



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA
DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS
BACHARELADO EM GEOGRAFIA

HELDER CAVALCANTE DE OLIVEIRA

IMPACTOS HIDROFÍSICOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO CURSO
DO RIO PARAÍBA FRENTE A SUA PERENIZAÇÃO

JOÃO PESSOA, PARAÍBA

2018

HELDER CAVALCANTE DE OLIVEIRA

**IMPACTOS HIDROFÍSICOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO CURSO
DO RIO PARAÍBA FRENTE A SUA PERENIZAÇÃO**

Monografia apresentada à coordenação do curso de Geografia na Universidade Federal da Paraíba, para a obtenção do grau de bacharel em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Jonas Otaviano Praça de Souza
Co-orientador: Prof. Dr. Bartolomeu Israel de Souza

JOÃO PESSOA, PARAÍBA

2018

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

048i Oliveira, Helder Cavalcante de.
Impactos hidrofísicos na bacia hidrográfica do alto curso do Rio Paraíba frente a sua perenização / Helder Cavalcante de Oliveira. - João Pessoa, 2018.
103 f. : il.

Orientação: Jonas Otaviano Praça de Souza.
Coorientação: Bartolomeu Israel de Souza.
Monografia (Graduação) - UFPB/CCEN.

1. Semiárido. 2. Geomorfologia fluvial. 3. Hidrogeomorfologia. 4. Perenização. 5. Transposição. 6. Rio Paraíba. I. Souza, Jonas Otaviano Praça de. II. Souza, Bartolomeu Israel de. III. Título.

UFPB/CCEN



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA
COORDENAÇÃO DOS CURSOS DE GEOGRAFIA

Resolução N.04/2016/CCG/CCEN/UFPB

PARECER DO TCC

Tendo em vista que o aluno (a)

HELDER CAVALCANTE DE OLIVEIRA
(X) cumpriu () não cumpriu os itens da avaliação do TCC previstos no artigo 25º da
Resolução N. 04/2016/CCG/CCEN/UFPB somos de parecer (X) favorável ()
desfavorável à aprovação do TCC intitulado:

IMPACTOS HIDROFÍSICOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO CURSO DO RIO
PARAIBA FRENTE A SUA BARRAGEM

Nota final obtida: 9,8

João Pessoa, 06 de JUNHO de 2018.

BANCA EXAMINADORA:

[Assinatura]
Professor Orientador

[Assinatura]
Professor Co-Orientador (Caso exista)

[Assinatura]
Membro Interno Obrigatório (Professor vinculado ao Curso)

[Assinatura]
Membro Interno ou Externo

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus pelas oportunidades que me foram concedidas. Por ter tido força apesar dos momentos de dificuldade e desespero, e a razão ter sobressaído no fim das contas.

Agradeço a minha família, por sempre ter me apoiado nas minhas decisões, sempre ter me dado suporte e investido no meu futuro, ter formado meu caráter e sempre ter me estimulado a estudar e ampliar meus horizontes, seja na vida pessoal, acadêmica ou profissional. A minha mãe, a mulher mais forte que eu conheci, minha amiga, minha maior companhia de vida. Aos meus avós, Marlene e Roberto, meus grandes exemplos de caráter, simplicidade, honestidade e companheirismo.

Aos meus orientadores, mentores intelectuais e amigos, pelos quais nutro grande admiração profissional e pessoal, Jonas Souza e Bartolomeu Souza, por sempre terem confiado e acreditado no meu potencial, terem sido a raiz da minha formação acadêmica e diariamente me motivarem, sempre me estimulando a buscar mais, estudar mais, aprender e ter sede por conhecimento.

De antemão, aos professores Rafael Xavier e Eduardo Viana, membros da banca, por se disporem a avaliar e contribuir na correção deste e de futuros trabalhos, bem como no amadurecimento intelectual do autor.

Aos professores do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental (DECA), que se dispuseram a me ajudar quanto aos equipamentos e técnicas da hidráulica, em especial a Ronildo Alencar e ao técnico Edilson, do LEHNS. Também aos professores Hamilcar Filgueira, do LARHENA, que me indicou a quem recorrer e a Cristiano Almeida, que me disponibilizou a planilha MolinX e as leituras auxiliares.

Aos professores com vínculo direto ou indireto na execução do trabalho, auxiliando quanto as literaturas e aquisição de dados, permitindo ampliar as discussões nos temas acerca do comportamento fluvial e da paisagem na área de estudo: novamente ao professor Rafael Xavier, Rony Lunguinho, José João Lelis, Rubens Queiroz, Daisy Lucena e Pedro Viana.

Aos professores Gary Brierley e Kirstie Fryirs, pelo workshop de geomorfologia fluvial que ministraram na UFPE, uma oportunidade única que foi essencial na minha formação acadêmica e na ampliação da minha perspectiva acerca dos estudos de sistemas fluviais.

A alguns dos professores responsáveis pelo meu crescimento intelectual, ampliação do aporte técnico quanto práticas de campo ou geoprocessamento, bem como do aprofundamento de discussões de cunho geográfico: Lucas Cavalcanti, Magno Erasto e, novamente, ao professor Eduardo Viana.

Vale ressaltar que cada mapa deste trabalho foi revisado (ou ao menos tentou-se) conforme as diretrizes criteriosas e ensinamentos da professora Camila Cunico, com quem aprendi muito sobre cartografia e organização dos meus trabalhos.

A todo o suporte dos responsáveis por frequentemente disponibilizarem alojamento, ou nos ajudarem na alimentação e deslocamento durante os trabalhos de campo: em Cabaceiras (dona Madalena, dona Ana e dona Edilma), em São Domingos do Cariri (dona Altina), em Caraúbas (professora Gracilene) e em São João do Tigre (Elissandro, dona Rosinha, sr. Adriano), o que sempre nos faz uma enorme diferença e possibilita trabalhos bem menos dispendiosos e exaustivos.

Um agradecimento especial a três ombros amigos, que tiveram contribuição essencial, do começo ao fim deste trabalho, seja quanto a apoio emocional ou com ajuda direta na aquisição dos dados: Maressa Lopes, Stéphanie Lima e Eini Celly, amigas e companheiras de todas as horas.

Àqueles amigos que se dispuseram a me dar todo um apoio emocional e se preocuparam com minha saúde e ansiedade durante a realização deste trabalho: Christianne Farias, Yasmin Guimarães, Elloise Rackel e Felipe Farias.

Agradecimento quanto aos colegas da geografia que tive a oportunidade construir amizades, as quais vão além dos muros da universidade e que, além do grande companheirismo e apoio de sempre, se dispuseram a me ajudar na execução dos resultados e discussões pós-campo: André Trigueiro, Fábio Vitorino, Alisson Santos, Aderson Stanley, Joseilson Ramos, Thiago Farias e Paulo Sérgio.

Aos colegas que participaram e contribuíram na execução do trabalho de campo, mostrando exemplo de cooperação profissional e disposição: Jônatas Oliveira, Kênia Karoline, Leonardo Martins.

Aos demais colegas do Grupo de Estudos em Ambientes Fluviais Semiáridos (GEAFS) e do Grupo de Estudos do Semiárido (GESA), em especial Jeferson Maurício, Ramon Santos, Jerônimo Nascimento, Leandro Félix e Pedro Alcântara.

Aos colegas de turma e aos demais colegas de curso, em especial Wendell Araújo, Vinícius Genuíno, Matheus Araújo, Sérgio Leandro, Letícia Ramos e Brenna Conceição, os quais tenho enorme apreço e admiração.

Aos meus queridos amigos, que sempre me dão muita força e muito apoio, seja nas conversas sem sentido ou nos momentos de seriedade: Victor Spencer, João Jorge Evangelista, Helcius Cabral, Julia Caju, André Alencar, Gustavo Moura, Francisco Araújo, João Ricardo, José Victor, Giovanna Colaço, Gabriel Abrantes e João Pedro Lima.

A todos que foram e aos que não foram aqui citados, o meu muito obrigado.

Saruman acredita que apenas um grande poder é capaz de manter o mal sob controle. Mas não foi isso que descobri. Eu descobri que são as pequenas coisas, os feitos diários de pessoas comuns, que mantêm o mal afastado. Simples atos de bondade e amor.

(Gandalf, em O Hobbit: Uma Jornada Inesperada)

RESUMO

A transposição do Rio São Francisco e perenização do eixo leste, no qual o Rio Paraíba se insere, consiste em uma medida governamental de combate à seca, a qual também gera uma discussão muito mais ampla quanto aos impactos diretos e indiretos ao sistema fluvial. Devido à falta de estudos acerca da possível degradação por recepção das águas da transposição, este trabalho propõe uma análise dos impactos de natureza hidrossedimentológica, ou hidrofísicos, os quais o canal principal do alto curso do Rio Paraíba tem sofrido. Os procedimentos realizados no trabalho de campo para as propostas das análises consistiram na coleta de campo quanto a dados de topografia e velocidade dos trechos anteriormente escolhidos, com base na caracterização de Estilos Fluviais anteriormente realizada por Santos (2017) nesta área de estudo. Foram utilizados dados de precipitação e vazão para confirmar o comportamento e as mudanças fluviais, bem como imagens de satélite e fotos registradas durante diferentes datas de visita a campo. Considerando a complexidade de avaliar os processos fluviais, os resultados indicaram diferentes processos de natureza hidrossedimentológica na bacia, indicando uma modificação no balanço sedimentológico, em função da tentativa de adaptação dos canais intermitentes ao novo regime, perene. Nos pontos avaliados, foi possível observar indícios de diferentes processos de natureza geomorfológica no canal, como a formação de ilhas por expansão de barras arenosas e estabilização devido a vegetação, além de deflexão da massa d'água por obstrução antrópica do seu fluxo, entalhamento e erosão marginal. Interpretados os dados, foram inferidos possíveis cenários evolutivos visto o prolongamento das modificações nos pontos analisados e nos trechos à jusante, indicando altas e constantes taxas de sedimentação, podendo indicar assoreamento e perda de vida útil dos reservatórios à jusante, bem como de capacidade e competência de fluxo no canal principal.

Palavras-chave: Semiárido; geomorfologia fluvial; hidrogeomorfologia; perenização; transposição

ABSTRACT

The transposition of the São Francisco River and perenization to its east axis, in which the Paraíba River forms part, is a governmental measure to combat drought, which also generates a much wider discussion about the direct and indirect impacts to the river system. Due to the lack of studies about the possible degradation by reception of São Francisco River waters, this work proposes an analysis, based on hydrographic basin framework, of hydrosedimentological or hydrophysical impacts, which the main course of the Paraíba River has suffered. The procedures performed in field work for the analysis proposals consisted of data collection on the topography and velocity data of the previously selected stretches, based on the River Styles characterization previously performed by Santos (2017) in this study area. There were used precipitation and flow data to confirm river behavior and changes, as well as satellite images and recorded photos during different dates of field visit. Considering the complexity of evaluating river processes, the results indicated different processes of hydrosedimentological nature in the basin, indicating a modification in the sedimentological balance, due to the attempt to adapt the intermittent channels to the new, perennial regime. In the evaluated points, it was possible to observe evidences of differing of geomorphological nature processes in the channel, such as the formation of islands by expansion of sand bars and stabilization due to vegetation, besides deflection of water mass by antropic obstruction of its flow, lateral and vertical erosion. Interpreting the data, possible evolutionary scenarios were inferred considering the prolongation of the modifications in the analyzed points and in downstream sections, indicating high and constant sedimentation rates, being able to indicate silting and loss of useful life of the reservoirs downstream, as well as stream capacity and competence of the main channel.

