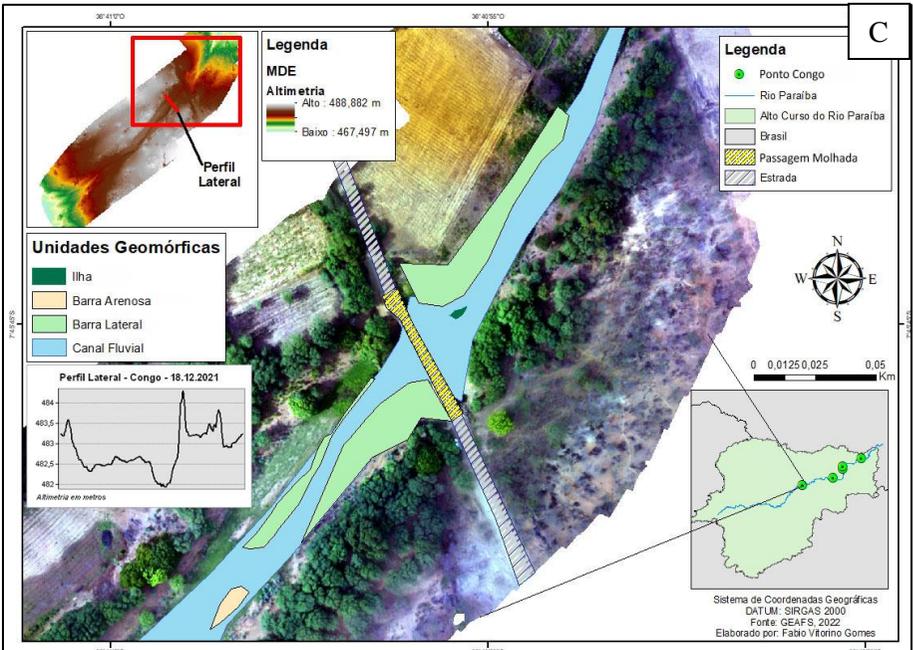
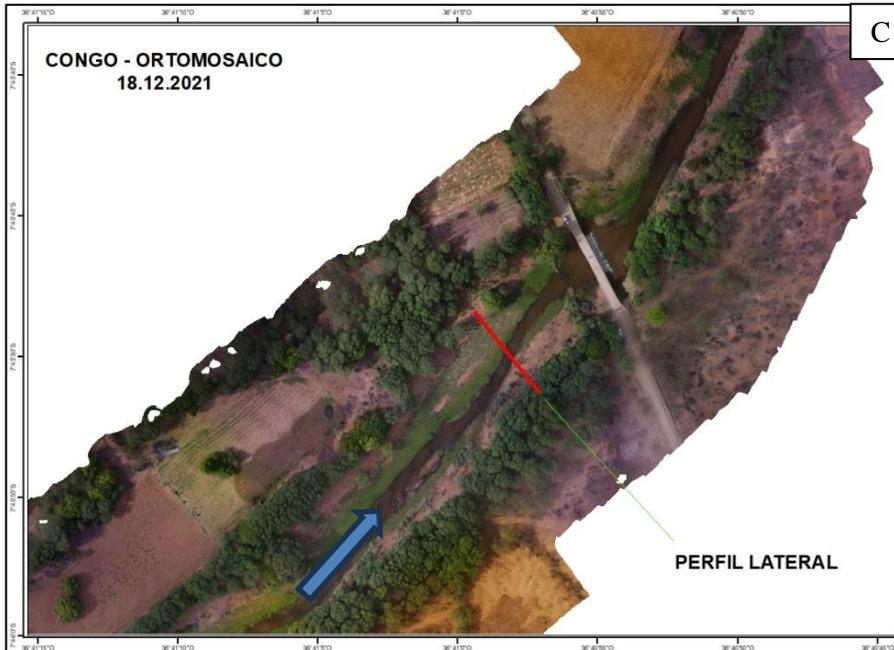
O terceiro conjunto de imagens (C) no mosaico é datado de 18/12/2021, trata-se basicamente do mesmo período do conjunto de imagens anterior. Portanto o acumulado anual e o IAC é o mesmo da análise anterior, assim como o acumulado mensal. O fluxo do canal também continua. O perfil lateral praticamente não em suas variações, sendo a análise dos valores considerada irrisória por se tratar de questões de milímetros. A única alteração visível é o desaparecimento da barra arenosa depois da passagem molhada.

Já o quarto e último conjunto de imagens (D) no mosaico é datado de 19/02/2022, neste caso já se trata do início do período chuvoso para a região. O ano de 2022 obteve um acumulado anual de 360 mm, sendo considerado um ano seco de acordo com seu IAC (-0,81). O mês da imagem em questão teve um acumulado de apenas 1,4 mm, sendo esse o único evento de chuva ocorreu no mês em questão no dia 18. O mês anterior (janeiro) apresentou um acumulado de 95,8 mm, sendo o maior acumulado entre os meses desse ano. É perceptível um fluxo um pouco mais largo no canal, mesmo praticamente sem chuvas na data da imagem analisada.

Foram identificadas três barras laterais, duas anteriores a passagem molhada e uma depois; uma pequena barra arenosa, sendo essa antes da passagem molhada; e por fim a pequena ilha permanece no mesmo local logo após a passagem molhada. O perfil lateral nesta data apresenta que a margem esquerda 0,1 m menor do que a margem direita, sendo assim demonstram praticamente a mesma altura. O ponto mais elevado se moveu um pouco mais para a direita permanecendo na barra lateral da margem direita do canal antes da passagem molhada com 0,2 m a mais de altimetria do que a margem mais elevada. Seu vale apresentou uma diferença altimétrica 1,6 m em relação ao ponto mais elevado na barra lateral.

Figura 29: Mosaico das ortofotos analisadas no Congo pós PISF: - A: 01/10/2019; B: 04/12/2021; C: 18/12/2021; D: 19/02/2022

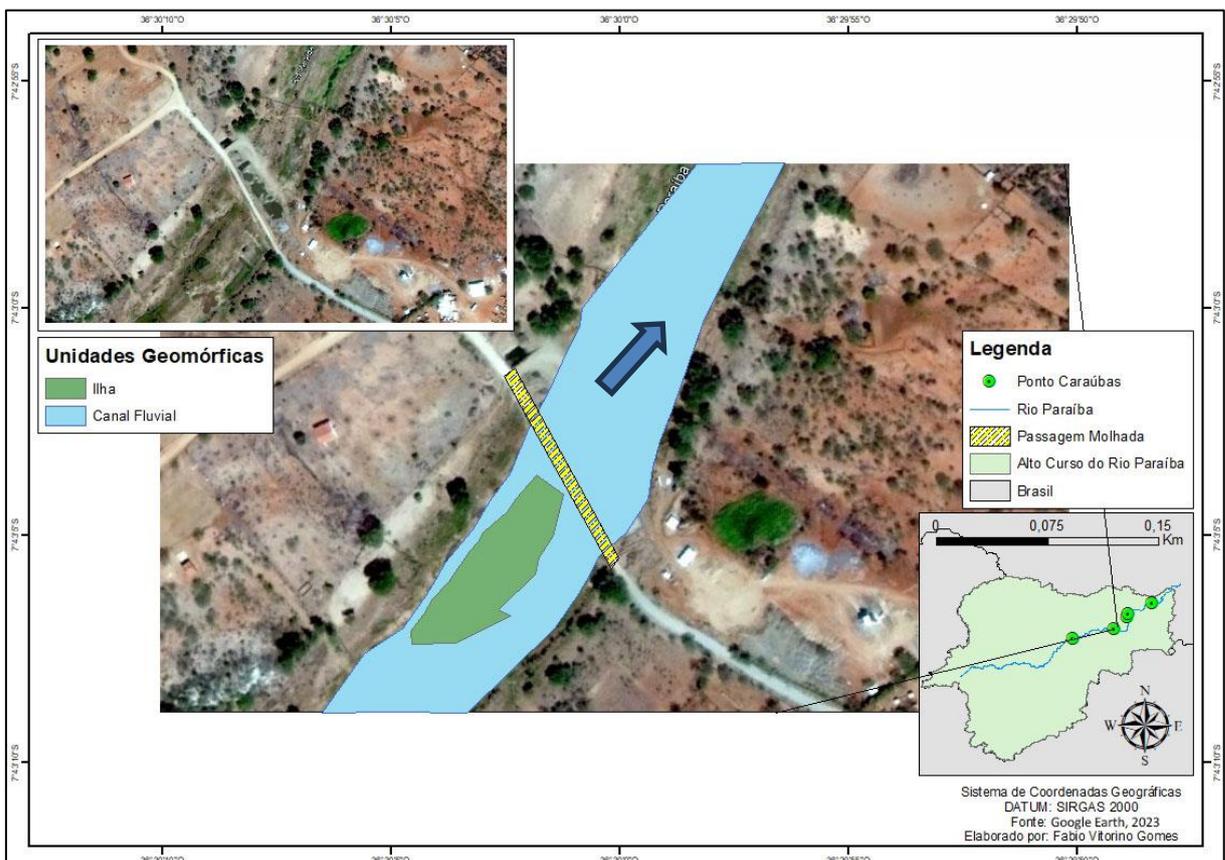




Fonte: Elaborado pelo autor

O segundo trecho analisado se encontra no município de Caraúbas (Figura 30) e está localizado nas coordenadas geográficas de latitude $7^{\circ}43'4.53''\text{S}$ e longitude $36^{\circ}30'0.82''\text{O}$. A imagem é datada do período de janeiro de 2015, na análise da estação pluviométrica foi constatado que os dados são incompletos, sendo assim não tem como se afirmar qual a classificação que esse ano teve no IAC. Porém todas as outras estações circundantes apresentaram anos secos ou muitos secos de acordo com IAC. Na data da imagem questão, o canal possui alguns pontos com água acumulada, mas não um fluxo contínuo. Ele apresenta apenas uma unidade geomórfica, sendo ela uma grande ilha localizada anterior a passagem molhada.

Figura 30: Imagem do Google Earth (01/2015) do Trecho analisado em Caraúbas antes do PISF.



Fonte: Google Earth

A seguir está o mosaico das ortofotos analisadas em Caraúbas pós PISF (Figura 31). À esquerda do mosaico se encontram os ortomosaicos gerados após os procedimentos no Agisoft Metashape e do lado direito foram colocadas as imagens processadas no Arcgis 10.5 com o procedimento de vetorização das unidades geomórficas.

O primeiro conjunto de imagens (E) no mosaico é datado de 01/10/2019, período fora do período chuvoso. É possível notar que ainda não se vigora um fluxo contínuo no canal, continua apenas algumas localidades com água acumulada (um pouco mais comparado a imagem de 2015). O ano de 2019 obteve um acumulado anual de 286,6 mm, sendo considerado um ano seco de acordo com seu IAC (-0,81). O mês da imagem em questão não obteve um precipitações, assim como no mês anterior (setembro). A média de vazão esse ano foi a menor de todo o período pós PISF, ficou em 2,1 m³/s, sendo que no mês da ortofoto, de fato não apresentou vazão. Foram identificadas uma ilha, a mesma ilha que aparece em 2015, entretanto agora ela está maior e mais fixada no canal, e uma pequena barra lateral na margem esquerda anterior a passagem molhada. O perfil lateral nesta data apresenta uma diferença altimétrica de 1,4 m para as margens, sendo a margem direita a maior. Seu vale apresentou uma diferença de 1,7 m em relação à margem mais alta.