Keywords: Semiarid; river geomorphology; hydrogeomorphology; perenization; transposition

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de Localização do Alto Curso do Rio Paraíba.....	37
Figura 2 - Mapa geológico do Alto Curso do Rio Paraíba.....	38
Figura 3 - Mapa hidrográfico do Alto Curso do Rio Paraíba (adaptado de Santos, 2017).....	39
Figura 4 - Mapa de declividade, isolinhas de precipitação média anual e classes de solos do Alto Curso do Rio Paraíba.	40
Figura 5 - Mapa de compartimentos geomorfológicos do Alto Curso do Rio Paraíba. Fonte: Santos, 2017.	42
Figura 6 - Mapa de vegetação do Alto Curso do Rio Paraíba. Fonte: Santos, 2017.	45
Figura 7 - Mapa de Estilos Fluviais do Alto Curso do Rio Paraíba (adaptado de Santos, 2017).46	
Figura 8 - Micromolinete C2, da OTT e hélice de tamanho 2.	53
Figura 9 - Medições da topografia com estação total.....	54
Figura 10 - Medições da velocidade com micromolinete.	54
Figura 11 - Micromolinete montado.	56
Figura 12 - Ficha auxiliar de campo.....	57
Figura 13 - Mapa de localização dos levantamentos em campo.	62
Figura 14 - Hidrograma do município de Caraúbas no ano de 2004.....	63
Figura 15 - Hidrograma do município de Caraúbas no ano de 2008.....	63
Figura 16 - Hidrograma do município de Caraúbas nos meses de janeiro a maio de 2004.	64
Figura 17 – Hidrograma do município de Caraúbas nos meses de janeiro a maio de 2008.....	65
Figura 18 - Hidrograma do município de Caraúbas nos anos de 2017 e 2018.....	66
Figura 19 - Hidrogramas do município de Monteiro nos anos de 2017 e 2018.	67
Figura 20 - Canal Não Confinado com Barras Arenosas (CNCBA), Cabaceiras (PB). Fonte: Santos, 2017.....	69
Figura 21 - Canal Não Confinado com Barras Arenosas (CNCBA), Cabaceiras (PB).....	69
Figura 22 - Seção transversal de planície de inundação, canal e barra arenosa em Canal Não Confinado com Barras Arenosas (CNCBA).	70
Figura 23 - Canal Semiconfinado com Ilhas de Vegetação (CSIV), São Domingos do Cariri (PB). Fonte: Santos, 2017.....	71
Figura 24 - Ponte em construção em Canal Semiconfinado com Ilhas de Vegetação (CSIV), São Domingos do Cariri (PB).	71
Figura 25 - Desvio e concentração de fluxo a partir da construção da passagem de pedra, São Domingos do Cariri (PB).	72
Figura 26 - Formação de ilhas no canal, São Domingos do Cariri (PB).	72

Figura 27 - Seção transversal de Canal Semiconfinado com Ilhas de Vegetação (CSIV).	73
Figura 28 - Canal Não Confinado com Barra Arenosa (CNCBA), Camalaú, (PB).	74
Figura 29 - Seção transversal da planície de inundação, canal e dique marginal em Canal Não Confinado com Barra Arenosa (CNCBA).....	75
Figura 30 - Planta do Canal Confinado com Leito Rochoso (CCLR), Caraúbas (PB). Fonte: Santos, 2017.	76
Figura 31 - Canal Confinado com Leito Rochoso (CCLR), Caraúbas (PB).	76
Figura 32 - Canal Confinado com Leito Rochoso (CCLR), Caraúbas (PB).	77
Figura 33 - Planta do Canal Semiconfinado com Leito Cascalho-Rochoso (CSLCR), Monteiro (PB). Fonte: Santos, 2017.	78
Figura 34 - Canal Semiconfinado com Leito Cascalho-Rochoso (CSLCR), Monteiro (PB). Fonte: Santos, 2017.	78
Figura 35 - Barras de cascalho em canal semiconfinado, Monteiro (PB). Fonte: Santos, 2017.	79
Figura 36 - Entrada das águas do rio São Francisco no alto curso do Rio Paraíba, Monteiro (PB). Fonte: O autor, 2017.	79
Figura 37 - Distribuição das velocidades no estilo de CNCBA (Cabaceiras), por isótacas (m/s^{-1}), energia cinética (J), por desvio padrão e quantil, e topografia do canal.	80
Figura 38 - Distribuição das velocidades no estilo de CSIV, por isótacas (m/s^{-1}), energia cinética (J), por desvio padrão e quantil, e topografia do canal.....	81
Figura 39 - Distribuição das velocidades no estilo de CNCBA (Camalaú), por isótacas (m/s^{-1}), energia cinética (J), por desvio padrão e quantil, e topografia do canal.	83
Figura 40 - Evidências das modificações em CNCBA (Cabaceiras). Fonte: Santos, 2017; o autor, 2018.....	85
Figura 41 - Evidências das modificações em CSIV. Fonte: Santos, 2017; o autor, 2018.	86
Figura 42 - Evidências das modificações em CNCBA (Camalaú). Fonte: Santos, 2017; o autor, 2018.....	87
Figura 43 - Evidências das modificações em CCLR. Fonte: Santos, 2017; o autor, 2018.....	88
Figura 44 - Fluxograma de diversidade hidrológica, contrastando input, throughput (taxa de transmissão) , output (descarga) e características dos canais em diferentes condições climáticas. Adaptado de Bull e Kirkby, 2002; Fryirs e Brierley, 2013.	90
Figura 45 - Trecho desviado no Açude Camalaú (PB).	91
Figura 46 - Escavação do trecho desviado do Açude Camalaú (PB).....	92

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Matriz de informações sobre CNCBA. Fonte: Santos, 2017.	47
Quadro 2 - Matriz de informações sobre CSIV. Fonte: Santos, 2017.	48
Quadro 3 - Matriz de informações sobre CCLR. Fonte: Santos, 2017.	49
Quadro 4 - Matriz de informações sobre CSLCR. Fonte: Santos, 2017.	51

LISTA DE SIGLAS

AESA – Agência Executiva de Gestão das Águas

ANA – Agência Nacional de Águas

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

CCLR – Canal Confinado com Leito Rochoso

CCM – Complexo Convectivo de Mesoescala

CNCBA – Canal Não Confinado com Barras Arenosas

CSIV – Canal Semiconfinado com Ilhas de Vegetação

CSLCR – Canal Semiconfinado com Leito Cascalho-Rochoso

EIA – Estudo de Impacto Ambiental

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

ENOS – El Niño-Oscilação Sul

GPS – Sistema de Posicionamento Global

MDE – Modelo Digital de Elevação

PCD – Plataforma de Coleta de Dados

PISF – Projeto de Integração do São Francisco

RIMA – Relatório de Impacto Ambiental

SIG – Sistema de Informação Geográfica

SRTM – Shuttle Radar Topography Mission

VCAS – Vórtice Ciclônico de Atmosfera Superior

ZCIT – Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE QUADROS	xii
LISTA DE SIGLAS	xiii
SUMÁRIO	xiv
1. INTRODUÇÃO	15
2. OBJETIVOS	17
2.1 OBJETIVO GERAL	17
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
3.1 Dinâmica Geoambiental das Paisagens Semiáridas	18
3.2 Hidrologia no Semiárido	26
3.3 Modificações Antrópicas no Regime Hidrológico	32
4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	37
4.1 Estilos Fluviais do Alto Curso do Rio Paraíba	45
5. MATERIAIS E MÉTODOS	52
5.1 Coleta de dados em campo	52
5.2 Organização e tratamento dos dados	57
5.3 Interpretação dos dados levantados	59
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES	62
6.1 Hidrologia: respostas da relação precipitação-vazão	63
6.2 Apresentação dos pontos trabalhados por Estilo Fluvial	68
6.3 Dados hidrológicos medidos: variação de velocidade na seção lateral	80
6.4 Cenários atuais, futuros e inferências quanto aos impactos hidrofísicos frente as mudanças no regime hidrológico	83
CONSIDERAÇÕES FINAIS	95
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	97

1. INTRODUÇÃO

Considerando as particularidades físico-naturais no semiárido nordestino, o estresse hídrico e escassez de recursos hídricos, a população que reside na região vivencia constantes dificuldades quanto a disponibilidade e uso desse recurso. Frente a essas adversidades, existem formas tanto de combate quanto convivência com a seca, que tratam de oferecer vias alternativas para a aquisição de recursos hídricos, mesmo com o déficit hídrico proporcionado pelas condições climáticas. A perenização da Bacia do Alto Curso do Rio Paraíba consiste em uma tentativa de combate à seca, por meio de alocar recursos hídricos da Bacia do Rio São Francisco e proporcionar melhores condições de acesso a água para o abastecimento da região. Esta proposta, apesar de oferecer benefícios à população e a economia local, provoca mudanças no regime hidrológico, que por sua vez condicionam modificações ambientais até então não estudadas.

A execução do trabalho em questão buscou oferecer contribuições na avaliação de mudança no sistema ambiental a partir da obra de perenização e melhor compreensão da adaptação de comportamento de um sistema fluvial em ambiente semiárido, este outrora adaptado às condições intermitentes e efêmeras, e a partir de então, diante de um fluxo hidrossedimentológico constante, apresentando uma vazão e transmissão de energia as quais a morfologia do sistema não é adaptada e que potencializa os impactos e mudanças. Ao compreender de forma mais clara o comportamento fluvial e suas variáveis, e, por conseguinte, do sistema ambiental físico em que se insere, foi possível identificar os atuais e futuros impactos ambientais que a própria execução da obra tendem a causar, assim possibilitando medidas corretivas frente às áreas mais impactadas e preventivas/conservacionistas naquelas em que os distúrbios mostram tendência a progredir com o passar do tempo.

Seguindo a caracterização dos estilos fluviais da área de estudo proposta por Santos (2017) e considerando a área do canal e a distribuição da velocidade do fluxo, foi possível correlacionar este atributo hidráulico com a modificação dos canais de acordo com a sensibilidade. Dividindo por áreas homogêneas, a noção de sensibilidade permite avaliar de forma mais descritiva possível e compreender a produção de respostas sensíveis dentro do sistema fluvial. Assim, considerando a vazão por trechos com diferentes níveis de sensibilidade, foi possível inferir quanto aos danos ambientais de natureza antrópica e processos naturais no decorrer do tempo, gerando informações referentes aos possíveis

cenários criados dentro de uma paisagem de acordo com a manifestação de um sistema geomorfológico.

Ao compreender o comportamento fluvial do trecho abordado, será possível estimar as respostas do sistema em estado de adaptação às novas condições ambientais frente aos eventos chuvosos de alta magnitude, estes sendo os principais responsáveis pela morfogênese nas paisagens de ambientes semiáridos (CORRÊA, 2011). Com isso, na análise sistêmica da hidrossedimentologia, a qual traz à tona o sistema fluvial, responsável pela consolidação dos atributos relacionados à bacia hidrográfica no que diz respeito aos processos de produção, transporte e sedimentação (SCHUMM, 1977), se insere na geomorfologia com o objetivo de elucidar problemáticas ambientais referentes à identificação de processos erosivos na paisagem, assim permitindo pontuar possíveis impactos ambientais de origem natural ou antrópica.

Visto a necessidade de estudos voltados para a gestão de recursos hídricos no semiárido, o trabalho em questão buscou, por se situar em uma problemática recente e de interesse social e acadêmico, demonstrar como a perenização de um canal de comportamento intermitente pode modificar a dinâmica natural, permitindo trazer à tona metodologias da geomorfologia fluvial as quais propõem identificação de possíveis impactos ambientais em ambiente fluvial. Além disso, avaliando como poderão se portar essas modificações, demonstrar a importância desses estudos visto que podem afetar positiva ou negativamente as populações em contato direto e indireto com o trecho perenizado.

Assim, a relevância do estudo se encontra na potencialização do uso dos recursos naturais de modo que possibilite a inferência de usos adequados de acordo com o trecho fluvial analisado, considerando as condições físicas em que se insere e permitindo formas de gestão eficientes de acordo com a disponibilidade e vulnerabilidade dos recursos. Por buscar inserir a discussão em ambiente semiárido, o trabalho buscou considerar outras obras de transposição de rios e perenização no mundo, principalmente em condições ambientais similares às observadas, ampliando o debate acerca da temática hidrossedimentológica e, desta forma, por analogia aos parâmetros e resultados desses estudos, inferir sobre o comportamento do sistema fluvial frente às intervenções.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O trabalho em questão visa analisar as transformações hidrogeomorfológicas no canal principal do alto curso do Rio Paraíba utilizando estilos fluviais e sensibilidade da paisagem, correlacionando com a perenização do referido rio.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar o comportamento hidrológico antes e depois da perenização
- Identificar as isovelocidades de fluxo por estilo fluvial
- Pontuar os possíveis impactos diante da modificação do regime hidrológico por estilo fluvial

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Dentro do seu referencial teórico, o trabalho em questão toma como alicerce principal a dinâmica ambiental através de viés sistêmico. Assim sendo, há a necessidade de utilização de informações a respeito da condição local a qual o sistema está inserido de forma que descreva detalhadamente a participação de cada um dos elementos e suas interações dentro do sistema.

3.1 Dinâmica Geoambiental das Paisagens Semiáridas

De acordo com a evolução da ciência como um todo e mudança de paradigma vigente, foram sendo renovados os métodos e princípios adotados pelas ciências, como a teoria do caos e os sistemas complexos, oriundos das ciências exatas e compartilhados com outras áreas do conhecimento. Dentro do contexto da Geografia, a perspectiva sistêmica se consolida a partir da metade do século XX, quando então obteve ampla aceitação no campo da ciência moderna e conseqüentemente, na ciência geográfica (VICENTE e PEREZ FILHO, 2003).

A partir da evolução e permutação das abordagens filosóficas, foi conferida uma nova identidade e novas reflexões à Geografia, visto que o viés mecanicista, reducionista e linear, até então vigente e não suficiente à nova realidade, foi substituído pelo viés do dinamismo, complexidade e auto-organização do que então seriam denominados de sistemas complexos (GOMES e VITTE, 2010). Os elementos desses sistemas foram tidos como irreduzíveis, visto que por interagirem com os outros elementos dentro dos sistemas, não podem ser avaliados individualmente. Com a fuga da indução e do reducionismo, de tradição positivista, foi cada vez maior a incorporação do método dedutivo e utilização da visão de complexidade e holismo através da integração dos elementos e estudo das inter-relações dos processos na paisagem (AMORIM, 2012).

Quanto às diferentes propostas metodológicas acerca da abordagem sistêmica na Geografia, o trabalho em questão adota a abordagem de Christofolletti (1999), dentro da qual o Sistema Ambiental Físico representa a integração da perspectiva geossistêmica, proposta por Sotchava (1977), com a perspectiva ecológica (TROLL, 1997). Assim, o Sistema Ambiental Físico retrata a interação dos fatores bióticos e abióticos, representados pelos elementos ecológicos e físicos, respectivamente, bem como

considerando a influência antropogenética na dinâmica do que o autor retrata como uma entidade organizada.

Na estrutura básica dos sistemas, como retratado por Bertalanffy (1950) na Teoria Geral dos Sistemas, os mesmos são descritos como um complexo de elementos em interação, os quais produzem respostas de acordo com princípios lógicos da física e matemática. Partindo dessa definição, Christofolletti (1999) aponta componentes essenciais para o funcionamento do sistema, bem como mecanismos atrelados ao seu funcionamento, o qual será único para cada sistema avaliado. Dentro dessa organização, os sistemas são compostos de matéria, a qual é definida como os elementos que o compõem e são mobilizados dentro do sistema; de estrutura, responsável pela inter-relação e articulação entre os elementos; e de energia, sendo a força motriz responsável pelo funcionamento e pelo modo que o sistema produz respostas. Em função do caráter não-linear dos sistemas, um dos principais mecanismos que os compõem é a retroalimentação, responsável por modificações secundárias dentro do sistema.

Por se situar na lógica de sistemas abertos, em que há a troca de energia e matéria com o ambiente circundante em função do tempo (STRAHLER, 1952), e utilizando a bacia hidrográfica como recorte espacial, é visto que esta tem a capacidade de abarcar o sistema físico dinâmico a partir da integração da drenagem com o meio físico, biótico e social (CHRISTOFOLETTI, 1980). Ao propor a abordagem de bacia hidrográfica como um sistema, Schumm (1977) retrata sua capacidade de integração dos elementos referentes à dinâmica hidrológica, sedimentológica e geomorfológica. Assim sendo, o sistema se compõe do domínio das encostas e do domínio fluvial, representando os diferentes processos de natureza hidrogeomorfológica (COELHO NETTO, 2009), bem como as diferentes forças atuantes sobre o sistema, sendo elas de ordem climática, tectônica e gravitacional.

A necessidade dos estudos acerca do comportamento fluvial para o auxílio no planejamento e gestão dos recursos hídricos é motivado em função da grande dependência da água em todos os setores da economia e atividades sociais (DI MAURO, ROSOLEN e FERREIRA, 2012), assim sendo latente a necessidade da abordagem sistêmica para o comportamento dos rios. Desse modo, a referida análise pode oferecer benefícios para o gerenciamento, visto que são frequentes as problemáticas relacionadas a problemas ambientais em sistemas fluviais, principalmente em função do negligenciamento dos estudos hidrossedimentológicos em função de análises exclusivamente hidrológicas (CHRISTOFOLETTI, 1999). Estruturando esta visão, o autor aponta o fluxo e o material

sedimentar como os principais componentes na estruturação do canal fluvial, assim associando a drenagem e o movimento da água no relevo com a produção de sedimentos.

Partindo da utilização de dados referentes ao sistema fluvial, o qual se caracteriza pela consolidação dos atributos referentes à bacia hidrográfica no que diz respeito a sua produção, transporte e deposição de sedimentos (SCHUMM, 1977; SOUZA, 2013), bem como seus aspectos físicos e sua interação com as atividades antrópicas, é possível avaliar as condições locais de acordo com diferentes percepções sobre os elementos da área estudada. Assim sendo, há a necessidade de utilização de informações a respeito da condição local a qual o sistema está inserido de forma que descreva detalhadamente a participação de cada um dos elementos e suas interações dentro do sistema.

A abordagem de sistemas fluviais perpassa a ideia de estado de equilíbrio na geomorfologia, definido por Marques (2009, p. 33) como: “um ajustamento contínuo entre o componente do processo e as formas resultantes visto em diferentes escalas”, mais precisamente dentro do conceito de equilíbrio dinâmico (CHRISTOFOLETTI, 1999).

Partindo da estabilidade, a qual é descrita como a organização ajustada de um sistema diante da influência dos fatores a ele externos, é possível identificar o equilíbrio dinâmico de um sistema (CHRISTOFOLETTI, 1999; MARQUES, 2009). Sendo esse produto da interação entre a resistência e a resiliência do mesmo de forma que por recepção de influências do ambiente externo, essas sejam absorvidas pelo sistema por seus mecanismos internos, assim fazendo com que não altere drasticamente a sua estrutura/funcionamento.

Dentro de um sistema fluvial, o equilíbrio dinâmico é retratado no “equacionamento entre importação e exportação de energia e matéria no sistema” (CHRISTOFOLETTI, 1980, p. 98), considerando a sua capacidade de auto regulação por meio da absorção de mudanças e preservação das funções do sistema dentro de uma escala espaço-temporal.

O sistema fluvial, por se referir a zona fonte de sedimentos, rede de transporte e sítios de deposição (SCHUMM, 1977; SOUZA, 2014), requer compreensão dos eventos de precipitação, os quais são pontuados como fator-controle na bacia de drenagem, definindo a natureza e magnitude do trabalho geomorfológico (COELHO NETTO, 2009). Assim sendo, é essencial a compreensão da dinâmica do ciclo hidrológico na bacia de drenagem, visto como o elemento controlador da dinâmica fluvial.

Sendo o principal controlador do comportamento fluvial, a dinâmica do ciclo hidrológico é determinada em função do clima, relevante através do regime pluviométrico

que a bacia hidrográfica é abastecida de acordo com a intensidade, frequência e duração das precipitações (BERTONI e TUCCI, 1997). A precipitação funciona como um *input* de água/energia na paisagem (LUDWIG et al, 2005), interagindo com as demais condições físicas locais. Essas interações definem as taxas de infiltração e de escoamento, controlando os processos geomorfológicos e a dinâmica fluvial (BIGARELLA, SUGUIO e BECKER, 1979; COELHO NETTO, 2009).

Entende-se por escoamento superficial o deslocamento da água em superfície a partir da saturação do solo (TUCCI, 1997; GUERRA e CUNHA, 2009; FRYIRS e BRIERLEY, 2013). Durante sua ocorrência, o excedente de água no solo, controlado pela sua capacidade de infiltração, desloca a água e partículas do solo da vertente em direção ao canal.

Em ambientes semiáridos, o escoamento superficial é o principal processo controlador da dinâmica hidrossedimentológica, visto que delimita o trabalho em um sistema fluvial quanto aos processos referentes à forma e mudança nos canais em resposta ao transporte de sedimentos (GRAF, 1988; REANEY, BRACKEN e KIRKBY, 2013). Quando a intensidade da precipitação excede a velocidade de infiltração da água no solo, tem-se o fluxo superficial hortoniano, o qual é o processo de escoamento predominante nesses ambientes, devido à alta intensidade de precipitação dos ambientes semiáridos, bem como do desenvolvimento incipiente dos solos e cobertura vegetal esparsa (TRICART e CAILLEUX, 1969; TOOTH, 2000; BRACKEN e CROKE, 2007; FRYIRS e BRIERLEY, 2013).

A capacidade de infiltração, por sua vez, consiste na relação entre porosidade, textura, espessura, uso do solo e a atividade biológica, delimitando o deslocamento da água através do solo de acordo com o estado em que nele se encontra (FRYIRS e BRIERLEY, 2013). Referente a atributos químicos e físicos, a infiltração responde à capacidade de adsorção dos compostos e do tipo de agregados presentes no solo (BRADY e WEIL, 2013). A influência de elementos como estrutura geológica, relevo e biota delimita o movimento da água, podendo esta escoar superficialmente em direção aos corpos hídricos, infiltrar ou sofrer processo de evapotranspiração (COELHO NETTO, 2009).