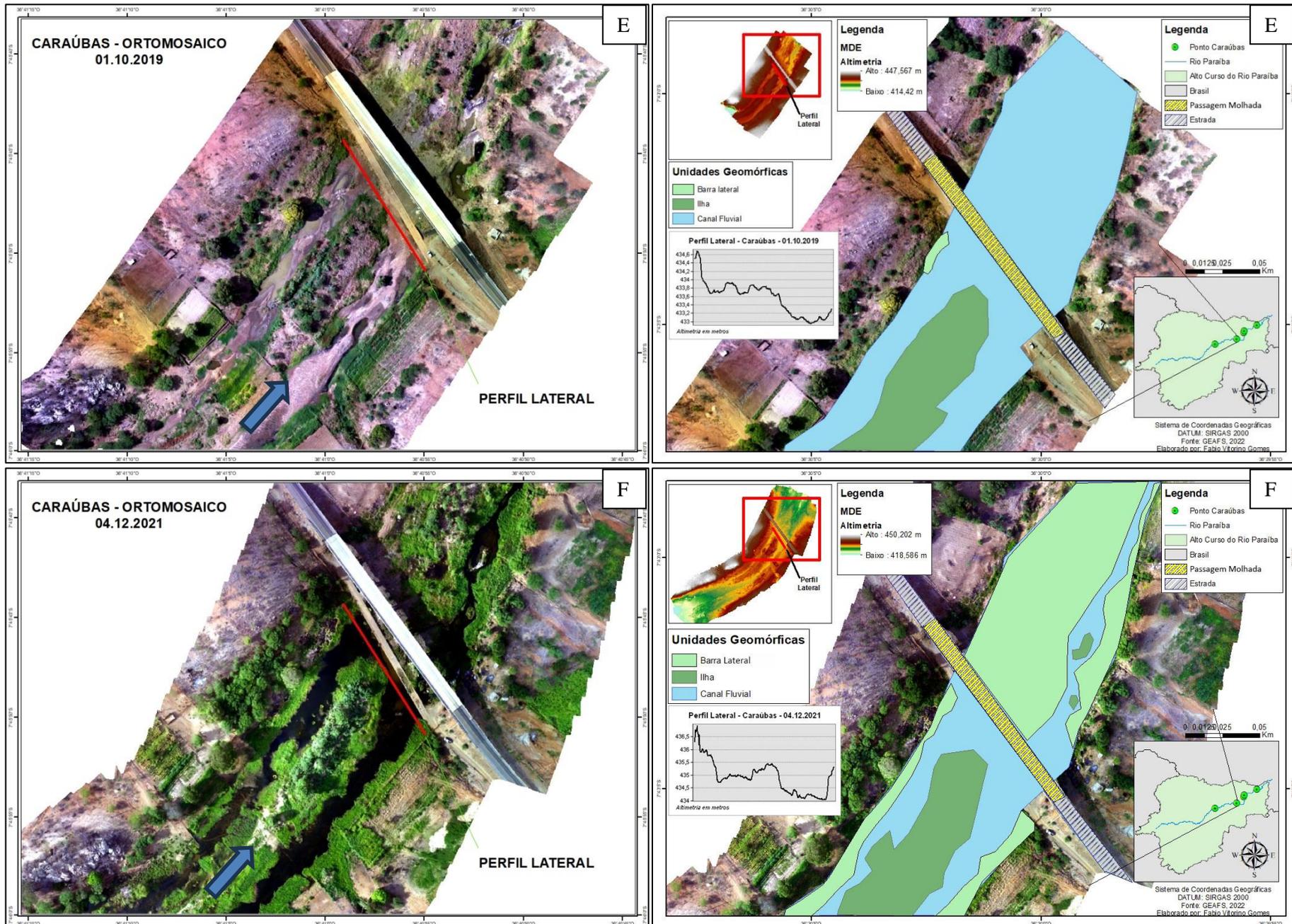
O segundo conjunto de imagens (F) no mosaico é datado de 04/12/2021, trata-se também de uma análise feita fora do período chuvoso para a região, entretanto com dois anos de diferença. O ano de 2021 obteve um acumulado anual de 241,1 mm, sendo considerado, novamente, um ano seco de acordo com seu IAC (-0,02). O mês da imagem em questão teve um acumulado de 34,4 mm, sendo que maior evento de chuva ocorreu no dia 26. O mês anterior (novembro) não apresentou precipitação. Entretanto, a imagem já apresenta um fluxo contínuo e a evolução visível das unidades geomórficas, mesmo estando em um ano considerado seco e praticamente sem chuvas fora do período chuvoso. A média de vazão esse ano foi de 3,9 m³/s, tendo sua vazão máxima (28,6 m³/s) ocorrendo justamente no mês da ortofoto analisada. Esta imagem demonstra claramente o impacto da introdução de fluxo artificial no canal, pois existe a correlação negativa de chuva x vazão, já que neste ano se obteve apenas 46 dias consecutivos sem vazão. Sendo assim, ocorreram alterações nas unidades geomórficas, sendo identificadas agora quatro barras laterais, duas anteriores a passagem molhada e duas depois, sendo que barra da margem esquerda se apresentou de forma mais concreta depois do fluxo contínuo do canal; e por fim agora três ilhas, uma que permanece no mesmo local e outras duas logo após a passagem molhada. O perfil lateral nesta data apresentou uma amplitude de 1,1 m sendo a da esquerda a mais elevada. Já o vale apresentou uma diferenciação altimétrica 1 m maior em relação a imagem anterior de 2019.

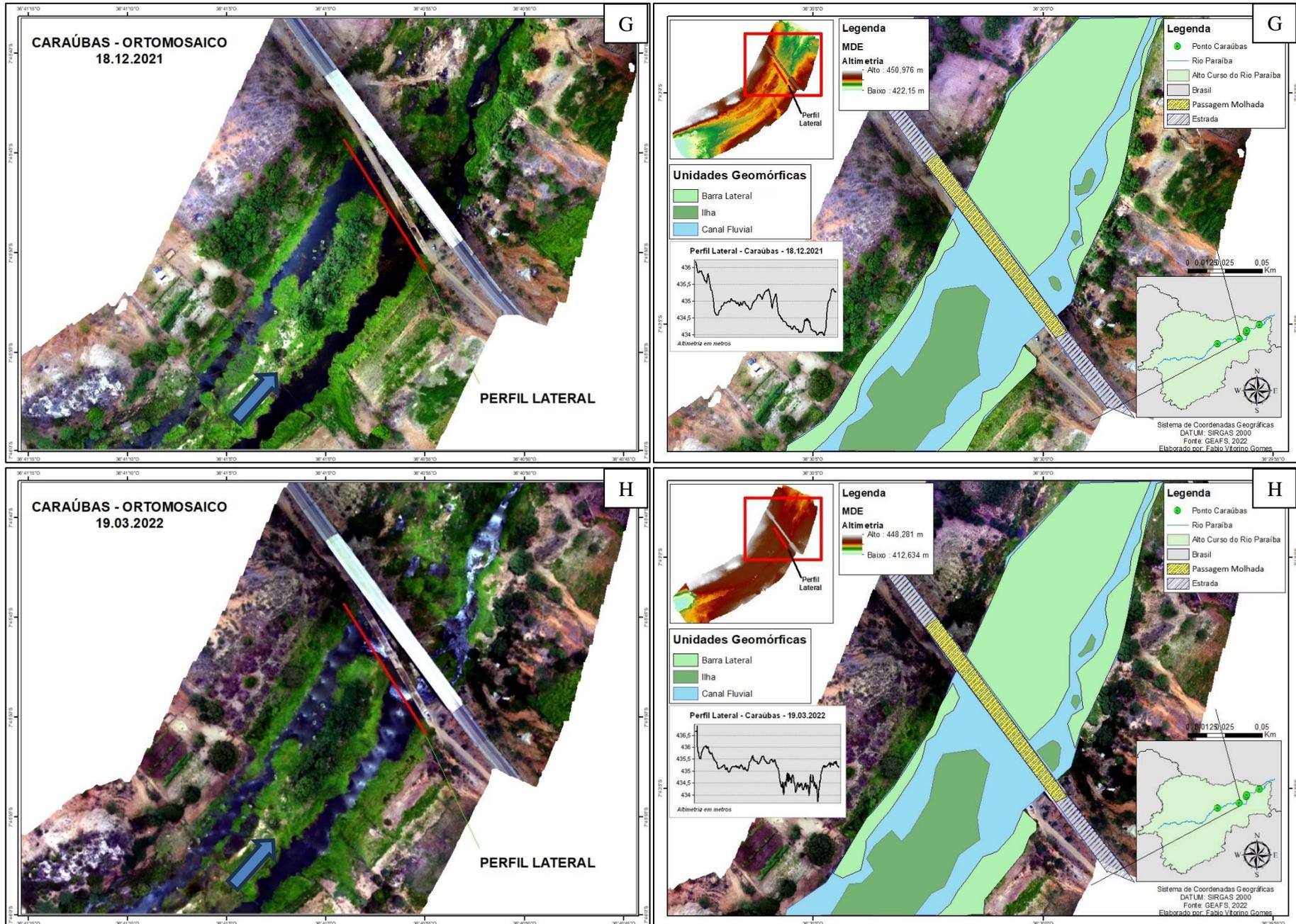
O terceiro conjunto de imagens (G) no mosaico é datado de 18/12/2021, trata-se basicamente do mesmo período do conjunto de imagens anterior. Portanto o acumulado anual e o IAC é o mesmo da análise anterior, assim como o acumulado mensal. O fluxo do canal também continua da mesma forma. O perfil lateral tanto na margem direita, quanto na margem

esquerda não alteraram, nem variaram, permanecendo com a mesma altimetria. Sendo assim, fazer a análise dos valores não se aplicou a este trecho. A única alteração visível é o aparecimento de uma pequena ilha depois da passagem molhada.

E o quarto e último conjunto de imagens (H) no mosaico é datado de 19/03/2022, período da estação chuvosa para a região. O ano de 2022 obteve um acumulado anual de 226,9 mm, sendo considerado um ano seco de acordo com seu IAC (-1,66). O mês da imagem em questão teve um acumulado de 57,8 mm. O fluxo apresentado na imagem, segue o mesmo padrão das duas imagens anteriores, o que demonstra uma vazão constante mesmo em um ano considerado seco, corroborando com a ideia de correlação negativa entre chuva x vazão. Há a consolidação das unidades geomórficas, pois elas seguem o mesmo padrão das imagens anteriores. A única diferença é pequeno aumento na ilha identificada depois logo após a passagem molhada. O perfil lateral, não apresenta alterações robustas seguindo com as mesmas altimetrias para as margens e vale.

Figura 31: Mosaico das ortofotos analisadas em Caraúbas pós PISF: E: 01/10/2019; F: 04/12/2021; G: 18/12/2021; H: 19/03/2022

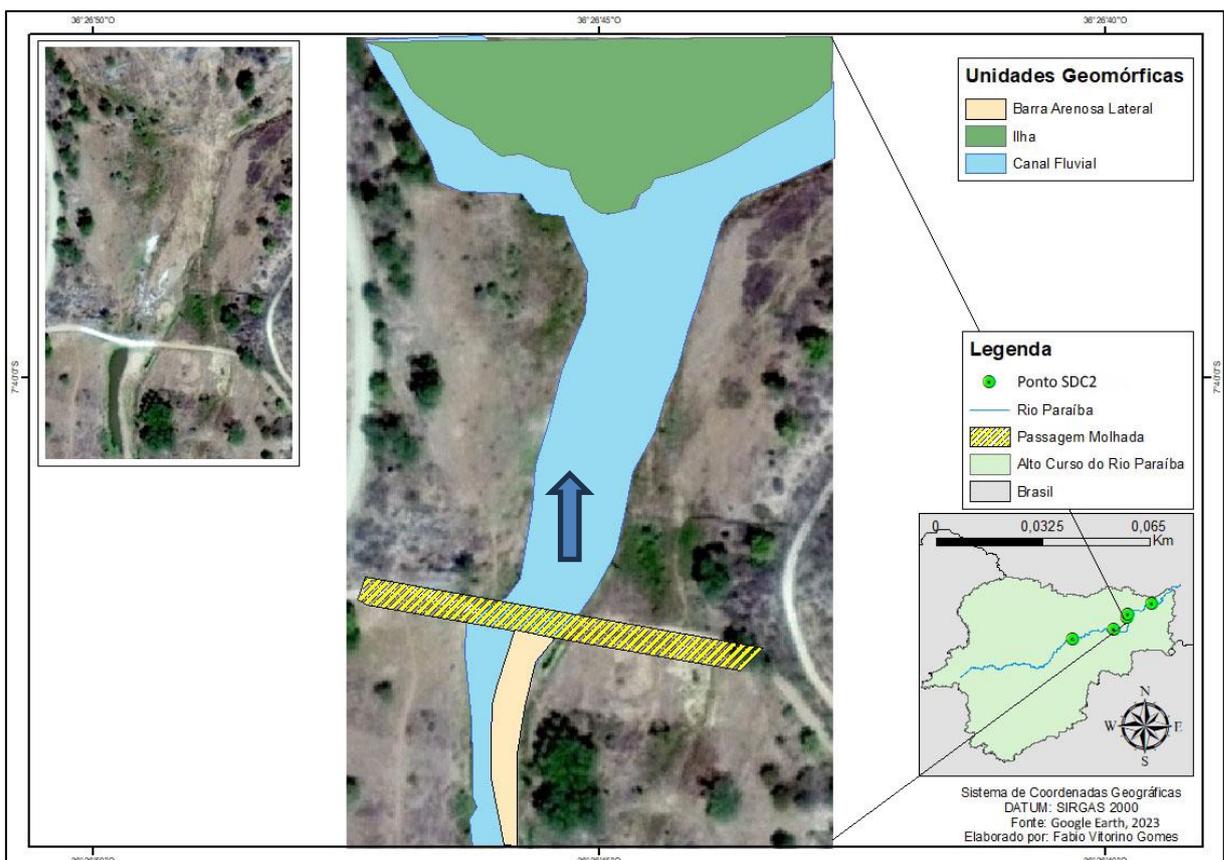




Fonte: Elaborado pelo autor

O terceiro trecho analisado é o ponto destacado como SDC2 (São Domingos do Cariri 2) que está localizado nas coordenadas geográficas de latitude $7^{\circ}40'2.86''\text{S}$ e longitude $36^{\circ}26'46.49''\text{O}$. A imagem é datada do período de janeiro de 2015 (Figura 32). Pela análise da estação pluviométrica, esse ano foi considerado seco de acordo com IAC com um acumulado anual de 288,7 mm. No mês em questão aconteceu apenas um evento de chuva no dia 26 de 2,6 mm, indicando uma ineficiente para gerar qualquer tipo de vazão nas condições do semiárido tropical brasileiro. Na data da imagem questão o canal não possui carga hidrológica contínua, apenas um ponto com água acumulada. Apresenta também duas unidades geomórficas, sendo elas uma barra arenosa lateral que está localazida na margen direita do canal anterior a passagem molhada, e grande ilha depois da passgem molhada, criando uma bifurcação levando o canal a se dividir ao redor dessa ilha.

Figura 32: Imagem do Google Earth (01/2015) do Trecho analisado em SDC2 antes do PISF.



Fonte: Google Earth

A seguir se encontra o mosaico das ortofotos analisadas em SDC2 pós o período de implementação do PISF (Figura 33), seguindo o mesmo padrão dos mosaicos anteriores:

ortomosaicos do lado esquerdo e as imagens processadas com a vetorização das unidades geomórficas a direita.