A vegetação apresenta uma importância fundamental na hidrologia dos ambientes semiáridos, visto que oferece resistência ao solo frente aos processos erosivos por obstrução e retenção dos fluxos superficiais de água, sedimentos e nutrientes entre as áreas de escoamento em função da sua estrutura e distribuição no espaço (ROGERS e

SCHUMM, 1991; LUDWIG et al, 2005; SEYFRIED et al, 2005). A retenção desses fluxos superficiais se dá principalmente a partir das manchas de vegetação com densidade suficiente de troncos e biomassa, os quais reduzem a velocidade da água no solo e acumulam sedimentos e serrapilheira, contribuindo assim para a absorção de água no solo.

A vegetação também contribui na infiltração da água no solo a partir da penetração das raízes e aumento dos espaços porosos, de acordo com o tipo de sistema radicular das espécies, e interceptação da água da chuva pelas folhas, reduzindo o impacto do salpicamento da chuva (efeito *splash*), efeito este que promove redução da permeabilidade superficial por selamento do solo (HOWES e ABRAHAMS, 2003; GUERRA, 2009; FRYIRS e BRIERLEY, 2013; BRADY e WEIL, 2013). As espécies herbáceas possuem importância significativa quanto ao escoamento superficial não só na redução do efeito *splash*, mas no aumento da macroporosidade e rugosidade do solo, promovendo o aumento da infiltração e obstrução/captura do escoamento superficial (LUDWIG et al, 2005). Nos períodos de seca, elas entram em dormência ou morrem rapidamente, deixando o solo exposto e gerando escoamento até nos eventos chuvosos de menor intensidade (THOMAS, 2011; SOUZA, QUEIROZ e CARDOSO, 2015) devido a serem muito sensíveis a irregularidade das chuvas.

Em ambientes de clima seco, em função da predominância de vegetação esparsa e irregular, bem como da caducifolia, dos períodos prolongados de estiagem seguidos por alta intensidade dos eventos de precipitação e da baixa capacidade de infiltração dos solos, em geral o escoamento superficial predomina em detrimento da infiltração (TRICART e CAILLEUX, 1969; TOOTH, 2000).

Havendo a infiltração da água no solo, seu destino poderá ser: percolar em direção ao reservatório subterrâneo, deslocar lateralmente através do fluxo de base e compor o fluxo canalizado, ser absorvida pelas plantas ou retornar a atmosfera por evapotranspiração (BIGARELLA, SUGUIO e BECKER, 1979; COELHO NETTO, 2009).

Observada a partir de grandezas escalares, o recorte espacial delimita a extensão dos processos fluviais na paisagem (PIZZUTO, 2011; FRYIRS e BRIERLEY, 2013), ao mesmo tempo que o contexto regional condiciona características locais, como posicionamento do relevo, estrutura e tipos de processos morfogênicos atuantes (BARROS, SOUZA e CORRÊA, 2010).

Dentre as variadas definições do conceito de paisagem no contexto da Geografia, cada uma delas referentes às distintas tradições do pensamento geográfico (CAVALCANTI, 2014), as premissas do trabalho em questão abordam o conceito de paisagem proposto por Brierley (2010) e Fryirs e Brierley (2013), que a consideram como uma impressão histórica do passado em termos de influências de natureza geológica, climática e antropogênica, condicionando os processos que está sujeita e a sua dinâmica atual. Nessa perspectiva, a paisagem é concebida através de um caráter dinâmico, em que nela é constante a troca de energia e matéria e onde suas inter-relações convergem na busca de um estado de equilíbrio ideal (GILBERT apud BRACKEN e WAINWRIGHT, 2006).

Assim sendo, avaliando e caracterizando a homogeneidade dos compartimentos da paisagem, é possível aplicar o zoneamento ambiental, o qual por oferecer subsídio ao planejamento ambiental, constitui uma ferramenta essencial à gestão territorial (ROSS, 2009).

Quanto ao zoneamento avaliando a diversidade fluvial, a partir do *continuum* fluvial é proposta a análise da evolução das formas do rio no seu perfil longitudinal, dando base à classificação morfológica de canais proposta por Brierley e Fryirs (2000; 2005), denominada estilos fluviais (*river styles*), a qual é relevante ao planejamento ambiental por avaliar o potencial de conservação e recuperação dos rios (FRYIRS e BRIERLEY, 2000; 2013; LIMA e MARÇAL, 2013). Através dessa proposta, é possível inferir quanto as possíveis modificações futuras nos canais tomando por base o estado atual do ambiente fluvial (BRIERLEY, 2002).

A partir dos estilos fluviais, é feita a classificação de segmentos do rio através do conjunto dos seus atributos pela inter-relação dos fenômenos dentro dos compartimentos da bacia seguindo uma ordem hierárquica, destacando o seu comportamento e fornecendo informações básicas quanto à compreensão das formas dos canais, processos atuantes, bem como sua evolução, condição e trajetória (BRIERLEY, 2011).

Tendo como principais fatores a configuração de vale, a qual indica as condições impostas ao rio, e o comportamento e distribuição das planícies de inundação, a delimitação dos estilos fluviais consiste na identificação dos diferentes trechos homogêneos e evolução do sistema fluvial a partir da planta do canal, das unidades geomórficas e da textura do leito do rio (BRIERLEY e FRYIRS, 2005). Associados às condições de uso e cobertura do solo, pode-se acentuar ou reduzir os processos erosivos por estilo fluvial.

Em ambiente semiárido, em função da alta intensidade dos eventos de precipitação e produção esporádica de escoamento superficial e sedimentos, bem como do controle pela estrutura geológica (TRICART e CAILLEUX, 1969), os estilos fluviais são delimitados em função do comportamento predominantemente intermitente/efêmero dos canais, considerando as condições de vazão, morfologia e estabilidade nos canais.

Dentre os trabalhos realizados no semiárido brasileiro, com destaque para bacias pernambucanas e paraibanas, três foram os principais trabalhos considerados, sendo eles os trabalhos de Souza, Barros e Corrêa (2016), Maia (2016) e Santos (2017). Nesses trabalhos, apesar de se situarem em áreas distintas, é possível perceber que alguns dos Estilos Fluviais se repetem, podendo indicar a influência regional na drenagem.

Na caracterização de Souza, Barros e Corrêa (2016), em que foram encontrados sete Estilos Fluviais na bacia do Riacho do Saco, em Pernambuco, foram classificados como: Cabeceira de Drenagem, Canal em Garganta, Canal Entalhado em Voçoroca, Canal Rochoso com Planície Descontínua, Leque Fluvial, Canal Arenoso Descontínuo e Vale Preenchido Conservado.

Dos trabalhos situados nas bacias paraibanas, Maia (2016) identificou os Estilos Fluviais em oito classes, sendo elas: Canais Entrelaçados, Vale Preenchido, Canal Arenoso de Planície Descontínua, Canal Semiconfinado com Controle de Afloramento Rochoso, Cabeceiras Íngremes, Canal em Garganta, Canal Arenoso com Soleira Rochosa e Canal Arenoso Confinado.

O trabalho de Santos (2017), discutido mais à frente e no qual este trabalho toma por base, classificou em quatro Estilos Fluviais a bacia do Alto Curso do Rio Paraíba, sendo eles: Canal Semiconfinado com Leito Cascalho-Rochoso (CSLCR), Canal Confinado com Leito Rochoso (CCLR), Canal Semiconfinado com Ilhas de Vegetação (CSIV) e Canal Não Confinado com Barras Arenosas (CNCBA).

Os diferentes tipos de canais dizem respeito às condições das zonas processuais em que se encontram, bem como dos controles estruturais, climáticos e condicionantes erosivos (BIGARELLA, SUGUIO e BECKER, 1979).

A presença de canais retilíneos é associada ao controle litológico, geralmente em proximidade às áreas de cabeceira, onde há o confinamento de vale e um acentuado entalhamento a partir das linhas de fraqueza nas quais os canais podem ser encaixados (GRAF, 1988; CHRISTOFOLETTI, 1980). Essa condição de confinamento confere ao canal estabilidade lateral e predominância de feições erosivas associadas a material mais grosseiro no seu leito, como corredeiras, bem como ausência de planícies de inundação

ou presença de bolsões descontínuos de planície de inundação (FRYIRS e BRIERLEY, 2013).

Os canais entrelaçados em ambiente semiárido são formados a partir das precipitações de alta intensidade seguintes a longos períodos de estiagem (BIGARELLA, SUGUIO e BECKER, 1979). Estes canais são caracterizados por possuírem alta carga de fundo, que condiciona contínuas migrações laterais e formação de depósitos de areia e cascalho em forma de barras ou ilhas (quando estáveis), dispendo de distribuição longitudinal e lateral no canal e subdividindo o canal em múltiplos “subcanais” ativos (CHRISTOFOLETTI, 1981; SOUZA e ALMEIDA, 2015). Em eventos de cheia, são comuns mudanças rápidas na disposição e geometria dos canais, visto a baixa resistência e alto potencial erosivo das margens e unidades geomórficas (CHRISTOFOLETTI, 1981; GRAF, 1988).

Nos canais meandantes, em função da alteração de velocidade e direção do fluxo, há aumento da sinuosidade. Isso ocorre em função da alternância erosiva entre as margens, nas quais a margem côncava sofre erosão e a margem convexa deposição, formando barras de meandros e gerando migração lateral do canal (SOUZA e ALMEIDA, 2015). Nesses canais há uma baixa competência e capacidade de transporte de sedimentos, carregando materiais de granulometria mais fina e selecionada (BIGARELLA, SUGUIO e BECKER, 1979).

Avaliando a dinâmica da rede hidrográfica por meio da perspectiva holística de conectividade da paisagem (BRIERLEY, FRYIRS e JAIN, 2006) e produção de respostas dentro dos parâmetros de um sistema ambiental, é necessário levar em conta a influência dos elementos externos ao sistema na possibilidade de mudanças. Através da noção de estabilidade da paisagem, observada na interação entre os mecanismos do sistema de modo que estes possuem a capacidade de absorver mudanças e permanecer em equilíbrio (BARROS, SOUZA e CORRÊA, 2010), a sensibilidade da paisagem é introduzida a fim de mensurar a capacidade de ajuste do sistema às mudanças em uma determinada porção espacial (BRUNSDEN e THORNES, 1979; BRUNSDEN, 2001).

Compreendida por Brunsdén (2001, p. 99) como “a probabilidade de que uma mudança nos controles de um sistema ou das forças aplicadas ao sistema de produzir uma resposta sensível, reconhecível, persistente, porém complexa”, a sensibilidade assimila os conceitos de limiar de mudança e resistência interna do sistema, bem como forças de distúrbio, magnitude e frequência dos eventos (FRYIRS, SPINK e BRIERLEY, 2009; PHILLIPS, 2013).

A sensibilidade, adaptada a cada estilo fluvial, permite inferir possíveis mudanças no ambiente fluvial através da capacidade de ajuste do rio, de modo que o rio se adapte aos distúrbios e diferentes regimes de energia (BRIERLEY e FRYIRS, 2005; FRYIRS e BRIERLEY, 2013). Desta forma, a estabilidade dos canais reflete a sua capacidade de ajuste, visto que as características inerentes ao sistema como configuração de vale, unidades geomórficas presentes e processos fluviais atuantes em resposta à descarga no canal, delimitam seu ajuste lateral e vertical, podendo resultar em aumento ou diminuição do seu fluxo e oferta de sedimentos (BRIERLEY e FRYIRS, 2005; FRYIRS, SPINK e BRIERLEY, 2009; SOUZA, 2014; FRYIRS, 2016).

Em ambiente semiárido, por possuir regime pluviométrico regido por eventos de alta magnitude e baixa frequência, há um grande impacto de natureza geomorfológica, resultado do escoamento superficial em interação com características do solo e uso e cobertura superficial, condicionando mudanças as quais podem levar a distúrbios dentro do sistema (BARROS, SOUZA e CORRÊA, 2010; CORRÊA, 2011; FRYIRS e BRIERLEY, 2013; SOUZA, 2014).

Bull e Kirkby (2002) atribuem a relação da estabilidade lateral dos canais semiáridos à proporção dos eventos de escoamento, assim evidenciando o potencial do fluxo em carregar grande quantidade de sedimentos:

Quando a relação largura-área é pensada em conjunto com as altas carga de sedimentos, ela enfatiza a sensibilidade dos sistemas de terras secas. Assim, grandes eventos possuem o potencial de mover grandes quantidades de sedimentos, alterar drasticamente a morfologia do canal e perturbar a vegetação dentro do canal. (BULL e KIRKBY, 2002, p. 7)

3.2 Hidrologia no Semiárido

Considerando que a perspectiva de evolução em ambientes fluviais semiáridos foi desenvolvida com sua base teórica importada de regiões úmidas, as quais não representam a realidade dos seus processos fluviais, principalmente em magnitude e frequência das suas ocorrências (TOOTH, 2000; CORRÊA, 2011; POWELL, 2009), aqueles não devem ser compreendidos através das mesmas abordagens, visto que a dinâmica hidrológica difere consideravelmente entre esses ambientes (GRAF, 1988; NANSON, TOOTH e KNIGHTON, 2002). Desse modo, é necessário avaliar os fatores controladores desses ambientes, os quais permitem compreender as particularidades desses sistemas fluviais (BRIERLEY e FRYIRS, 2005; FRYIRS e BRIERLEY, 2013).

Definidas como regiões com altos graus de aridez, refletindo baixa razão entre precipitação e evapotranspiração potencial, os ambientes de terras secas (GRAF, 1988; TOOTH, 2000; BULL e KIRKBY, 2002), dentre as quais se inserem as regiões áridas, hiperáridas, semiáridas e subúmidas, têm como principal característica da sua condição climática o déficit hídrico em função da alta variabilidade anual e espacial da precipitação, está associada predominantemente a células convectivas e chuvas de alta intensidade (CONTI, 2002).

Contraditoriamente, o potencial de modificação e desenvolvimento da morfologia em terras secas se dá prioritariamente por ação fluvial (GRAF, 1988; TOOTH, 2000), em função da torrencialidade das chuvas, e da inatividade das paisagens por temporalidades relativamente longas. Isso ocorre devido a sazonalidade climática anual, intensificando o potencial erosivo dos eventos de precipitação (SOUZA e ALMEIDA, 2015).

A predominância de recarga dos canais por escoamento superficial ocorre em função da alta magnitude dos eventos de precipitação e da baixa capacidade de retenção de água no solo (TRICART e CAILLEUX, 1969; GRAF, 1988; TOOTH, 2000; BULL e KIRKBY, 2002; BRACKEN, 2007). Isso provoca uma condição de descarga rápida em direção ao canal (*quickflow*), na qual a água, juntamente com os sedimentos e nutrientes, tende a ser descarregada do sistema mais rapidamente em comparação com as áreas úmidas (GRAF, 1988; BELMONTE e BETRÁN, 2001; SOUZA e ALMEIDA, 2015).

Em resposta à irregularidade pluviométrica, o fluxo nos canais é regido por comportamento intermitente ou efêmero, sendo este caracterizado por permanência dos canais secos durante maior parte do ano e comportando água somente durante e imediatamente após uma chuva, enquanto os intermitentes apresentam fluxo sazonal, correspondente aos meses do período chuvoso (TRICART e CAILLEUX, 1969; BIGARELLA, SUGUIO e BECKER, 1979; CHRISTOFOLETTI, 1980; TOOTH, 2000; HOOKE e MANT, 2002). Nesses canais, o fluxo é raramente contínuo por toda a área de captação, em função de apresentar baixo escoamento e sofrer redução de descarga em direção a jusante devido às perdas por transmissão. Apesar de menos comum, é possível também a presença de drenagem perene, como no caso dos rios alogênicos (BULL e KIRKBY, 2002), os quais recebem contribuição de áreas úmidas, como é o caso do Rio São Francisco (AZEVEDO et al, 2005).

Pela predominância de longos períodos sem fluxo, a frequência dos eventos de cheia é um elemento-chave para a compreensão do trabalho geomorfológico e redistribuição de sedimentos em canais semiáridos, visto que as enchentes são

importantes desencadeadores de mudanças nesses ambientes (BELMONTE e BELTRÁN, 2001; FRYIRS e BRIERLEY, 2013; SOUZA e ALMEIDA, 2015). Visto que estes canais expressam seu comportamento padrão quando estão secos, e, considerando a cheia como um aumento do fluxo dos canais acima desse padrão (GRAF, 1988; TOOTH, 2000; SOUZA e ALMEIDA, 2015), sempre que neles houver vazão, pode-se compreender como um evento de cheia.

Os eventos de cheia em canais semiáridos, por sua vez, se expressam em quatro tipos, não mutualmente excludentes, sendo eles referentes às diferentes condições de drenagem, magnitude e frequência dos eventos de precipitação: cheias rápidas (*flash floods*), eventos de pico único (*single-peak events*), ambos geralmente associados a fluxos intermitentes ou efêmeros; eventos de picos múltiplos (*multiple-peak event*) e cheias sazonais (*seasonal floods*), por sua vez associados aos canais sob fluxo perene (GRAF, 1988; TOOTH, 2000; NANSON, TOOTH e KNIGHTON, 2002; SOUZA e ALMEIDA, 2015).

As cheias rápidas são definidas como eventos estimulados por chuvas convectivas, as quais possuem ocorrência ligada a distribuição espacial irregular e limitada de células atmosféricas. Nessas cheias, há o aumento rápido do nível da água, está entrando e saindo do sistema com quase a mesma rapidez e apresentando alta turbulência no seu fluxo, o qual chega a zero logo após o evento (GRAF, 1988; LÓPEZ-BERMÚDEZ, CONESA-GARCIA, ALONSO-SARRÍA, 2002). As cheias rápidas são mais severas de acordo com as condições da bacia e conectividade dos canais.

Nas cheias de pico único, devido a uma duração mais prolongada (de horas a alguns dias), o fluxo surge, mantêm-se, cresce até o pico, e depois retorna ao nível inicial. Nesse tipo de evento, há uma progressiva resposta hidrológica de entrada e saída de energia (GRAF, 1988; KNIGHTON e NANSON, 2001; LÓPEZ-BERMÚDEZ, CONESA-GARCIA, ALONSO-SARRÍA, 2002).

Possuindo duração de poucos dias a semanas, os eventos de picos múltiplos são caracterizados por possuírem sucessivos picos de vazão devido a um conjunto de eventos de precipitação de maior intensidade dentro do período de cheia. Esse tipo de evento é associado a áreas menores da bacia, sendo as bacias tributárias, que contribuem para o fluxo do canal principal (GRAF, 1988; LÓPEZ-BERMÚDEZ, CONESA-GARCIA, ALONSO-SARRÍA, 2002; SOUZA e ALMEIDA, 2015). Nas cheias de picos múltiplos, os eventos de precipitação antecedentes são de suma importância, visto que estes

favorecem a saturação da área de captação, favorecendo elevadas taxas de escoamento superficial devido a sua saturação.

E as cheias sazonais, correspondentes a áreas maiores, envolvem a contribuição de múltiplos eventos de magnitudes variadas e em diferentes localidades da área de captação. Nesses eventos de cheia, o fluxo é mantido nos canais durante alguns meses, os quais geralmente correspondem com a estação chuvosa (GRAF, 1988; SOUZA e ALMEIDA, 2015).

Pensando os fluxos em ambiente fluvial e a modificação a partir dos eventos de descarga no canal, compreende-se a vazão através da distribuição da energia potencial no canal (BIGARELLA, SUGUIO e BECKER, 1979). Desta forma, o fluxo se comporta a partir de um arranjo tridimensional, no qual a energia é distribuída de acordo com o balanço da energia da descarga hidrológica e de resistência no canal, carregando água e sedimentos neste (FRYIRS e BRIERLEY, 2013). O trabalho nos canais é produzido a partir do movimento da água, convertendo energia potencial em cinética e do consumo desta energia por fricção nas paredes do perímetro molhado (CHRISTOFOLETTI, 1981).

Nesse arranjo tridimensional, a vazão é definida como “volume de água que passa por um ponto de secção transversal em particular a cada segundo (m^3s^{-1})” (FRYIRS e BRIERLEY, 2013, p. 54) e é resultante do controle climático sobre disponibilidade e variabilidade do fluxo, com valores acentuados em função de um maior gradiente no canal. O controle geológico determina o tamanho e volume da carga detrítica transportados por esse fluxo, de acordo com a erosividade dos materiais e a erodibilidade da paisagem (CHRISTOFOLETTI, 1981; FRYIRS e BRIERLEY, 2013). De acordo com a condição de vazão, são determinadas características inerentes ao fluxo, como o tamanho máximo do material que pode transportado (competência), volume a ser transportado (capacidade) e carga de transporte (suspensa, de fundo ou dissolvida) (BIGARELLA, SUGUIO e BECKER, 1979).

A energia nos canais se comporta em função de manter o equilíbrio entre essas forças de distúrbio e resistência, assim, se houver um aumento da vazão ou modificação na disponibilidade de sedimentos, os processos geomorfológicos de erosão, transporte e deposição vão atuar de acordo com a disponibilidade de energia no canal, alternando no decorrer do tempo e da velocidade do fluxo da água (BIGARELLA, SUGUIO e BECKER, 1979; BRIERLEY e FRYIRS, 2013).

Havendo energia suficiente, o fluxo possui capacidade de realizar trabalho geomorfológico de modo em que houver o transporte de sedimentos e modificação dos

canais (BIGARELLA, SUGUIO e BECKER, 1979; FRYIRS e BRIERLEY, 2013). Nesse transporte, a granulometria é resultado da relação do volume da descarga com o transporte de sedimentos e três cenários possíveis são pontuados por Fryirs e Brierley (2013), sendo eles: estado de equilíbrio, no qual há um balanço entre transporte de sedimentos e vazão, assim o leito permanecendo estável; degradação (erosão), na condição de maior descarga, maior a capacidade e competência de transporte de sedimentos, favorecendo a incisão do canal; e agradação (deposição) no qual em função de menor descarga, há um menor transporte de sedimentos e deposição ao longo do leito do canal.