O primeiro conjunto de imagens (I) no mosaico é de 01/10/2019, data que se encontra fora do período chuvoso da região. Na imagem se pode notar a existência uma carga hidrológica, em que perpassa o canal seguindo seu fluxo para a bifurcação do lado esquerdo. O ano de 2019 obteve um acumulado anual de 385,5 mm, sendo considerado um ano seco de acordo com seu IAC (-0,23). O mês da imagem em questão não obteve um precipitações, assim como no mês anterior (setembro). Foram identificadas nove unidades geomórficas, sendo elas: cinco barras laterais, que surgem com alteração no regime de vazão do canal em relação a análise feita da imagem 2015, uma estreita e alongada encontrada na margem esquerda anterior a passagem molhada e quatro depois da passagem molhada; duas barras arenosas laterais, constituídas de formas convexas na margem direita do canal antes da passagem molhada, e outra na margem esquerda do canal depois da passagem molhada; e por duas pequena ilhas, sendo uma agora constituída no centro do canal depois da passagem molhada e anterior a outra grande ilha em forma de bifurcação que agora se apresenta de forma consolidada na imagem. O perfil lateral nesta data apresenta uma diferença de apenas 0,2 m de altura da margem esquerda (margem mais elevada) em relação a direita, tendo seu vale uma altimetria de aproximadamente 4,5 m em relação à margem mais alta.

O segundo conjunto de imagens (J) no mosaico é datado de 04/02/2021, trata-se do período chuvoso para a região. O ano de 2021 obteve um acumulado anual de 315,1 mm, sendo considerado um ano seco de acordo com seu IAC (-0,71). O mês da imagem em questão teve um acumulado de 140,3 mm, sendo o mês com o maior acumulado, porém todas as chuvas ocorreram depois da data da imagem em questão. O mês anterior (janeiro) não apresentou precipitação. Mesmo assim a imagem apresenta um fluxo contínuo no canal, mesmo não tendo ocorrido eventos que justifiquem a vazão no canal.

Houve significativas alterações nas unidades geomórficas em relação a imagem anterior, sendo identificadas dessa vez dezoito unidades. Sete barras laterais, sendo uma encontrada na margem esquerda anterior a passagem molhada e seis depois da passagem molhada. Três barras arenosas laterais, sendo que agora existem duas barras na margem direita do canal antes da passagem molhada, que se dividiram em duas, e outra na margem esquerda do canal depois da passagem molhada. Há uma barra arenosa no centro do canal depois da passagem molhada que apareceu após dissolução da ilha que também se encontrava no centro do canal. E por fim, um pequeno conjunto com três ilhas constituídas no centro do canal depois da passagem molhada e outras três pequenas podendo serem visualizadas no entorno da grande

ilha em forma de bifurcação, sendo uma mais centralizada e as outras duas à direita e à esquerda da bifurcação e a ilha da bifurcação. O perfil lateral nesta data apresenta uma diferença de apenas 0,5 m de altura da margem esquerda (que evoluiu 0,3 m, sendo a margem mais elevada) em relação a direita, tendo seu vale agora uma altimetria de aproximadamente 2,5 m em relação à margem mais alta, aumentando 2 m em relação a análise do perfil anterior.

O terceiro conjunto de imagens (K) no mosaico é datado de 04/12/2021, esse já está inserido dentro do período chuvoso. O acumulado anual e o IAC foram os mesmos do conjunto de imagens anterior. Já o mês da imagem em questão teve um acumulado de 14,6 mm, sendo um mês intensidade pluvial. O mês anterior (novembro) não apresentou precipitação. Mesmo assim a imagem agora apresenta um fluxo contínuo no canal bem mais visível no canal, mesmo não tendo ocorrido eventos que justifiquem a vazão.

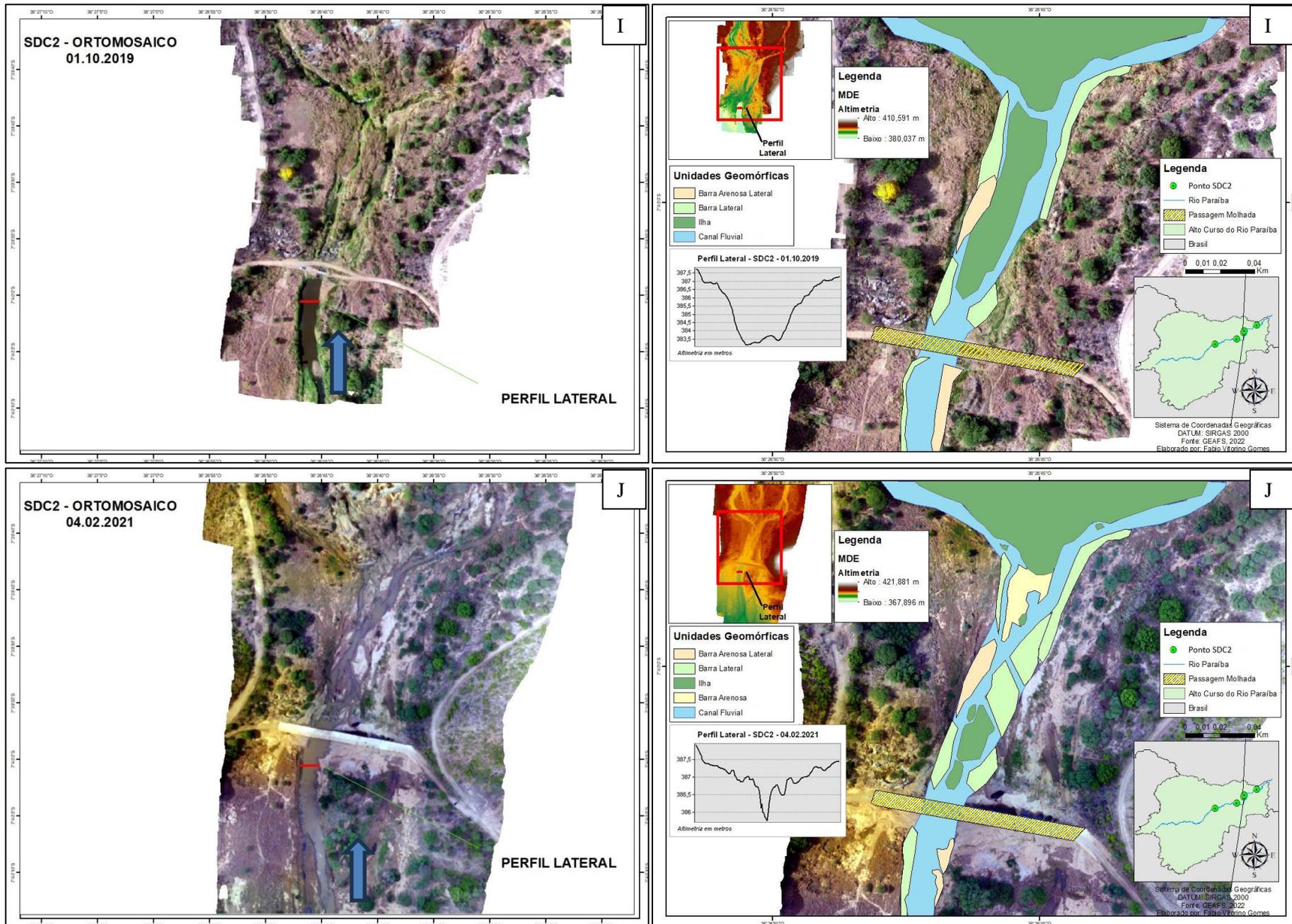
Mais uma vez ocorrem alterações nas unidades geomórficas em relação a imagem anterior, sendo identificadas dessa vez dez unidades. Quatro barras laterais, sendo uma encontrada na margem esquerda anterior a passagem molhada e três depois da passagem molhada com a unificação da barra logo após a passagem molhada na margem direita. Existe agora apenas uma barra arenosa no centro do canal depois da passagem molhada no centro do canal. E por fim, um pequeno conjunto com quatro ilhas constituídas no centro do canal depois da passagem molhada e sendo que uma das ilhas evoluiu a partir uma barra lateral que existia na margem direita depois da passagem molhada. O perfil lateral nesta data apresenta uma variação mais uniforme diferença de 0,4 m de altura da margem esquerda (margem mais elevada) em relação a direita, tendo seu vale agora uma altimetria de 1,1 m em relação à margem mais alta, aumentando 1,4 m em relação a análise do perfil anterior.

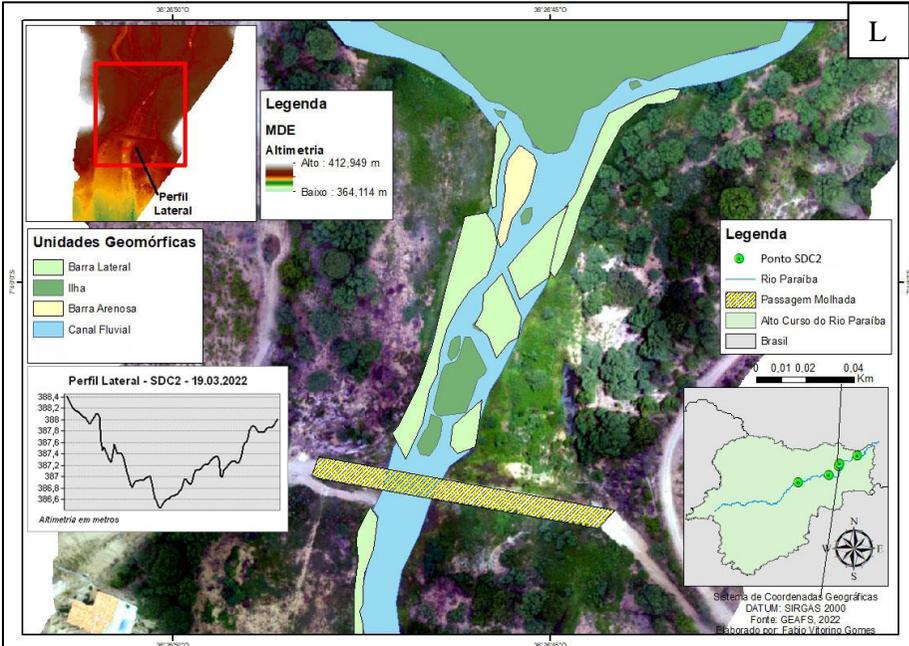
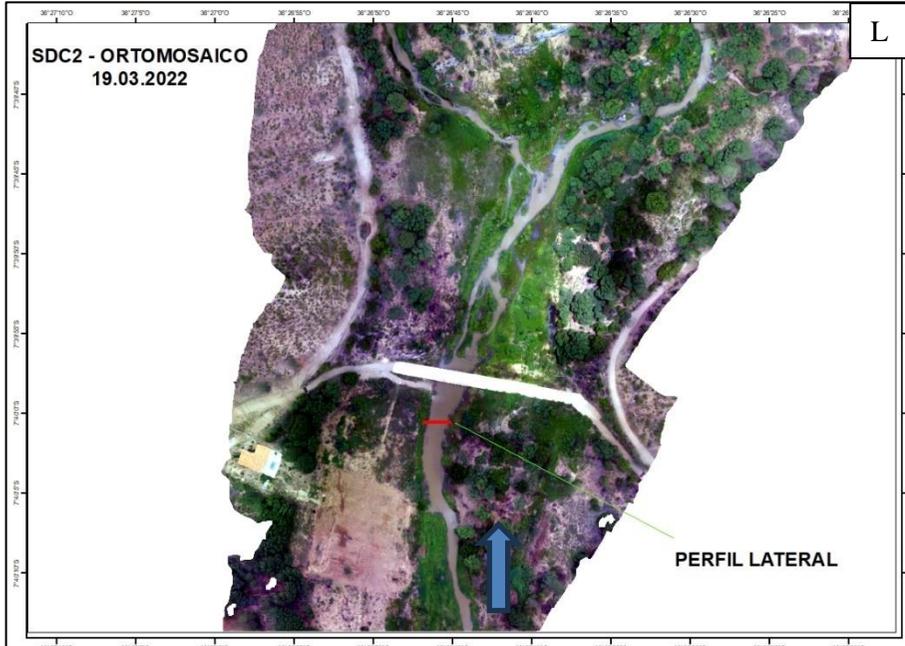
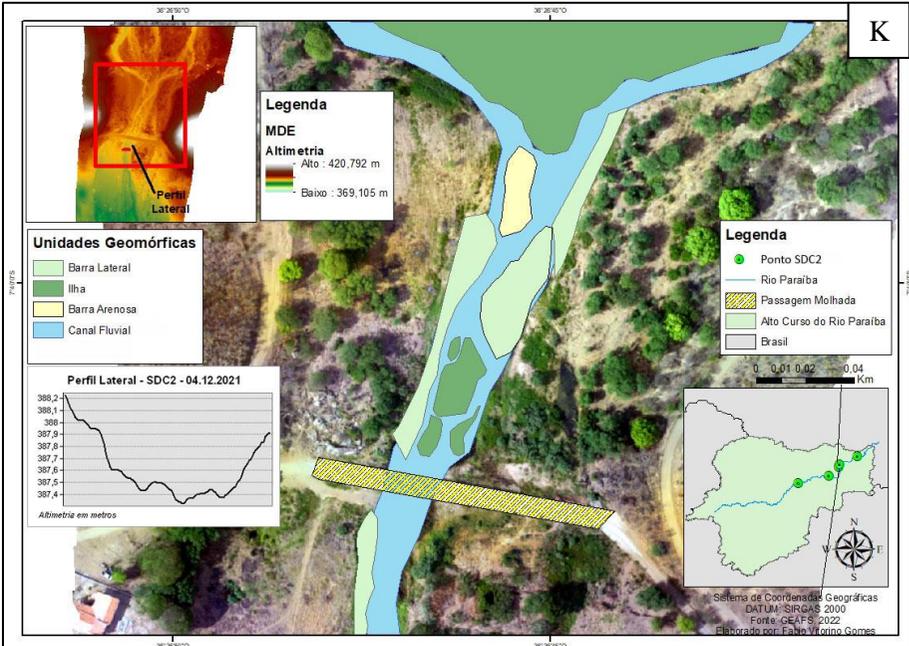
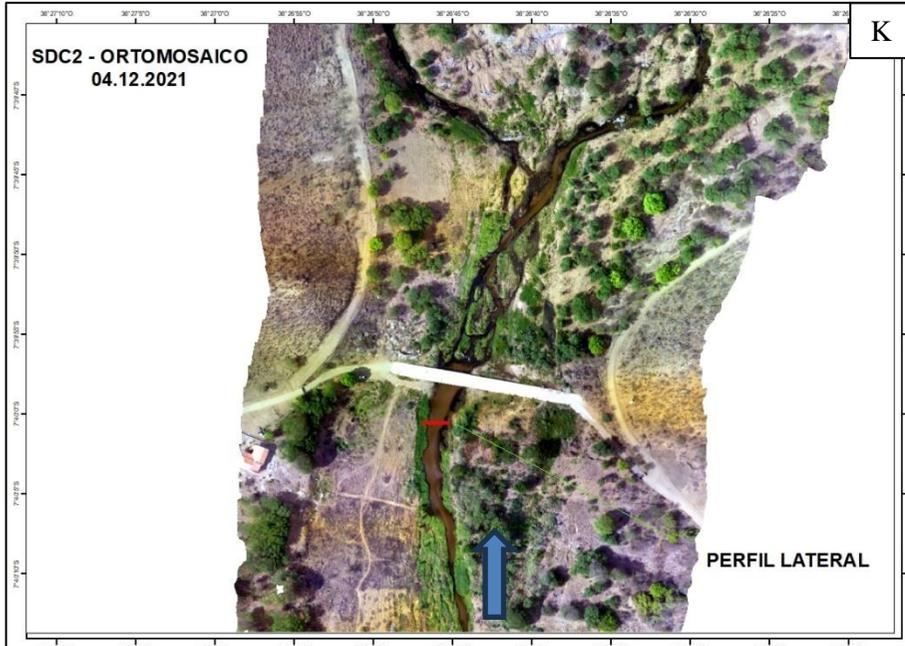
Já o quarto e último conjunto de imagens (L) no mosaico é datado de 19/03/2022, este já se encontra novamente em período chuvoso. O ano de 2022 obteve um acumulado anual de 413 mm, sendo considerado um também ano seco de acordo com seu IAC (-0,04). O mês da imagem em questão teve um acumulado de 119,9 mm, sendo o mês com o maior acumulado do ano em questão. É perceptível continuidade do fluxo mesmo um ano considerado seco. Mais uma vez aconteceram algumas alterações nas unidades geomórficas em relação a imagem anterior, sendo identificadas dessa vez 14 unidades. Sete barras laterais, sendo uma encontrada na margem esquerda anterior a passagem molhada e seis depois da passagem molhada voltando ao estágio da imagem analisada em 04/02/2021. Agora se tem apenas uma barra arenosa no centro do canal depois da passagem molhada. E por fim, um pequeno conjunto com três ilhas constituídas no centro do canal depois da passagem molhada e outras três pequenas podendo serem visualizadas no entorno da grande ilha em forma de bifurcação, sendo uma mais

centralizada e as outras duas à direita e à esquerda da bifurcação e a ilha da bifurcação.

O perfil lateral nesta data apresenta uma diferença de apenas 0,6 m de altura da margem esquerda (sendo a margem mais elevada) em relação a direita, tendo seu vale agora uma altimetria de aproximadamente 2 m relação à margem mais alta, diminuindo agora 0,9 m em relação a análise do perfil anterior.

Figura 33: Mosaico das ortofotos analisadas em SDC2 pós PISF: I: 01/10/2019; J: 04/02/2021; K: 04/12/2021; L: 19/03/2022

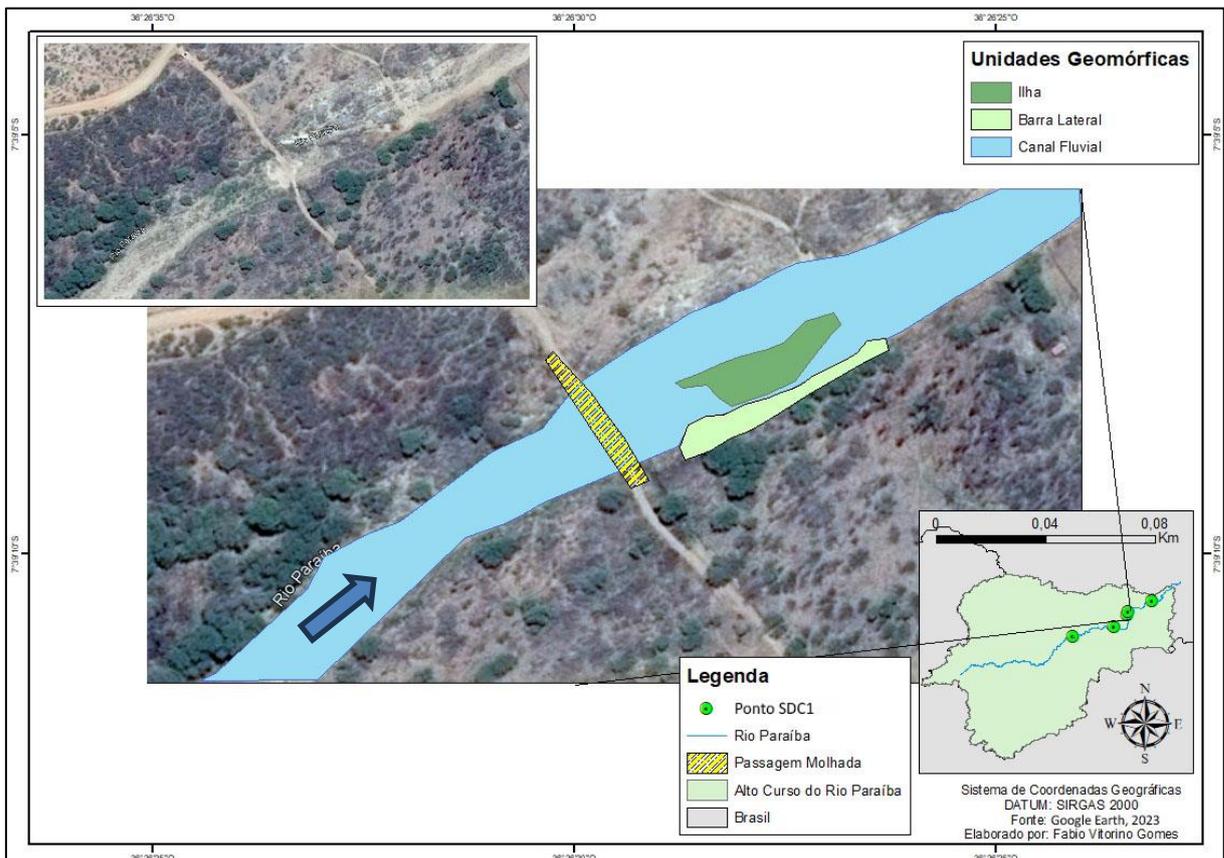




Fonte: Elaborado pelo autor

O quarto trecho analisado é o ponto destacado como SDC1 (São Domingos do Cariri 1) que está localizado nas coordenadas geográficas de latitude $7^{\circ}39'7.07''\text{S}$ e longitude $36^{\circ}26'29.12''\text{O}$. A imagem é datada do período de agosto de 2013, estando esse mês inserido no período seco da região (Figura 34). Pela análise da estação pluviométrica, esse ano foi considerado seco de acordo com IAC com um acumulado anual de 288,7 mm., sendo que no mês em questão o acumulado foi de 25,8 mm, indicando ser um acumulado insuficiente para gerar qualquer tipo de vazão nas condições do semiárido tropical brasileiro. Na data da imagem em questão o canal não possui carga hidrológica contínua e apresenta duas unidades geomórficas, sendo elas uma barra lateral e uma ilha, ambas depois da passagem molhada.

Figura 34: Imagem do Google Earth (08/2013) do Trecho analisado em SDC1 antes do PISF.



Fonte: Google Earth

A seguir se encontra o mosaico das ortofotos analisadas em SDC1 pós o período de implementação do PISF (Figura 35), seguindo o mesmo padrão dos mosaicos anteriores: ortomosaicos do lado esquerdo e as imagens processadas com a vetorização das unidades geomórficas a direita.

O primeiro conjunto de imagens (M) no mosaico é de 01/10/2019, data que se encontra fora do período chuvoso da região. Na imagem se pode notar a ausência um fluxo contínuo, apenas algumas localidades com água acumulada. O ano de 2019 obteve um acumulado anual de 385,5 mm, sendo considerado um ano seco de acordo com seu IAC (-0,23). O mês da imagem em questão não obteve um precipitações, assim como no mês anterior (setembro). Foram identificadas apenas quatro unidades geomórficas, sendo elas: três barras laterais todas alongadas, em que surgem com alteração no regime de vazão do canal em relação a análise feita da imagem 2015, encontradas na margem direita anterior a passagem molhada e duas depois da passagem molhada; e uma ilha no centro do canal depois da passagem molhada. O perfil lateral nesta data apresenta uma diferença de 1,8 m de altura da margem esquerda em relação a direita (margem mais elevada), tendo seu vale uma amplitude de 2,5 m em relação à margem mais alta.

O segundo conjunto de imagens (N) no mosaico é datado de 04/02/2021, trata-se do período chuvoso para a região. O ano de 2021 obteve um acumulado anual de 315,1 mm, sendo considerado um ano seco de acordo com seu IAC (-0,71). O mês da imagem em questão teve um acumulado de 140,3 mm, sendo o mês com o maior acumulado, porém todas as chuvas ocorreram depois da data da imagem em questão. O mês anterior (janeiro) não apresentou precipitação. Mesmo assim a imagem apresenta um fluxo contínuo no canal, mesmo não tendo ocorrido eventos que justifiquem a vazão no canal.

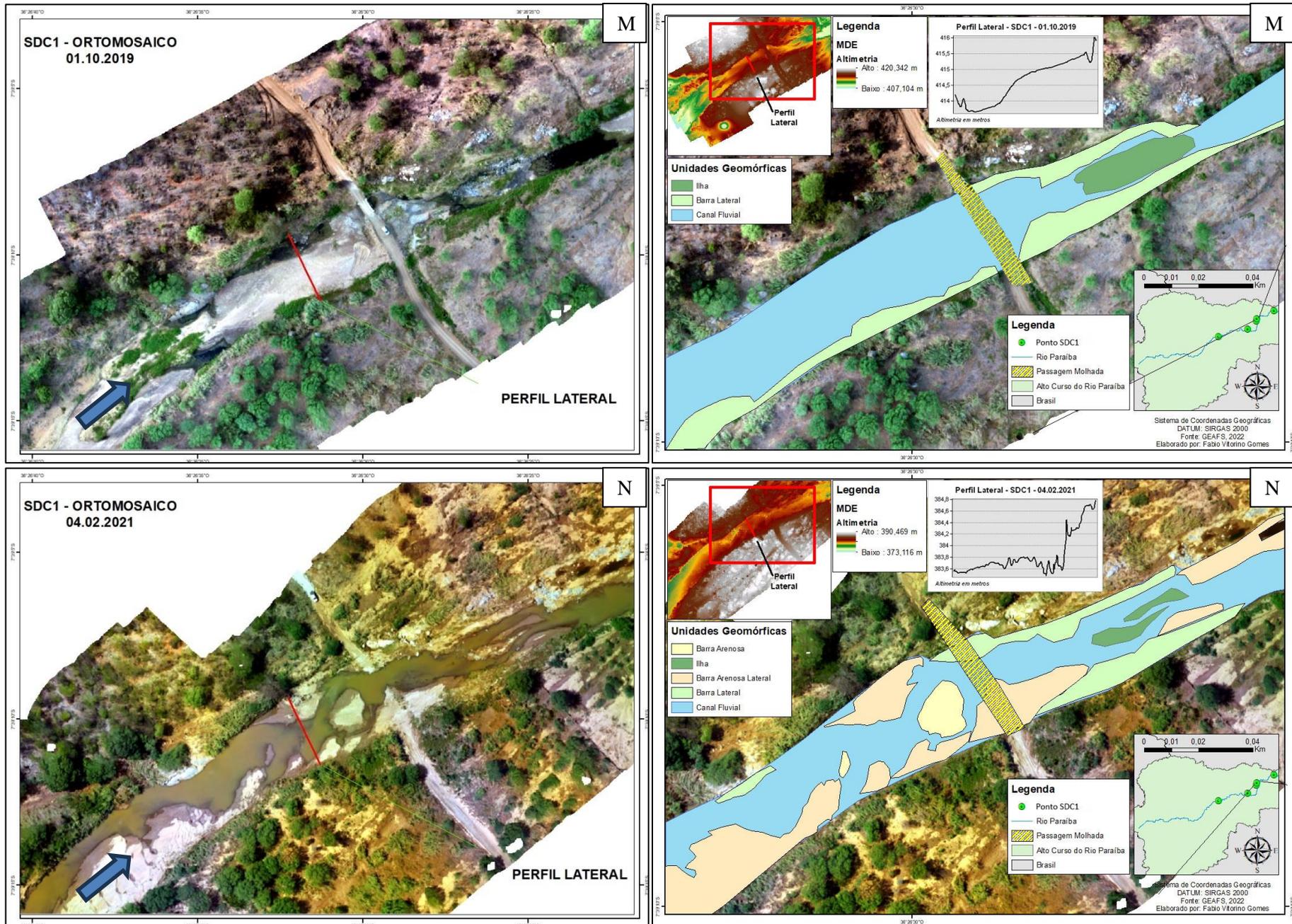
Ocorreram significativas alterações nas unidades geomórficas em relação a imagem anterior, sendo dessa vez identificadas quatorze unidades. Três barras laterais, sendo uma encontrada na margem esquerda anterior a passagem molhada e duas depois da passagem molhada. Sete barras arenosas laterais, sendo três barras na margem direita do canal e uma na margem antes da passagem molhada, e outras três depois da passagem molhada, duas na margem direita e uma na margem esquerda. Há duas barras arenosas no centro do canal antes da passagem molhada. E por fim, duas ilhas no centro do canal depois da passagem molhada. O perfil lateral nesta data apresenta uma diferença de 1,2 m de altura da margem esquerda em relação a direita (sendo a margem mais elevada), tendo seu vale agora uma altimetria de 1,4 m em relação à margem mais alta, aumentando 1,3 m em relação a análise do perfil anterior. Agora a margem esquerda chegou a uma amplitude de 0,2 m em relação a margem mais baixa.