A erosão e retrabalhamento dos materiais nos canais é resultado da energia total do rio (*total stream power*), a qual diz respeito a energia disponível para realizar trabalho no canal pela superação da resistência interna deste através do movimento da água e o transporte de sedimentos (FRYIRS e BRIERLEY, 2013). A energia total corresponde ao gasto de energia potencial através dos limites do canal por unidade de comprimento a jusante e é resultado do produto do peso específico da água pela vazão e declividade do canal. Através da energia total, a energia específica do canal (*specific stream power*) corresponde a estimativa do limiar de energia utilizado para que se tenha trabalho geomorfológico reconhecível através da identificação de formas ou processos específicos nos canais, como movimento de sedimento de granulometrias definidas ou instabilidade de canais (FRYIRS e BRIERLEY, 2013).

A energia do rio vai resultar em diferentes condições de fluxo, o que diz respeito a interação das forças de gravidade e fricção sobre a água (CHRISTOFOLETTI, 1981), de modo esta que realiza movimento por sobreposição à fricção, correspondente a natureza da superfície em que a água está submetida (FRYIRS e BRIERLEY, 2013). Assim sendo, dois são os principais fluxos nos canais naturais, sendo eles o fluxo laminar e o fluxo turbulento (BIGARELLA, SUGUIO e BECKER, 1979; CHRISTOFOLETTI, 1981; FRYIRS e BRIERLEY, 2013).

No fluxo laminar, há uma menor condição de energia, que condiciona um fluxo lento e com velocidade uniforme, é geralmente associado a canais retilíneos (BIGARELLA, SUGUIO e BECKER, 1979; CHRISTOFOLETTI, 1981; FRYIRS e BRIERLEY, 2013). Em função do fluxo costumar ser turbulento nos canais naturais, os laminares raramente são encontrados na natureza devido às constantes perturbações nos fluxos. Esse fluxo transita para o fluxo turbulento diante do alcance de um ponto crítico correspondente ao aumento da velocidade ou profundidade da corrente.

O fluxo turbulento, por sua vez, apresenta movimentação caótica, heterogênea e irregular das partículas de água, bem como mudança abrupta de distribuição da velocidade no canal. Devido a decrescente fricção água-canal, a velocidade aumenta consideravelmente de acordo com o distanciamento das margens e do leito, em função da redução da superfície de atrito nesta direção (BIGARELLA, SUGUIO e BECKER, 1979; CHRISTOFOLETTI, 1981; FRYIRS e BRIERLEY, 2013).

Associado à energia e turbulência do fluxo, a erosão fluvial possui processos característicos, os quais dizem respeito ao retrabalhamento da carga transportada pelo rio ou da rocha em superfície, sendo eles: corrosão, corrasão e cavitação. A ação corrosiva é composta por qualquer processo químico em função do contato entre a água e a rocha em superfície, como a dissolução. Na corrasão, através do impacto das partículas carregadas pela água, ocorre o desgaste por atrito mecânico da abrasão sobre a rocha ou outras partículas. E, na cavitação, em condições de alta velocidade da água, há a fragmentação das rochas por ação fluvial (BIGARELLA, SUGUIO e BECKER, 1979; CHRISTOFOLETTI, 1980).

Considerando o fluxo como um arranjo tridimensional, a fim de compreender o comportamento e a eficiência da energia no canal, alguns trabalhos retratam a distribuição da energia em seção transversal no canal através de modelos de distribuição de isolinhas de velocidade (*isovel patterns*), ou isótacas, sendo feita a representação por curvas crescentes, nas quais os valores das velocidades se distribuem no perfil lateral. Fryirs e Brierley (2013) retratam os perfis de velocidade como uma resposta do formato e tamanho do canal, considerando uma distribuição de energia não-uniforme em seção lateral. Em outras palavras, o resultado diz respeito a interação entre o fluxo, a partir da sua energia cinética com a resistência, referente à geometria do canal, bem como ao material presente no leito e nas margens, o que pode aumentar ou reduzir a rugosidade no canal (FRYIRS e BRIERLEY, 2013).

O padrão dessas velocidades, dentro de um modelo, consiste nas curvas de menores valores localizadas em proximidade aos limites do canal, enquanto os maiores valores se localizam mais distantes das margens, ao centro do canal. Essa distribuição de velocidade, não sendo uniforme, varia sensivelmente frente às alterações na geometria do canal (CHRISTOFOLETTI, 1981), seja em resposta aos diferentes tipos de canal, às unidades geomórficas presentes, ou até mesmo às modificações causadas ao ambiente fluvial, alterando o balanço entre degradação e agradação no canal (FRYIRS e BRIERLEY, 2013).

Considerando o dinamismo dos processos fluviais, bem como as respostas não-lineares, são constantes as mudanças, as quais, superando os parâmetros-limites do sistema fluvial, pode promover metamorfoses fluviais (STEVAUX e LATRUBESSE, 2017), as quais são caracterizadas pelas mudanças irreversíveis no comportamento fluvial, alterando o seu funcionamento e estrutura morfológica. Essas modificações podem ser de ordem natural (tectonismo e mudanças climáticas) ou induzidos por ações antrópicas, as quais interferem na condição de equilíbrio quanto à descarga sólida e líquida (CHRISTOFOLETTI, 1981).

A compreensão dessas metamorfoses é de suma importância, visto que a conservação e gestão eficiente dos recursos hídricos corrobora com as necessidades humanas.

3.3 Modificações Antrópicas no Regime Hidrológico

Historicamente, a necessidade de uso da água constituiu as primeiras tentativas da humanidade em intervir e modificar conscientemente o ambiente natural, vista a sua importância estar sempre atrelada ao desenvolvimento das civilizações (DREW, 1986). Frente as necessidades e demandas quanto a utilização dos recursos hídricos, maiores intervenções e, conseqüentemente, os sistemas fluviais são submetidos a cada vez maiores impactos. Isso se dá visto que, com um maior aporte tecnológico e maior sendo o grau de interferência conferido ao homem, maior será a capacidade de modificação do ambiente natural.

A transferência de água da superfície, já comum há algumas décadas, acarreta em mudanças em cadeia quanto aos depósitos e transportes na bacia de drenagem e nos canais constituintes, se propagando tanto espacialmente como temporalmente (DREW, 1986; CUNHA, 2009; STEVAUX e LATRUBESSE, 2017). Essas mudanças induzidas por diferentes formas de intervenção no sistema fluvial resultam em impactos, os quais não alteram diretamente os processos hidráulicos e geomorfológicos, mas a sua distribuição ao longo dos rios e que acarreta em impactos eco-hidrogeomorfológicos (FRYIRS e BRIERLEY, 2013; STEVAUX e LATRUBESSE, 2017).

Os impactos hidrofísicos induzidos pela ação humana dividem-se em dois tipos em função da sua natureza, sendo eles os impactos por intervenção direta e indireta (CUNHA, 2009; FRYIRS e BRIERLEY, 2013; STEVAUX e LATRUBESSE, 2017).

Nas intervenções indiretas, por meio das atividades na bacia de drenagem, as quais se relacionam principalmente ao uso e ocupação do solo, são caracterizadas por indiretamente afetarem o regime hidrológico, não se referindo àquelas diretamente no canal fluvial (STEVAUX e LATRUBESSE, 2017). Dessa forma, essas intervenções modificam as características e o comportamentos dos rios (FRYIRS e BRIERLEY, 2013). Geralmente associadas às modificações de uso do solo, algumas das formas de intervenção indireta mais comuns são atividades agrícolas e remoção da vegetação de áreas de encosta parcial ou total, condicionando o aumento dos processos erosivos e deslocamento de sedimentos em direção ao canal.

A respeito das finalidades das intervenções diretas sobre os canais, Corrêa (2011) ressalta que “visam controlar e estabilizar o suprimento d’água e, em alguns casos, minimizar os efeitos danosos das enchentes.” (CORRÊA, 2011, p. 2), as quais são executadas por meio do controle das vazões ou alteração na forma do canal (CUNHA, 2009). São comuns também as intervenções voltadas para fins como geração de energia e extração de cascalho ou areia (FRYIRS e BRIERLEY, 2013). Algumas das formas mais comuns de intervenções diretas são a regulação por estocagem ou transferência de fluxo entre bacias, modificações na forma do canal, para fins de estabilização ou alinhamento dos seus limites, e a retificação de canais (FRYIRS e BRIERLEY, 2013; STEVAUX e LATRUBESSE, 2018).

Quanto às intervenções nos sistemas fluviais em terras secas, Bull e Kirkby (2002) pontuam: “uso da terra e mudanças climáticas possuem a capacidade de desencadear uma mudança geral na magnitude e frequência das cheias, entretanto isso pode não alterar a aparência em geral dos sistemas fluviais de terras secas. ” (BULL e KIRKBY, 2002, p. 8).

Um dos principais impactos relacionados às intervenções indiretas no semiárido brasileiro é a remoção ou mudança da vegetação original da bacia, visto que a vegetação se apresenta como o fator mais sensível quanto à produção de escoamento superficial, sendo mais passível de sofrer modificações sejam naturais ou antrópicas (SOUZA, 2014). Em termos de respostas hidrológicas, essas ações favorecem os processos erosivos das encostas para os canais, visto que o solo desnudo ou com pouca cobertura vegetal condiciona um maior potencial de escoamento superficial, conseqüentemente um maior aporte sedimentológico. Esse tipo de uso é geralmente associado às práticas agrícolas ao longo de interflúvio e pedimentos, podendo interferir na oferta de sedimentos para a bacia e contribuir na intensificação dos processos erosivos (CORRÊA, 2011).

A forma mais comum de intervenção direta em ambientes semiáridos são os barramentos, construídos a fim de fornecer suprimento de água para a agricultura e o consumo humano (CORRÊA, 2011). Essa intervenção promove drásticas mudanças de ordem hidrológica, geomorfológica e ecológica através da retenção do fluxo da água, sedimentos e nutrientes (STEVAUX e LATRUBESSE, 2017).

Se estendendo de montante a jusante do rio, essas modificações trazem desbalanceamento dos processos fluviais em função da alteração do nível de base a montante e intensificação dos processos erosivos a jusante do barramento. A montante, com o aumento do nível de base, há a modificação na velocidade do fluxo e, conseqüentemente, modificação das formas e processos no trecho em questão (SOUZA e CORRÊA, 2012).

Em função da produção de sedimentos das encostas em direção aos vales fluviais e retenção no fundo da barragem, há a tendência ao assoreamento por redução da sua vida útil ao longo do tempo (XAVIER et al, 2013). Por perder sua carga de fundo e haver um aumento de energia potencial na queda d'água em função do *knick-point*, é intensificado o entalhamento do trecho a jusante a partir da água com baixa de carga de sedimentos, denominada esta condição de águas famintas (*hungry waters*) (CORRÊA, 2011; SOUZA e CORRÊA, 2012).

Geralmente associada a áreas de clima seco, a transferência de fluxo entre bacias se dá por meio do controle da vazão por barramentos e está associada a erosão de margens, o que de acordo com Andrade (2016), constitui uma problemática de difícil compreensão, pois, levando em conta a condição de vazão presente, diferentes respostas fluviais devem ser consideradas.