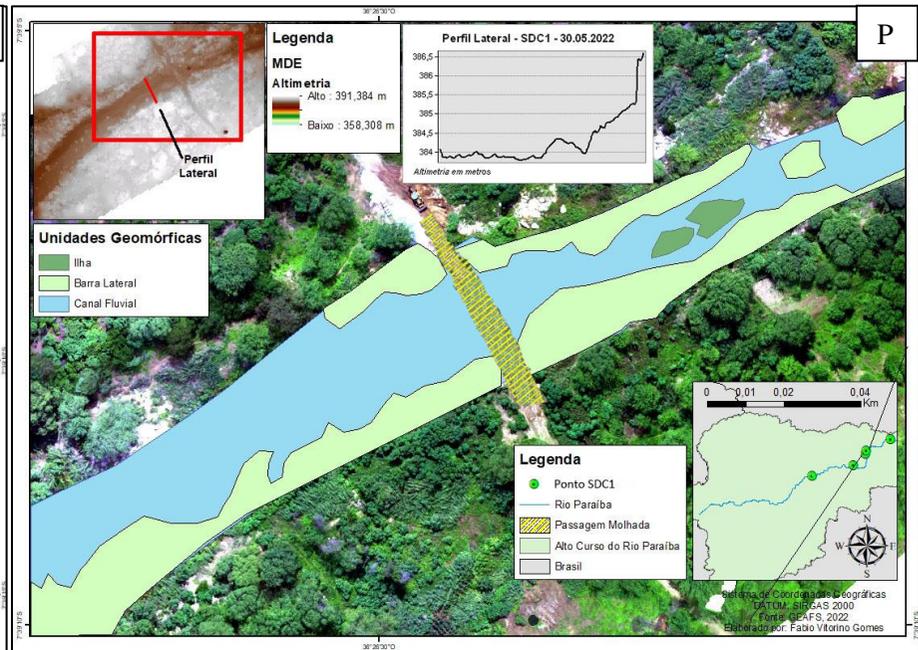
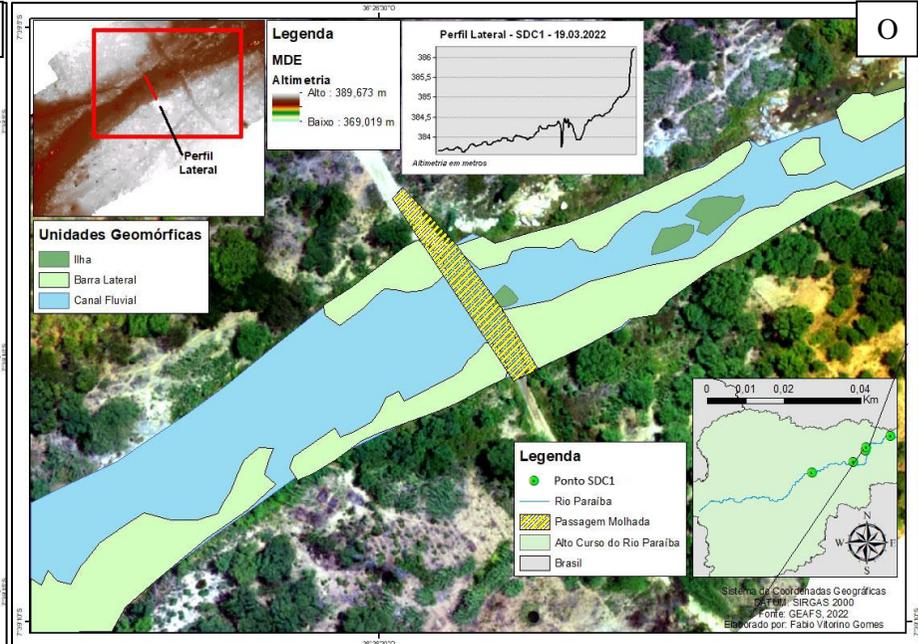
O terceiro conjunto de imagens (O) no mosaico é datado de 04/12/2021, esse já está inserido dentro do período chuvoso. O acumulado anual e o IAC foram os mesmos do conjunto de imagens anterior. Já o mês da imagem em questão teve um acumulado de 14,6 mm, sendo um mês intensidade pluvial. O mês anterior (novembro) não apresentou precipitação. Mesmo

assim a imagem agora apresenta um fluxo contínuo no canal bem mais visível no canal, mesmo não tendo ocorrido eventos que justifiquem a vazão. Ocorreram alterações evolutivas nas unidades geomórficas em relação a imagem anterior. As barras arenosas se constituíram em barras laterais. Então agora se têm seis barras laterais, sendo três encontradas antes da passagem molhada, uma na margem esquerda e duas na margem direita e as outras posteriores a passagem molhada. E for fim, três ilhas constituídas no centro do canal depois da passagem molhada. O perfil lateral nesta data apresenta uma diferença de 2,6 m de altura da margem esquerda em relação a direita (sendo a margem mais elevada), tendo seu vale agora uma altimetria de 2,7 m em relação à margem mais alta, diminuindo 1,4 m em relação a análise do perfil anterior. Agora a margem esquerda chegou a uma amplitude de 0,1 m em relação a margem mais baixa.

Já o quarto e último conjunto de imagens (P) no mosaico é datado de 30/05/2022, quase no fim do período chuvoso. O ano de 2022 obteve um acumulado anual de 413 mm, sendo considerado um também ano seco de acordo com seu IAC (-0,04). O mês da imagem em questão teve um acumulado de 115,5 mm, sendo o segundo mês com o maior acumulado do ano em questão. É perceptível um fluxo bem mais presente mesmo um ano considerado seco. As unidades geomórficas permanecem basicamente as mesmas em relação a imagem anterior, sendo seis barras laterais, sendo três encontradas antes da passagem molhada, uma na margem esquerda e duas na margem direita e as outras três depois da passagem molhada. E for fim, duas ilhas constituídas no centro do canal depois da passagem molhada. O perfil lateral nesta data apresenta uma diferença de 2,5 m de altura da margem esquerda em relação a direita (sendo a margem mais elevada), tendo seu vale agora uma altimetria de 3,2 m em relação à margem mais alta, diminuindo 0,5 m em relação a análise do perfil anterior. Agora a margem esquerda chegou a uma amplitude de 0,7 m em relação a margem mais baixa.

Figura 35: Mosaico das ortofotos analisadas em SDC1 pós PISF: M: 01/10/2019; N: 04/02/2021; O: 19/03/2022; P: 30/05/2022

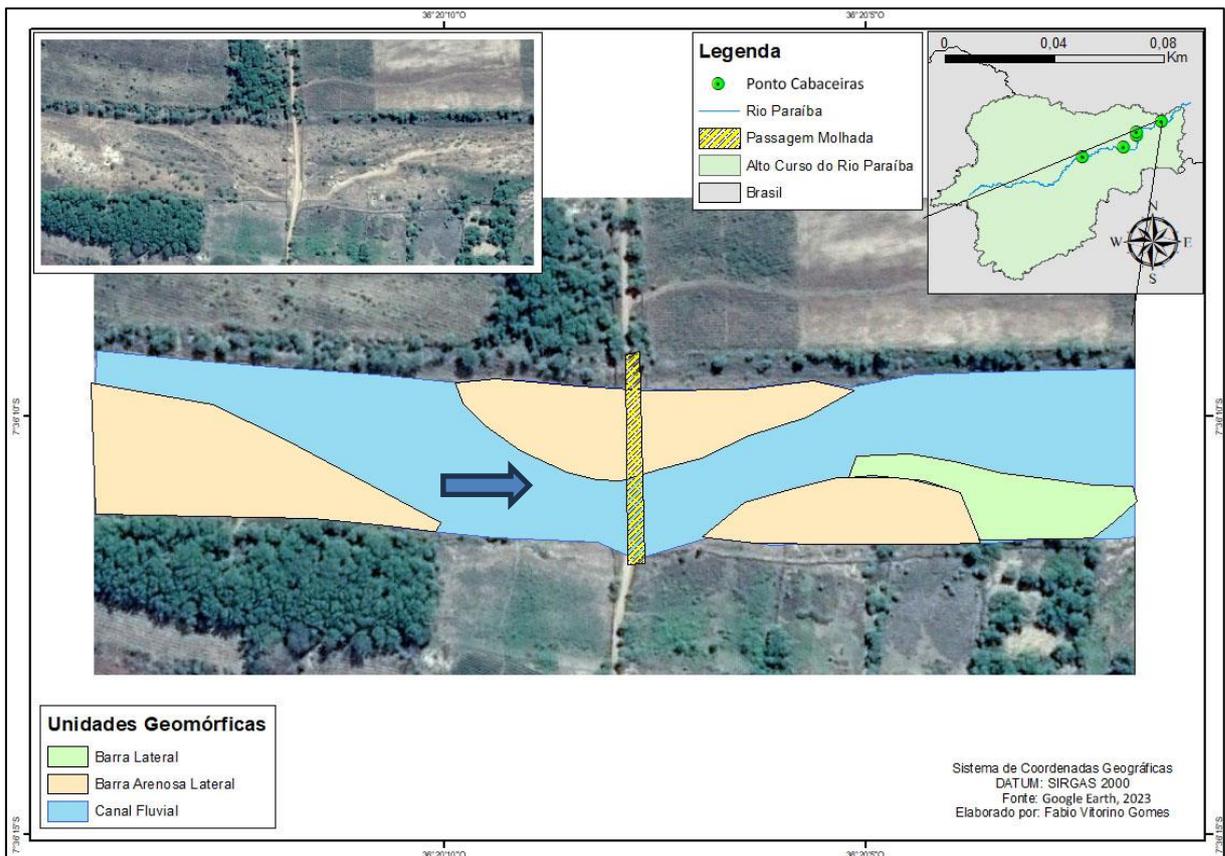




Fonte: Elaborado pelo autor

O quinto e último trecho analisado se encontra no município de Cabaceiras (Figura 36) e está localizado nas coordenadas geográficas de latitude $7^{\circ}36'11.32''S$ e longitude $36^{\circ}20'7.92''O$. A imagem é datada do período de junho de 2016, mês inserido no período seco da região e um ano antes da implementação do PISF (Figura 36). Pela análise da estação pluviométrica, esse ano foi considerado muito seco de acordo com IAC (-3,24) com um acumulado anual de 200,7 mm., sendo que no mês em questão o acumulado foi de 12,5 mm, indicando ser um acumulado insuficiente para gerar qualquer tipo de vazão nas condições do semiárido tropical brasileiro. Na data da imagem questão o canal não possui carga hidrológica contínua e apresenta quatro unidades geomórficas, sendo elas uma barra lateral depois da passagem molhada e três barras arenosas laterais, uma antes e uma depois da passagem molhada na margem direita e uma na divisão da passagem molhada sendo essa na margem esquerda.

Figura 36: Imagem do Google Earth (06/2016) do Trecho analisado em Cabaceiras antes do PISF.



Fonte: Google Earth

A seguir se encontra o mosaico das ortofotos analisadas em Cabeceiras pós o período de implementação do PISF (Figura 37), seguindo o mesmo padrão dos mosaicos anteriores: ortomosaicos do lado esquerdo e as imagens processadas com a vetorização das unidades geomórficas a direita.

O primeiro conjunto de imagens (Q) no mosaico é de 01/10/2019, data que se encontra fora do período chuvoso da região. Na imagem se pode notar a ausência carga hidrológica. O ano de 2019 obteve um acumulado anual de 332,3 mm, sendo considerado um ano seco de acordo com seu IAC (-1,11). O mês da imagem em questão não obteve um precipitações, no mês anterior (setembro) se teve um acumulado de 2,2 mm. Foram identificadas apenas sete unidades geomórficas, sendo elas: três barras arenosas laterais, uma antes e uma depois da passagem molhada na margem direita e uma na divisão da passagem molhada sendo essa na margem esquerda; e três pequenas ilhas no centro do canal antes da passagem molhada entre barras arenosas. O perfil lateral nesta data apresenta que a margem esquerda e margem direita estão na mesma altimetria. O ponto mais elevado se encontra agora em uma barra lateral arenosa na margem direita do canal antes da passagem molhada com 0,6 m a mais de altimetria de que nas margens. Seu vale apresentou uma diferença altimétrica de 0,8 m em relação às margens.

O segundo conjunto de imagens (R) no mosaico é datado de 04/02/2021, trata-se do período chuvoso para a região. O ano de 2021 obteve um acumulado anual de 148,3,1 mm, sendo considerado um ano extremamente seco de acordo com seu IAC (-4,08). O mês da imagem em questão teve um acumulado de 15,5 mm. Já o mês anterior (janeiro) apresentou 0,6 mm de precipitação. Mesmo assim a imagem apresenta carga hidrológica no canal, mesmo não tendo ocorrido eventos que justifiquem a vazão no canal.

Ocorreram significativas alterações nas unidades geomórficas em relação a imagem anterior, sendo dessa vez identificadas cinco unidades; três barras arenosa laterais uma na margem direita antes da passagem molhada e duas depois da passgem molhada uma me cada margem; e duas barras arenosas mais centralizadas, que formaram da evolução de uma das barras arenosas laterais identificadas na imagem anterior. O perfil lateral nesta data apresenta uma diferença de 0,4 m de altura da margem esquerda (sendo a margem mais elevada) em relação a direita, tendo seu vale agora em uma altimetria de 1,1 m em relação à margem mais alta, diminuindo 0,3 m em relação a análise do perfil anterior.

O terceiro conjunto de imagens (S) no mosaico é datado de 19/02/2022, trata-se do período chuvoso para a região. O ano de 2022 obteve um acumulado anual de 672,9 mm, sendo considerado um ano muito chuvoso de acordo com seu IAC (3,98). Mesmo sendo um ano muito

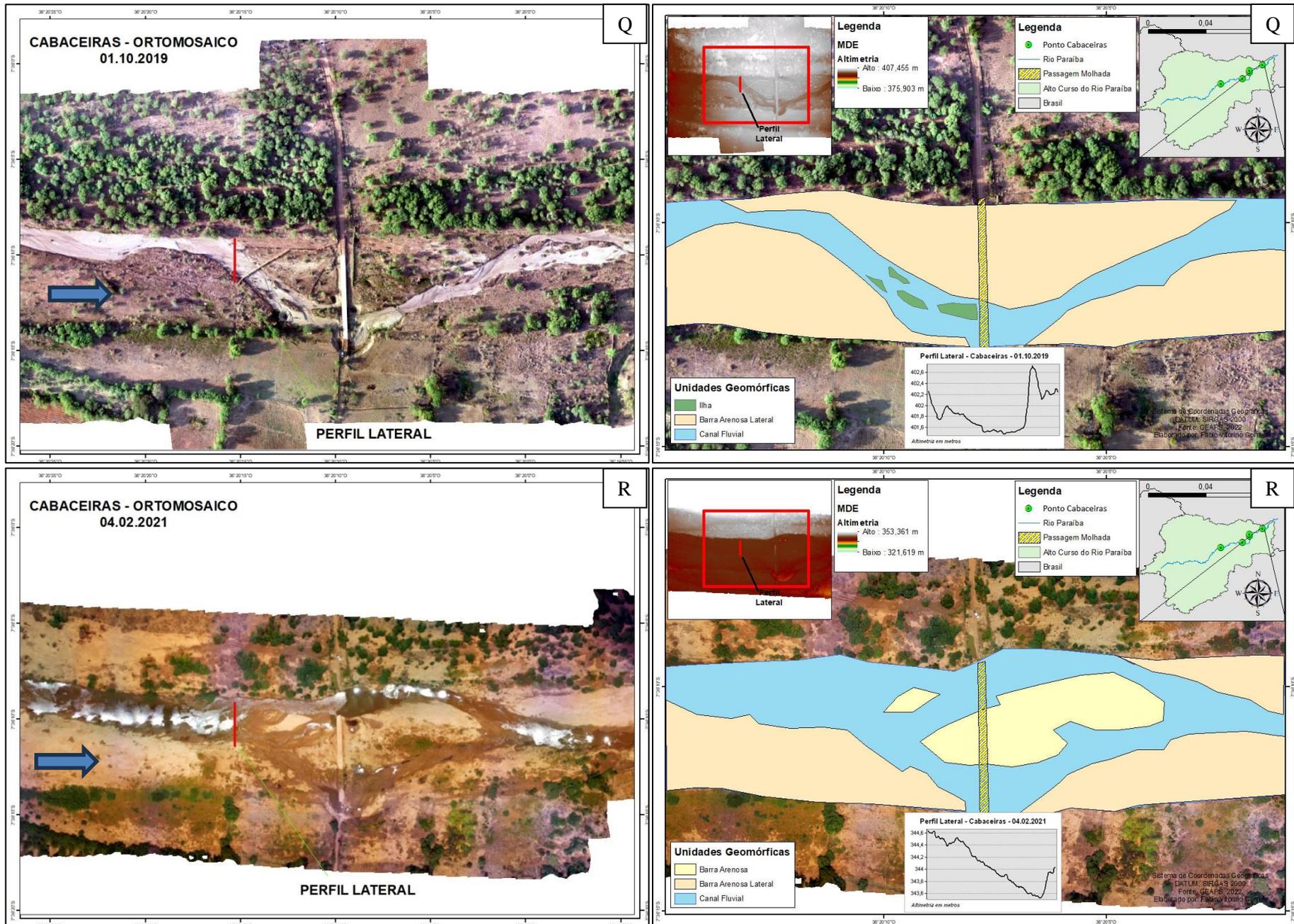
chuvoso o mês da imagem em questão não houve precipitação. Já o mês anterior (janeiro) apresentou 52,1 mm de precipitação. Mesmo assim a imagem apresenta carga hidrológica no canal, mesmo não tendo ocorrido eventos que justifiquem a vazão no canal.

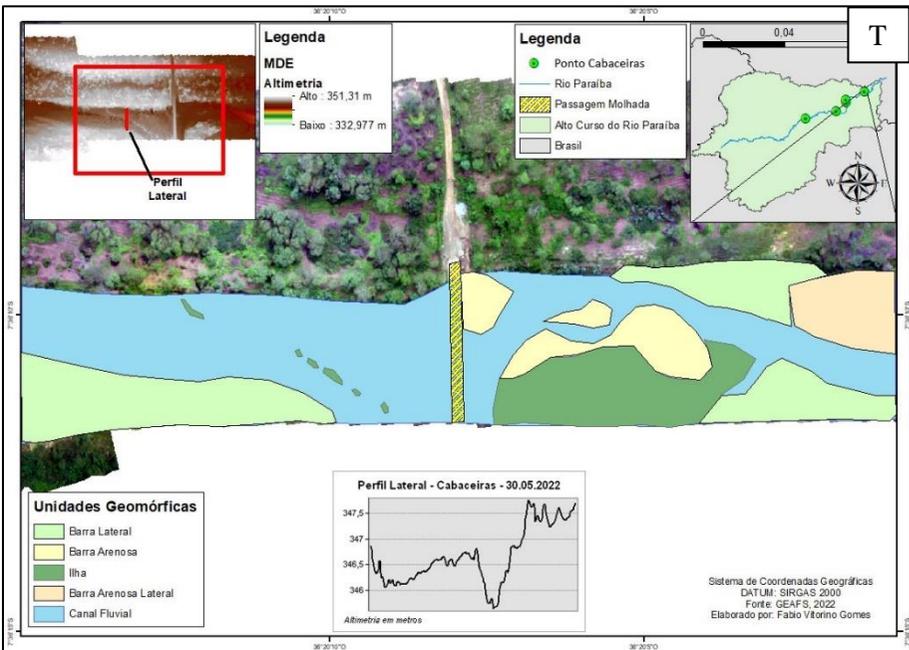
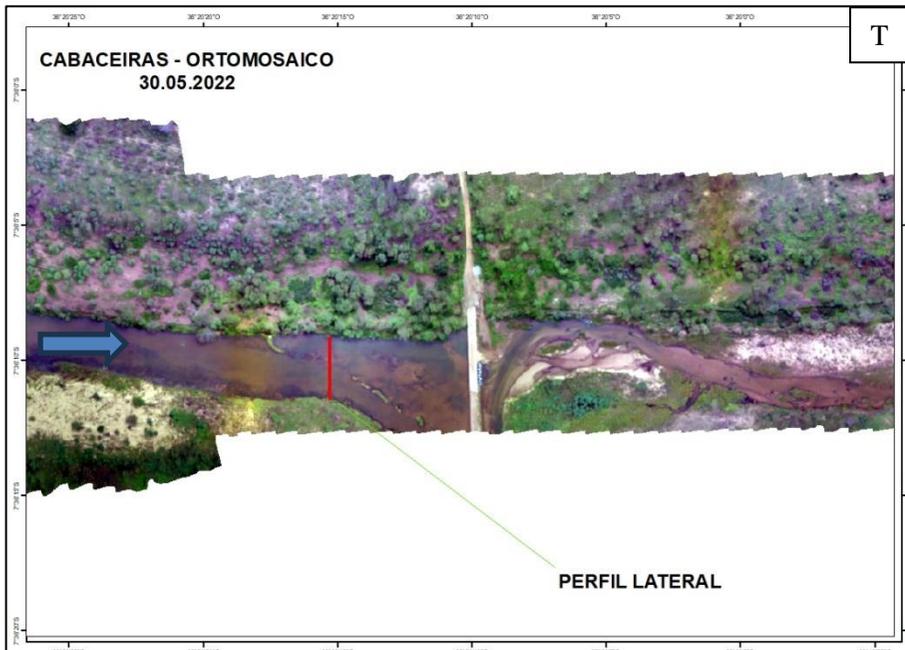
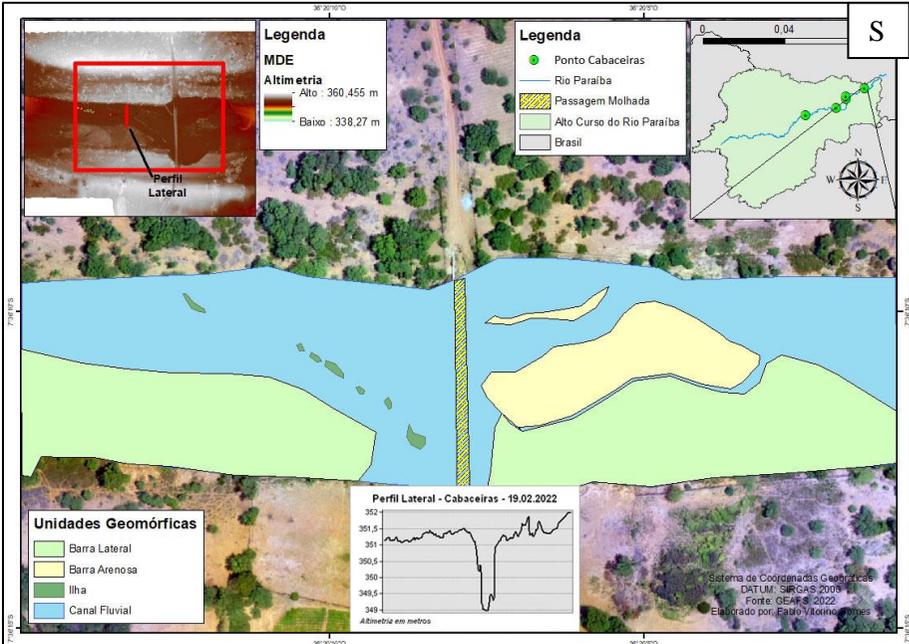
. Ocorreram alterações evolutivas nas unidades geomórficas em relação a imagem anterior. As barras arenosas na margem direita tanto antes quanto depois da passagem molhada se constituíram em barras laterais. Há agora a presença de duas barras arenosas centralizadas no canal depois da passagem. E por fim, tem o aparecimento de sete pequenas ilhas no centro do canal antes da passagem molhada. O perfil lateral nesta data apresenta uma diferença de 0,8 m de altura da margem esquerda em relação a direita (sendo a margem mais elevada), tendo seu vale agora uma altimetria de 3 m em relação à margem mais alta, indicando um aprofundamento de 1,9 m em relação a análise do perfil anterior.

Já o quarto e último conjunto de imagens (T) no mosaico é datado de 30/05/2022, quase no fim do período chuvoso. O ano de 2022 obteve um acumulado anual de 672,9 mm, sendo considerado um ano muito chuvoso de acordo com seu IAC (3,98). O mês da imagem em questão teve um acumulado de 253,6 mm, sendo o mês com o maior acumulado diante de todas as análises realizada. Neste caso de intensidade pluvial, justificaria vazão no canal, porém existem outras variáveis que podem ser adicionadas para a melhor compreensão dessa vazão.

Mais uma vez aconteceram algumas alterações nas unidades geomórficas em relação a imagem anterior, sendo identificadas dessa vez 14 unidades. Sete ilhas, sendo seis pequenas não alteradas da última imagem, encontradas centralizadas no canal, anteriores a passagem molhada e uma grande ilha que evoluiu de uma barra lateral. Agora se tem três barras arenosas no centro do canal depois da passagem molhada. Se tem também uma barra arenosa lateral e por fim, três barras laterais sendo uma na margem direita antes da passagem molhada e duas depois da passagem molhada. O perfil lateral nesta data apresenta uma diferença de 0,9 m de altura da margem esquerda em relação a direita (sendo a margem mais elevada), tendo seu vale agora uma altimetria de 2,2 m em relação à margem mais alta, diminuindo 1 m em relação a análise do perfil anterior.

Figura 37: Mosaico das ortofotos analisadas em Cabaceiras pós PISF: Q: 01/10/2019; R: 04/02/2021; S: 19/02/2022; T: 30/05/2022





Fonte: Elaborado pelo autor

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os estudos em ambientes fluviais semiáridos tropicais são de grande importância para análises temporais, pois essas necessitam de um acompanhamento de monitoramento para se tentar compreender toda a complexidade envolvida em seus processos de uma forma geral. Foi possível perceber pelas análises realizadas que o comportamento natural do canal do Alto Curso do Rio Paraíba foi impactado pela transposição, pois resultados demonstraram uma diferença na relação da chuva x vazão, em que foi perceptível tanto na análise hidrológicas quanto nas análises das imagens, alterações significativas no pouco tempo em que o PISF começou a vigorar.