Desta forma, avaliar erosão de margens em rios controlados por barragens apresenta-se como um grande desafio, pois as condicionantes naturais que atuam no processo de recuo de margens (nível e velocidade da água, vazão, transporte de sedimentos) podem ser intensificadas ou minimizadas pela regularização das vazões. (Andrade, 2016, p. 68)

Ao ressaltar que o controle da vazão para perenização de rios semiáridos incide na erosão das margens, o mesmo autor justifica que, ao liberar a vazão nos canais durante o ano inteiro, os reservatórios permitem a intensificação da erosão fluvial não somente durante o período chuvoso, mas a sobreposição dos eventos chuvosos ao fluxo perene, causando impactos extremos no balanço hídrico regional.

Quanto a perenização por transferência de fluxo e regularização de vazão, relevante a este trabalho, o Projeto de Integração do São Francisco (PISF) se insere na condição de controle da vazão por armazenamento da água em reservatórios.

A justificativa de implementação do projeto é o suposto beneficiamento regional e os relativos impactos ambientais, estes considerados “relativamente pequenos e gerenciáveis com um eficiente programa de mitigação e gestão ambiental” na bacia doadora (AZEVEDO et al, 2005, p. 63). Quanto aos impactos nas bacias receptoras, é destacado que o EIA/RIMA do PISF não levou em conta os impactos da implementação do projeto na região do Nordeste Setentrional, bem como os de não implementação dos pré-requisitos e investimentos a jusante que oferecem funcionamento à obra.

Quanto a transposição do Rio São Francisco, Stevaux e Latrubesse (2017) destacam:

No Brasil, o caso mais emblemático é o da transposição do rio São Francisco, um projeto inconcluso e mal avaliado quanto a suas consequências ambientais, que tem consumido bilhões de dólares de fundos públicos. [...] Apesar dos fatos antecedentes de problemas ambientais registrados em áreas áridas e semiáridas, o licenciamento da transposição foi forçadamente aprovado pelo governo, sem que existisse o necessário volume de estudos para uma obra de tamanha escala e sem que se considerassem as recomendações do Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco. (Stevaux e Latrubesse, 2017, p. 274)

Fora então ressaltado por Azevedo et al (2005), que os principais impactos em potencial diretamente nos rios receptores nessa obra são: erosão, perdas de água por lixiviação, problemas de salinidade da água, em regiões semiáridas, acúmulo de resíduos tóxicos, transporte de nutrientes, contaminação de aquíferos e importação da fauna e flora exógena, indicando em sequência, a não sustentabilidade a longo prazo desse tipo de projeto de transferência de fluxo.

Diretamente para o Rio Paraíba, outros trabalhos já retrataram a problemática quanto a transposição do Rio São Francisco. Esse é o caso do que já fora levantado por Souza e Suertegaray (2005), que avaliaram as premissas do RIMA o qual havia por considerar principalmente as problemáticas unicamente acerca da captação de água, revitalização fluvial e salinização. Foram também destacados outros impactos de cunho físico-natural, os quais não serão levantados neste trabalho.

Há registros de outros casos de perenização de canais semiáridos, os quais levaram a impactos ambientais significativos, como o Rio Piancó, também situado na Paraíba. Localizado no sertão paraibano, o Rio Piancó fora perenizado na década de 1960 e possui controle da vazão através dos açudes Curema-Mãe-d'água (CARVALHO, 2013;

CASTELO BRANCO, 2017). Neste caso, além de haver um desequilíbrio no balanço hidrossedimentológico, seja criando um *knick-point* ou por reter o sedimento em deslocamento, como já discutido, o trecho a jusante possui transmissão contínua de água e sedimentos, não condizente com o comportamento climático local.

4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo abrange a bacia do Alto Curso do Rio Paraíba, localizada no Cariri Paraibano, na mesorregião da Borborema, e envolve 18 municípios do estado da Paraíba (Figura 1). A nascente do rio Paraíba, na qual se situa o curso d'água da bacia supracitada, se localiza no município de Monteiro e seu trecho principal percorre os municípios de Camalaú, Sumé, Congo, Caraúbas, São Domingos do Cariri, Cabaceiras e Barra de São Miguel. O rio se estende até Boqueirão, onde se localiza o açude Epitácio Pessoa e é responsável por drenar uma área de 6.717 km².

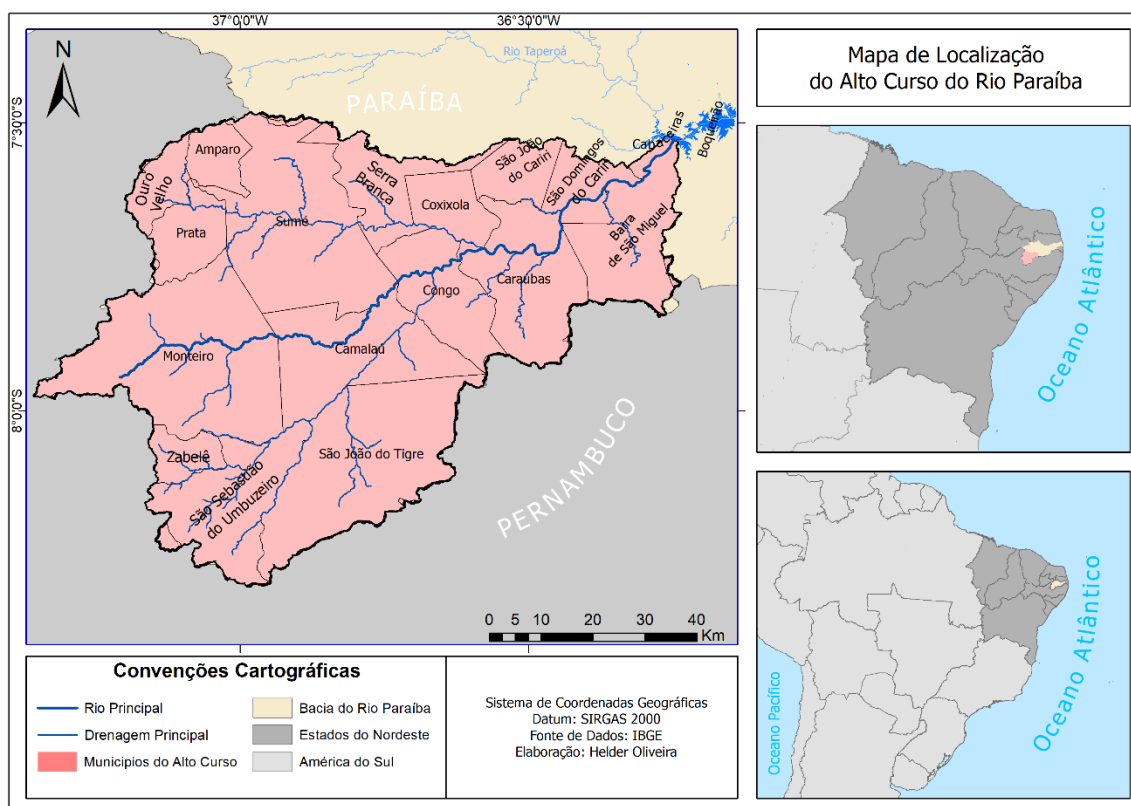


Figura 1 - Mapa de Localização do Alto Curso do Rio Paraíba.

O alto curso do Rio Paraíba apresenta caráter fluvial intermitente em função da má distribuição das chuvas, bem como dos altos índices de evapotranspiração, pois se situa em uma das áreas mais secas do país (CARVALHO, 1982; XAVIER et al, 2013). Quanto à composição geológica, a área de estudo compõe o Escudo pré-cambriano do Nordeste, com predominância de rochas cristalinas de formação correspondente aos éons Proterozóico e Arqueano (XAVIER et al, 2013). Os tipos de rochas mais representativas

são os quartzitos, gnaisses, migmatitos, micaxistos e filitos, bem como os granitos, de origem magmática (CARVALHO, 1982).

As unidades geológicas as quais compõem a bacia do Alto Curso do Rio Paraíba atuam nos atributos do relevo e dos canais quanto a composição química, diretamente ligada à decomposição do material parental, e resistência das rochas, assim delimitando as feições e processos de natureza geomorfológica por toda a bacia. Nos canais, a estrutura geológica também delimita a sua condição de confinamento, delimitando seu comportamento de vazão de acordo com os trechos. Desta forma, a área apresenta 13 diferentes classes de unidades geológicas, como pode ser observado na Figura 2.

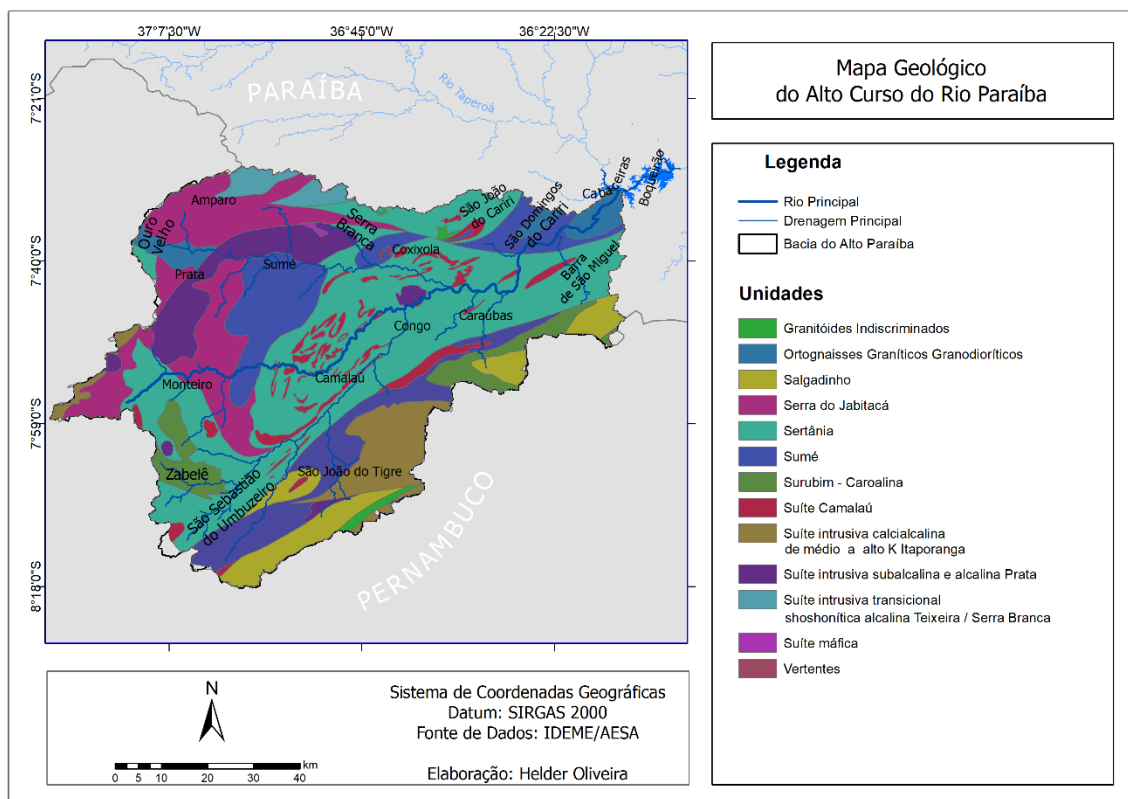


Figura 2 - Mapa geológico do Alto Curso do Rio Paraíba.