Como existe ainda uma incipiente fonte de dados e análises dessa área, o que se espera deste trabalho é que ele sirva como contribuição científica significativa para a região do Alto Curso do Rio Paraíba e para os ambientes fluviais secos (semiáridos e subúmidos) do Nordeste brasileiro, compreendendo a dinâmica e o comportamento desses sistemas fluviais semiáridos. Vale salientar que apesar do ambiente semiárido cobrir 12% do território nacional, os estudos sobre sua dinâmica fluvial são escassos. Espera-se que os resultados gerados por essa pesquisa sejam em grande parte informações inéditas para o Alto Curso do Rio Paraíba assim como para o semiárido tropical brasileiro de uma forma geral.

Se faz importante frisar também a escassez de imagens em alta resolução para estudos de monitoramento ambiental temporal, pois elas auxiliam na riqueza de detalhes e também na assertividade das alterações observadas ao longo do tempo em uma determinada área. A pesquisa destacou a eficácia das imagens capturadas por VANTs e seu potencial para auxiliar em trabalhos voltados para a análise em escala de detalhe em ambientes fluviais semiáridos. Um dos objetivos futuros consiste em avaliar o desenvolvimento canal em questão com base em características ambientais compartilhadas por diferentes períodos para acompanhar de perto as modificações pertinentes, como por exemplo, modificações em unidades geomórficas que apresentam de forma sucinta as alterações que ocorrem no canal fluvial geradas por impactos da inserção de fluxo artificial.

A perspectiva teórico-metodológica pode ser melhorada e aplicada com mais eficiência ao integrar aerofotografias ou imagens de satélite de boa qualidade anteriores a implementação do PISF, proporcionando assim uma análise histórica mais detalhada. Outro ponto é inserção de postos fluviométricos por todo o canal do Alto Curso do Rio Paraíba, pois apenas uma estação apresenta dados históricos relacionados ao comportamento fluvial. A

associação desses dados com outras ferramentas, gera um arcabouço mais preciso que pode enriquecer a análise histórica ao comparar o antes e o depois eventos de grande impacto, permitindo a avaliação quantitativa das mudanças do canal ao longo do tempo.

8. REFERÊNCIAS

- ABLAT, Xarapat et al. Using MODIS-NDVI Time Series to Quantify the Vegetation Responses to River Hydro-Geomorphology in the Wandering River Floodplain in an Arid Region. *Water*, v. 13, n. 16, p. 2269, 2021.
- ALMEIDA, Cícero Lima de. Impacto da recuperação de área degradada sobre as respostas hidrológicas e sedimentológicas em ambiente semiárido. 2011.
- ALVES, Neliane de Sousa. **Mapeamento hidromorfodinâmico do Complexo Fluvial de Anavilhanas: contribuição aos estudos de Geomorfologia Fluvial de rios Amazônicos**. 2013. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- ANDRADE, Edivânia Rodrigues de. Análise da exigibilidade de áreas de preservação permanente em uma área de expansão da carcinicultura. 2021.
- ANDRADE, Fernando. CC54Z-Hidrologia. **Geração de escoamento e análise de hidrograma**, 2014.
- ANDRADE, José Hamilton Ribeiro. Dinâmica de margens em rios semiáridos: aplicações metodológicas no rio Jaguaribe–Ceará–Brasil. 2016.
- ARAÚJO, Rubenice da Costa Correia et al. Fatores climáticos e edáficos direcionam a variação fenotípica em populações vegetais em ambiente semiárido. 2021.
- AZEVEDO, LGT de et al. Transferência de água entre bacias hidrográficas. **Série Água Brasil**, v. 7, 2005.
- BERGER, Elisabeth; FRÖR, Oliver; SCHÄFER, Ralf B. Salinity impacts on river ecosystem processes: a critical mini-review. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, v. 374, n. 1764, p. 20180010, 2019.
- BRACKEN, L. J. & CROKE, J., 2007. The concept of hydrological connectivity and its contribution to understanding runoff-dominated geomorphic systems. **Hydrol. Process.** , Volume 21, p. 1749–1763.
- BRACKEN, L. J.; TURNBULL, L.; WAINWRIGHT, J.; BOGAART, P. Sediment connectivity: a framework for understanding sediment transfer at multiple scales. *Earth Surface Processes and Landforms*, v. 40, p. 177-188, 2015.

BRIERLEY, G. J.; FRYIRS, K. A. **Geomorphology and River Management**: Applications of the River Styles Framework. Oxford: Blackwell Publications, 2005.

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, 2000.

BRUNSDEN, D. A critical assessment of the sensitivity concept in geomorphology. **Catena**, v. 42, n. 2-4, p. 99-123, 2001.

BULL, L. & KIRKBY, M., 2002. Dryland river characteristics and concepts. In: **Dryland Rivers: Hydrology and Geomorphology of Semi-Arid Channels**. Chichester: John Wiley & Sons, pp. 3-15.

CAVALCANTE, Andrea Almeida. Geomorfologia fluvial no semiárido brasileiro. *Revista de Geografia (Recife)*, v. 35, n. 4, p. 254-268, 2018.

CAVALCANTE, Andrea Almeida; CUNHA, SB da. Dinâmica Fluvial no Semiárido e Gestão dos Recursos hídricos: enfoques sobre a bacia do Jaguaribe-Ce. *Os Recursos Hídricos do Ceará: integração, Gestão e Potencialidades*. IPECE, Fortaleza, p. 83-112, 2011

CHORLEY, R. J.; KENNEDY, B. A. 1971: **Physical geography**: a systems approach. London: Prentice-Hall. 1971.

COELHO, Victor HR et al. Dinâmica do uso e ocupação do solo em uma bacia hidrográfica do semiárido brasileiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 18, p. 64-72, 2014.

CONESA-GARCÍA, et al. Dimensionless morphological ratios versus stream power variations at bankfull stage in an ephemeral channel. **Geomorphology** , v. 361 , 2020. ISSN 107199.

CORDEIRO, Joel Maciel Pereira; DE SOUZA, Bartolomeu Israel; FELIX, Leonardo Pessoa. Levantamento florístico em afloramento rochoso no piemonte da Borborema, Paraíba, Brasil. *Geosul*, v. 33, n. 67, p. 214-228, 2018.

CORDEIRO, Joel Maciel Pereira; DE SOUZA, Bartolomeu Israel; FELIX, Leonardo Pessoa. Levantamento florístico em afloramento rochoso no piemonte da Borborema, Paraíba, Brasil. *Geosul*, v. 33, n. 67, p. 214-228, 2018.

CORRÊA, A. C. B. Antropogênese e Morfogênese sob a Ação de Eventos Climáticos de Alta Magnitude no Semiárido Pernambucano: O Caso da Bacia do Riacho Salgado. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 12, n. 3, p. 25-36, 2011.

CORRÊA, A. C. B. et al. **Estilos fluviais de uma bacia de drenagem no submédio São Francisco**. Revista de Geografia - Recife, v. 26 n 1, p. 181-215, 2009.

COSTA, A. C., BRONSTERT, A. & ARAUJO, J. C., 2012. A channel transmission losses model for different dryland rivers. Araujo, **Hydrol. Process** Volume 16, p. 1111–1135.

COSTA, A. C., FOERSTER, S., ARAÚJO, J. C. d. & BRONSTERT, A., 2013. Analysis of channel transmission losses in a dryland river reach in north-eastern Brazil using streamflow series, groundwater level series and multi-temporal satellite data. **Hydrol. Process.** , Volume 27, p. 2013.

COSTA, Rafaela Lisboa et al. Tendências em índices extremos de precipitação em Cabaceiras (PB) para períodos distintos. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 01, p. 271-285, 2020.

CRUZ, Jussara Cabral; TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. Estimativa da disponibilidade hídrica através da curva de permanência. **Rbrh: revista brasileira de recursos hídricos. Porto Alegre, RS. Vol. 13, n. 1 (jan./mar. 2008), p. 111-124, 2008.**

CUNHA, S. Geomorfologia Fluvial. In: GUERRA, A. e CUNHA, S. Geomorfologia: UMA ATUALIZAÇÃO DE BASES E CONCEITOS. Bertrand Brasil. 3º Ed. Rio de Janeiro. 1998.

DA CONCEIÇÃO DORNELLAS, Patricia et al. Análise Morfométrica Da Bacia Do Alto Rio Paraíba, Região Semiárida Do Estado Da Paraíba Morphometric Analyses Of High Paraíba River Basin, Semiárid Region Of Paraíba State. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 21, n. 3, 2020.

DA COSTA, Luis Ricardo Fernandes et al. Geomorfologia do Nordeste Setentrional Brasileiro: uma proposta de classificação. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 21, n. 1, 2020.

DA SILVA, Wemerson Flávio et al. A PROPOSTA DE ESTILOS FLUVIAIS NA ANÁLISE DA MORFODINÂMICA EM RIO SEMIÁRIDO: Rio Ipanema, Pernambuco. **Revista OKARA: Geografia em debate**, v. 13, n. 1, p. 252-272, 2019

DE LIMA, Maria Goretti Cabral; GIRÃO, Osvaldo. Considerações Teóricas sobre a Dinâmica Superficial em Ambientes Tropicais Áridos e Semiáridos: Aplicação ao Semiárido do Nordeste Brasileiro. *Espaço Aberto*, v. 10, n. 2, p. 9-26, 2020.

DE MATTOS, Sérgio Henrique Vannucchi Lemes; PEREZ FILHO, Archimedes. Complexidade e estabilidade em sistemas geomorfológicos: uma introdução ao tema. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 5, n. 1, 2004.

DE MELLO, Carlos Rogério; DA SILVA, Antônio Marciano. Métodos estimadores dos parâmetros da distribuição de Gumbel e sua influência em estudos hidrológicos de projeto. **Irriga**, v. 10, n. 4, p. 334-350, 2005.

DE RECURSOS NATURAIS, IBGE Coordenação; AMBIENTAIS, Estudos. Manual técnico de geomorfologia. **Rio de Janeiro, RJ: IBGE**, 2009.

DE SANTANA MENEZES, Lucas; SANTOS, Mario Ricardo Rodrigues; SENRA, Aracy Sousa. Fotointerpretação obtida por aeronave remotamente pilotada (RPA) aplicada em mapeamento litoestrutural de escala 1: 800, afloramento do domínio Macururé, município de Capela-SE. **Geosciences= Geociências**, v. 38, n. 2, p. 483-493, 2019.

DE SOUZA, Jonas Otaviano Praça; DE BARROS CORRÊA, Antônio Carlos. Cenários Evolutivos da Conectividade da Paisagem em Ambiente Semiárido–Bacia do Riacho do Saco, Serra Talhada, Pernambuco Evolution Scenarios Of Landscape Connectivity In Semiarid Environment–Saco Creek Watershed, Serra. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 21, n. 1, 2020.

DE SOUZA, Jonas Otaviano Praça; DE BARROS CORRÊA, Antônio Carlos. Sistema fluvial e planejamento local no semiárido. *Mercator-Revista de Geografia da UFC*, v. 11, n. 24, p. 149-168, 2012.

DINIZ, Renata Richelle Santos et al. Índice de anomalia de chuvas da Microrregião do Cariri Ocidental Paraibano. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 6, p. 2628-2640, 2020.

DOS SANTOS SOUZA, Alexandre; FURRIER, Max. Técnicas de mapeamento geomorfológico aplicadas em escala de detalhe. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 20, n. 1, 2019.

DUARTE, Nathalia Silva. Conectividade no sistema de drenagem do rio Sana, afluente do Rio Macaé (RJ). Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Programa de PósGraduação em Geografia – PPGG, Rio de Janeiro, 2015.

FIGUEIREDO, J. V. d., ARAÚJO, J. C. d., MEDEIROS, P. H. A. & Costa, A. C., 2016. Runoff initiation in a preserved semiarid Caatinga small watershed, Northeastern Brazil. **Hydrol. Process**, Volume 30, p. 2390–2400.

FONSECA, Cássia Kellen Lopes. Uso de drone para estimativa de biomassa em áreas de caatinga do estado de Pernambuco. 2020. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.

FREITAS, D. A., et al. Considerações sobre a zona hiporreica na interação água superficial – água subterrânea. II Congresso Internacional de Meio Ambiente Subterrâneo <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/issue/view/1293>. Revista Águas Subterrâneas, São Paulo, Brasil, 2011

FREITAS, Jonathas Barbosa de Araújo. Caracterização da zona hiporreica no trecho médio do rio Beberibe considerando aspectos biológicos e sedimentológicos. 2018. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.

FRYIRS, K. A.; BRIERLEY, G. J. **Geomorphic Analysis of River Systems: An Approach to Reading the Landscape**. Chichester: Wiley-Blackwell, 2013.

FRYIRS, K.; BRIERLEY, G. **Geomorphic Analysis of River Systems: An Approach to Reading the Landscape**. Chichester, UK: John Wiley & Sons, 2013.

FRYIRS, K.; BRIERLEY, G. J. Naturalness and place in River Rehabilitation. **Ecology and Society**, v. 14 (1): 20, 2009.

GOHARI, Alireza et al. **Water transfer as a solution to water shortage: a fix that can backfire**. Journal of Hydrology, v. 491, p. 23-39, 2013.

GOMES, Rodrigo Dutra; VITTE, Antônio Carlos. Geomorfologia e Complexidade: uma revisão teórica. Revista de Geografia-PPGEO-UFJF, v. 12, n. Especial, p. 1-17, 2022.

GRAF, W. L. **Fluvial Process in Dryland Rivers**. Caldwell: The Blackburn Press, 1988.

GUERRA, Antônio José Teixeira; DOS SANTOS MARÇAL, Mônica. Geomorfologia ambiental. **Bertrand Brasil**, 2006.

GURNELL, A.; BERTOLDI. Extending the conceptual model of river island development to incorporate different tree species and environmental conditions. **River Res Applic.** p. 1–18, 2020.

HAIGH, Martin J. **Geography and general system theory, philosophical homologies and current practice.** Geoforum, v. 16, n. 2, p. 191-203, 1985.

HOOKE, J. M., 2016. Morphological impacts of flow events of varying magnitude on ephemeral channels in a semiarid region.. **Geomorphology**, Volume 252, p. 128–143.

HUSSON, E.; HAGNER, O.; ECKE, F. Unmanned aircraft systems help to map aquatic vegetation. *Applied vegetation science*, v. 17, n. 3, p. 567-577, 2014.

KLEMAS, V. Remote sensing of riparian and wetland buffers: an overview. *Journal of coastal research*, v. 30, n. 5, p. 869-880, 2014.

LEAL, Mariana Santos; TONELLO, Kelly Cristina. Análise da morfometria e do uso e cobertura da terra da microbacia do Córrego Ipaneminha de baixo, Sorocaba/SP. *Floresta*. 46, n. 4, p. 439-446, 2017.

LIMA, Kleber Carvalho; DA CUNHA, Cenira Maria Lupinacci. Atualização cartográfica da rede de drenagem para estudo geomorfológico de rios intermitentes e efêmeros do semiárido. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 66, n. 1, p. 127-136, 2014.

LIMBERGER, Leila. **Abordagem sistêmica e complexidade na geografia.** *Geografia*, v. 15, n. 2, p. 95-109, 2006.

LISENBY, P.; FRYIRS, ; THOMPSON,. River sensitivity and sediment connectivity as tools for assessing future channel. *INTL. J. RIVER BASIN MANAGEMENT*, v. 18, n. 3, p. 79–293, 2020.

LONGHITANO, George Alfredo. VANTS para sensoriamento remoto: aplicabilidade na avaliação e monitoramento de impactos ambientais causados por acidentes com cargas perigosas. 2010. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

MANSON, Steven M. **Simplifying complexity: a review of complexity theory.** *Geoforum*, v. 32, n. 3, p. 405-414, 2001.

MARENGO, José A.; CUNHA, Ana P.; ALVES, Lincoln M. A seca de 2012-15 no semiárido do Nordeste do Brasil no contexto histórico. **Revista Climanalise**, v. 3, n. 1, p. 49-54, 2016.

MARINHO, Cláudia Fernanda Costa Estevam; DE ALMEIDA, Hermes Alves. PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS DO ALTO CURSO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAIBA. **Revista de Geografia (UFPE)**, v. 30, n. 2, 2013.

MIRZAEI, Somayeh et al. Effects of hydrological events on morphological evolution of a fluvial system. *Journal of Hydrology*, v. 563, p. 33-42, 2018.

MORGANA, et al. Lateral and longitudinal distribution of riparian vegetation along an ephemeral river in Namibia using remote sensing techniques. **Journal of Arid Environments**, v. 181, 2020. ISSN 104220.

NHACUONGUE, Januário et al. A ciência e a ordem social: ensaios para disrupção do antropoceno. *Liinc em Revista*, v. 18, n. 1, p. e5950-e5950, 2022.

NOBRE, Maria Rianne Pereira; DE SOUSA PEREIRA, Maurício; CAMPOS, Rogério. Estudo de vazões máximas de projeto usando uma distribuição de Gumbel. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 12, p. e140101220098-e140101220098, 2021.

NORONHA, Gustavo Carneiro de; HORA, Mônica de Aquino Galeano Massera da; SILVA, Luciene Pimentel da. Análise do índice de anomalia de chuva para a microbacia de Santa Maria/Cambiocó, RJ. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, p. 74-81, 2016.

OLIVEIRA, Helder Cavalcante de. Impactos hidrofísicos na bacia hidrográfica do alto curso do Rio Paraíba frente a sua perenização. 2018.

OLIVEIRA, Helder Cavalcante de; et al. FRAGILIDADE AMBIENTAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO CURSO DO RIO PARAÍBA. *In: Simpósio Nacional de Geomorfologia*, 2018, Ceará. **Anais [...]**.

PELECH, André Souza. **CLASSIFICAÇÕES GEOMORFOLÓGICAS DE RIOS: UMA BREVE DISCUSSÃO TEÓRICA**. William Morris Davis - *Revista de Geomorfologia*, v. 2, n. 2, 15 de dezembro de 2021, p. 1-27.

PHILLIPS, J. D. Sychonization and scale in geomorphic systems. **Geomorphology**, n. 137, p. 150-158, 2012.

PHILLIPS, Jonathan D. **Sources of nonlinearity and complexity in geomorphic systems**. *Progress in physical geography*, v. 27, n. 1, p. 1-23, 2003.

PINTO, João Carlos Souza et al. Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba (CODEVASF). 2018.

PRIDDY, Charlotte L.; CLARKE, Stuart M. The sedimentology of an ephemeral fluvial–aeolian succession. *Sedimentology*, v. 67, n. 5, p. 2392-2425, 2020.

REZENDE, É. A., et al. A Influência Litológica nas Taxas de Denudação Geoquímica do Médio Espinhaço Meridional - MG. *Sociedade & Natureza*. Uberlândia, 22 (3): 503-514, dez. 2010.

REZENDE, Fábio dos Anjos. Utilização de Drones de pequeno porte como alternativa de baixo custo para realização de levantamentos topográficos. 2019.

RHEE, D.S.; DO KIM, Y.; KANG, B.; KIM, D. Applications of unmanned aerial vehicles in fluvial remote sensing: An overview of recent achievements. *KSCE Journal of Civil Engineering*, v. 22, n. 2, p. 588-602, 2018.

RITELA, A.; CUNHA, S. B. EMPREENDIMENTOS PARA A PRODUÇÃO DE ENERGIA: EFEITOS HIDROLÓGICOS NO ALTO RIO JAURU–MT. *REVISTA GEONORTE*, v. 5, n. 20, p. 275-280, 2014.

RODRIGUES, Jeferson Mauricio et al. **Modificações geomórficas nos estilos fluviais da bacia do alto curso do Rio Piranhas, semiárido paraibano**. 2021.

RODRIGUES, José Marcos Duarte; LIMA, Eduardo Rodrigues Viana. COMPARTIMENTAÇÃO GEOMORFOLÓGICA DO ALTO CURSO DO RIO PARAÍBA-PB. *REVISTA EQUADOR*, v. 9, n. 3, p. 100-120, 2020.

SÁ, I. B. et al. Processos de desertificação no Semiárido brasileiro. Embrapa Semiárido- Capítulo em livro científico (ALICE), 2010.

SACO, Patricia M. et al. Using hydrological connectivity to detect transitions and degradation thresholds: Applications to dryland systems. *Catena*, v. 186, p. 104354, 2020.

SALAMÍ, E.; BARRADO, C.; PASTOR, E. UAV flight experiments applied to the remote sensing of vegetated areas. *Remote Sensing*, v. 6, n. 11, p. 11051-11081, 2014

SALES, Vanda de Claudino. **Geografia, sistemas e análise ambiental: abordagem crítica**. *GEOUSP Espaço e Tempo (Online)*, v. 8, n. 2, p. 125-141, 2004.

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**, 24(6), 695-713. 2010.

SANTIAGO, M. M. et al. Análise da cobertura vegetal através dos índices de vegetação (NDVI, SAVI e IAF) no entorno da Barragem do Botafogo-PE. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR)**, v. 14, p. 3003-3009, 2009.

SANTOS, Edilton José dos et al. **Geologia e recursos minerais do Estado da Paraíba**. CPRM, 2002.

SANTOS, José Soares dos; OLIVEIRA, Elisabeth de; MASSARO, Sérgio. Avaliação da salinização de açudes no semi-árido brasileiro por ICP-AES. *Química nova*, v. 23, n. 4, p. 453-456, 2000.

SAYAGO, JOSÉ MANUEL. Morfoclimas y paleoformas en la evolución geomorfológica de la Sierra de Ancasti (Cuaternario Superior) Catamarca. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, v. 41, n. 1-2, p. 155-164, 1986.

SCHUMM, Stanley A. *The fluvial system*. Caldwell. 1977.

SHREFFLER, Jacob; HUECKER, Martin R. Exploratory data analysis: Frequencies, descriptive statistics, histograms, and boxplots. In: **StatPearls [Internet]**. StatPearls Publishing, 2023.

SILVA, G. R.. CARACTERÍSTICAS DE VENTO DA REGIÃO NORDESTE – Análise, Modelagem e Aplicações para Projetos de Centrais Eólicas. 2003. P. 141. Dissertação. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, agosto de 2003.

SILVA, G. R.. CARACTERÍSTICAS DE VENTO DA REGIÃO NORDESTE – Análise, Modelagem e Aplicações para Projetos de Centrais Eólicas. 2003. P. 141. Dissertação. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, agosto de 2003.

SILVA, Luiz Henrique Oliveira da. A influência do dipolo subtropical do Atlântico sul na dinâmica de ressurgência costeira ao longo das costas sudeste-sul do Brasil e sudoeste da África. 2020. Dissertação de Mestrado.

SIMÕES, RODRIGO SILVA et al. 507-METODOLOGIAS PARA COLETA E TRATAMENTO DE DADOS COSTEIROS USANDO DRONE. 2018.

- SINHA, Pammi et al. A new framework for integrated, holistic, and transparent evaluation of inter-basin water transfer schemes. *Science of The Total Environment*, v. 721, p. 137646, 2020.
- SOUZA, J. O. P.; ALMEIDA, J. D. M. Processos Fluviais em Terras Secas: uma revisão. **Revista OKARA: Geografia em debate**. v. 9, n. 1, p. 108-122, 2015.
- SOUZA, J. O. P.; CORRÊA, A. C. B. Escoamento superficial e balanço hídrico em ambientes secos com topografia complexa – bacia do riacho do Saco – Pernambuco. *GEOgraphia*, v. 21, n. 46, p. 106-119, 2019.
- STEVAUX, J. C.; LATRUBESSE, E. M. **Geomorfologia Fluvial**. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.
- 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, 2014.
- TAVARES, Kássio Samay Ribeiro; DE OLIVEIRA MENDES, Samuel; NETO, João Batista Ferreira. Geografia Física e a abordagem geossistêmica aplicada à estudos de suscetibilidade ambiental de bacias hidrográficas. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 15, n. 02, p. 634-649, 2022.
- THORNES, J. B.; BRUNSDEN, Denys. *Geomorphology and time*: London. **England, Methuen**, 1977.
- TINKHAM, Wade T.; SWAYZE, Neal C. Influence of Agisoft Metashape parameters on UAS structure from motion individual tree detection from canopy height models. **Forests**, v. 12, n. 2, p. 250, 2021.
- TÓTH, V.R. Monitoring spatial variability and temporal dynamics of Phragmites using unmanned aerial vehicles. *Frontiers in plant science*, v. 9, p. 728, 2018.
- TURNBULL, Laura et al. Connectivity and complex systems: learning from a multi-disciplinary perspective. *Applied Network Science*, v. 3, n. 1, p. 1-49, 2018.
- VENEZIANI, Yuri; RODRIGUES, Cleide; DA COSTA MANTOVANI, Juliana. Geomorfologia fluvial do baixo ribeira de iguape, são paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 20, n. 3, 2019.

VICENTE, Luiz Eduardo; PEREZ FILHO, Archimedez. **Abordagem sistêmica e Geografia**. Geografia, v. 28, n. 3, p. 323-344, 2003.

VIEIRA, V. P. P. B. Desafios da gestão integrada de recursos hídricos no semi-árido. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 8, n. 2, p. 7-17, 2003.

WANG, Jianqiao; PLINK-BJÖRKLUND, Piret. Stratigraphic complexity in fluvial fans: Lower Eocene Green River Formation, Uinta Basin, USA. *Basin Research*, v. 31, n. 5, p. 892-919, 2019.

WESCHENFELDER, Adriana Burin et al. Caracterização pluviométrica do município de Joinville, SC. 2021.

WHEATON, J. M.; FRYIRS, K. A.; BRIERLEY, G.; BANGEN, S. G.; BOUWES, N.; O'BRIEN, G. Geomorphic mapping and taxonomy of fluvial landforms. *Geomorphology*, v. 248, p. 273-295, 2015.

Xavier, R. A., da Conceição Dornellas, P., dos Santos Maciel, J., & do Bú, J. C. (2013). Caracterização do Regime fluvial da Bacia Hidrográfica do rio Paraíba–PB. *Revista Tamoios*, 8(2).

YAMAUCHI, Alfredo Kohiti Feres. Metodologia de mapeamento e identificação de espécies de macrófitas aquáticas com uso de vants. 2021.

ZANANDREA, Franciele. Índice de conectividade hidrossedimentológica para bacias montanhosas. 2020.

ZANANDREA, Franciele; KOBİYAMA, Masato; MICHEL, Gean Paulo. Conectividade Hidrossedimentológica: uma abordagem conceitual. *Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (22.: Florianópolis, 2017)*. Anais [recurso eletrônico]. [Porto Alegre: ABRH, 2017], 2017.

ZIMMER, Margaret A.; MCGLYNN, Brian L. Lateral, vertical, and longitudinal source area connectivity drive runoff and carbon export across watershed scales. *Water Resources Research*, v. 54, n. 3, p. 1576-1598, 2018.