A área da bacia possui variação altimétrica de 374 a 1172 metros, enquanto que o canal principal, nas áreas de cabeceira, vai de aproximadamente 650 metros de altitude, e alcançam, nas áreas mais baixas, aproximadamente 350 metros de altitude (SANTOS, 2017). Na Figura 3, é representada a altimetria da área de estudo através do MDE (*SRTM*), bem como o gráfico elaborado por Santos (2017) do perfil longitudinal, de acordo com a elevação ao longo do rio (em azul) e a área de captação do canal (vermelho). Neste, é possível observar a topografia retilínea do canal, sofrendo ruptura somente nos trechos

rochosos do rio, e a entrada de descarga dos seus afluentes de acordo com o distanciamento da sua nascente.

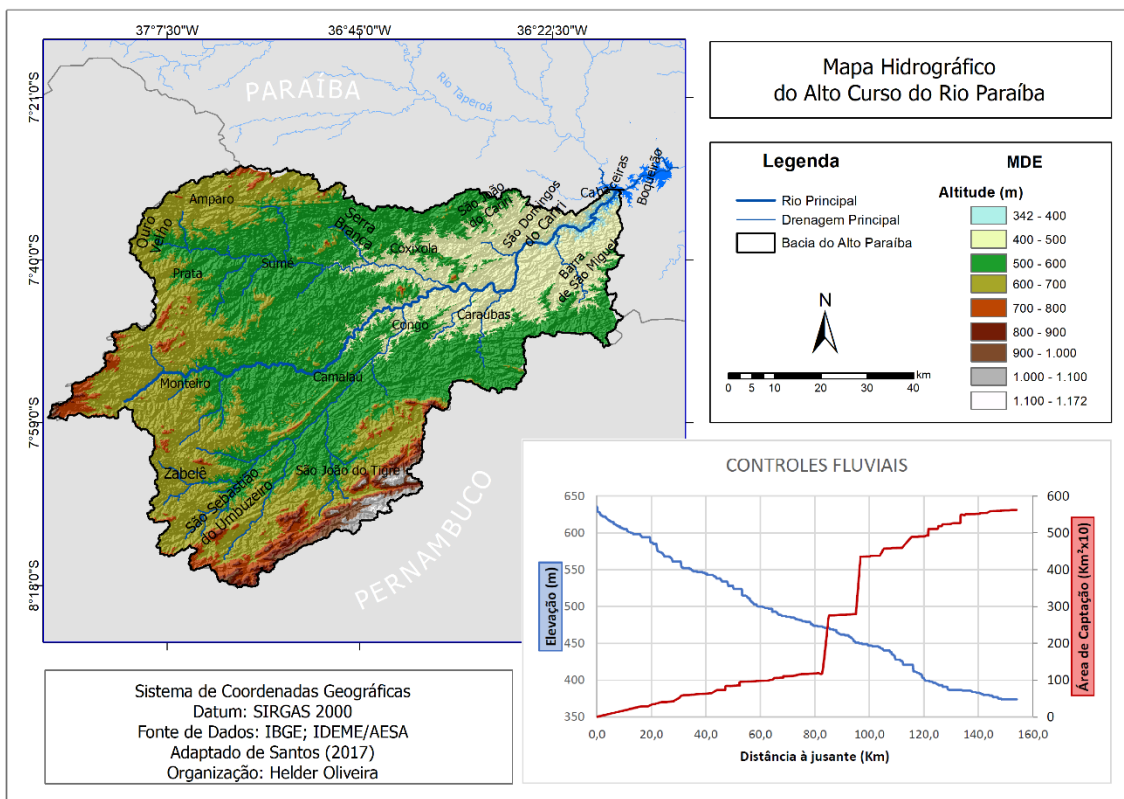


Figura 3 - Mapa hidrográfico do Alto Curso do Rio Paraíba (adaptado de Santos, 2017).

De acordo com a classificação climática de Köppen, a área estudada se insere na classe BSw^h, descrita como clima quente e seco (MARINHO, 2011). A estação seca varia de 8 a 10 meses e as precipitações se concentram entre os meses de fevereiro a maio (SANTOS, 2017), apresentando médias anuais entre 300 a 700 mm, como pode ser observado na distribuição de isolinhas da Figura 4.

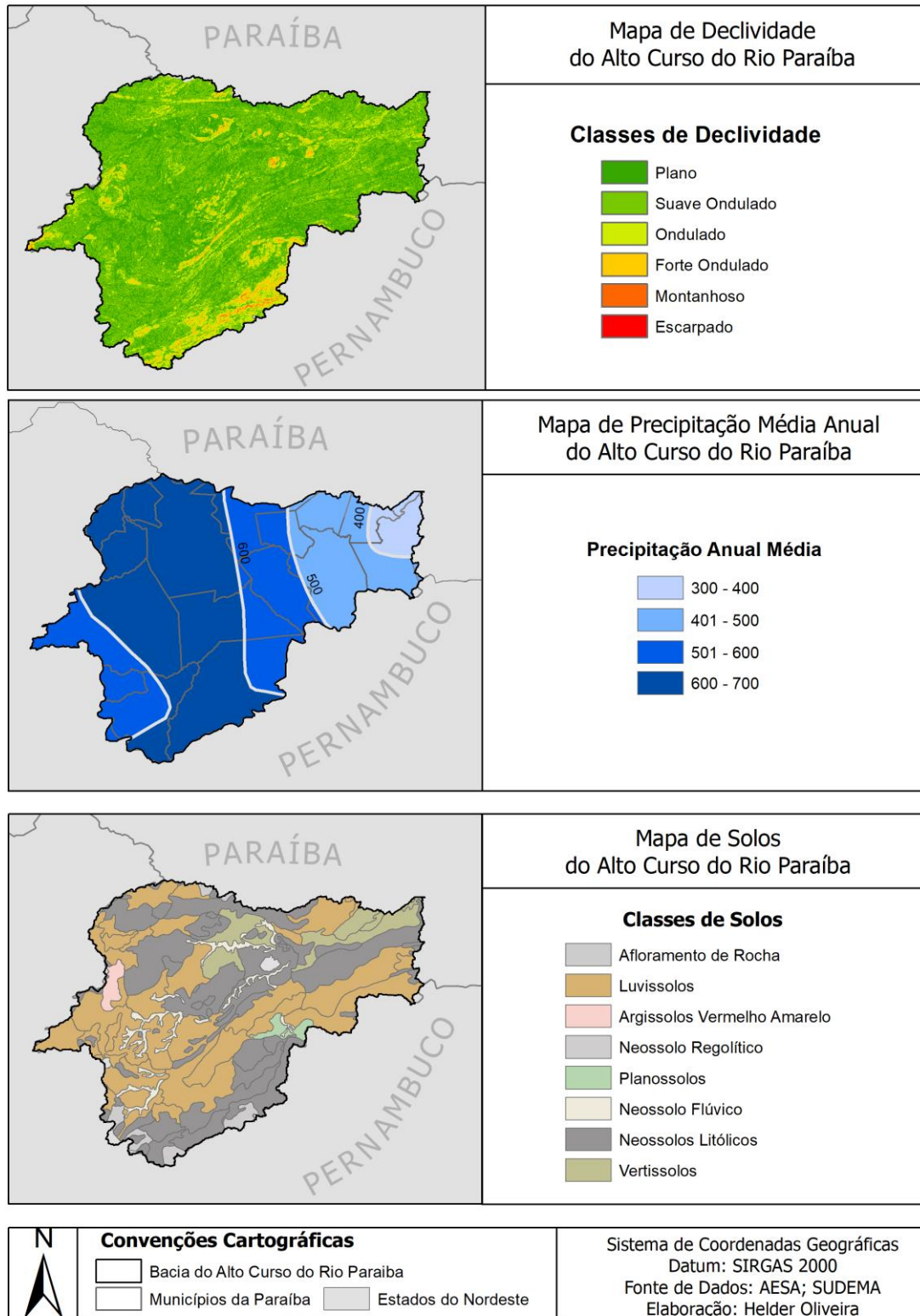


Figura 4 - Mapa de declividade, isolinhas de precipitação média anual e classes de solos do Alto Curso do Rio Paraíba.

De acordo com Mello e Ferreira (2005), o principal sistema atmosférico atuante na área de estudo é a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que é responsável pelas

chuvas no semiárido brasileiro durante os primeiros meses do ano. Os mesmos autores ressaltam que outros sistemas atmosféricos também são responsáveis pela ocorrência de chuvas no semiárido, os quais são os Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM), os Vórtices Ciclônicos de Ar Superior (VCAS) e as Linhas de Instabilidade (LI), podendo ocorrer simultaneamente e interagir com a ZCIT, ocasionando chuvas de alta intensidade em curta duração Dantas (2018, no prelo).

É destacada a forte influência dos ENOS (El Niño-Oscilação Sul) na distribuição de precipitação anual, coincidindo os anos de El Niño mais intenso com as maiores secas da região nordeste, enquanto os meses de La Niña normalizando ou aumentando os valores de precipitação acima da média, bem como as prolongando temporalmente (MELLO e FERREIRA, 2005; NETO, BARBOSA e ARAUJO, 2007; SOUZA, QUEIROZ e CARDOSO, 2015). Os períodos de secas prolongadas são resposta da influência do El Niño e Dipolo do Atlântico Tropical em interação com os sistemas atmosféricos atuantes, assim inibindo a formação de nuvens e ocorrência de precipitação na área de modo que os desloca de forma anômala (SOUZA, 2008; DANTAS, 2018, no prelo).

Além do controle da distribuição da precipitação pelos sistemas atmosféricos atuantes, a condição orográfica também representa um papel importante como condicionante climático, visto a imposição do relevo no deslocamento das células atmosféricas. Por se localizar à sotavento das serras de Pernambuco, que condicionam a diminuição da umidade dos ventos alísios de sudeste por meio da precipitação orográfica no estado vizinho (CARVALHO, 1982), o Cariri detém o título de polígono mais seco do país (SOUZA, 2008).

Referente à condição geomorfológica regional, a área de estudo encontra-se situada no Planalto da Borborema, mais especificamente no compartimento da Depressão Intraplanáltica Paraibana (CORRÊA et al, 2010), caracterizado como uma superfície rebaixada por arrasamento em estrutura cristalina e limitada a sul pelos Maciços Remobilizados da Zona Transversal, em Pernambuco. Por esta ser uma área de brejo de altitude/enclave subúmido (BÉTARD, PEULVAST e SALES, 2007), influencia as localidades adjacentes, como a porção a sul da bacia do Alto Paraíba, assim caracterizando uma área de pluviosidade mais elevada se comparada às áreas típicas de semiárido, compondo então uma área inserida em domínio de serras úmidas. Nestas áreas, visto apresentarem situação intermediária entre esses dois compartimentos

geomorfológicos, apresentam condição topográfica transitória e também são influenciadas quanto a disponibilidade de água e umidade no solo.

Nas áreas de declividade mais acentuada são pouco representativas para o curso principal do rio Paraíba, visto que este predominantemente se localiza em áreas com de declividade suave ondulada (Figura 4).

Referente às unidades geomorfológicas presentes na área, Santos (2017) propõe a compartimentação da bacia em seis classes diferentes, com base nas informações do Levantamento da Geodiversidade da Paraíba (2016), sendo elas: Chapadas em Platôs, Domínio de Colinas Dissecadas e Morros Baixos, Domínio de Morros e de Serras Baixas, Domínio Montanhoso, *Inselbergs* e Planaltos (Figura 5).

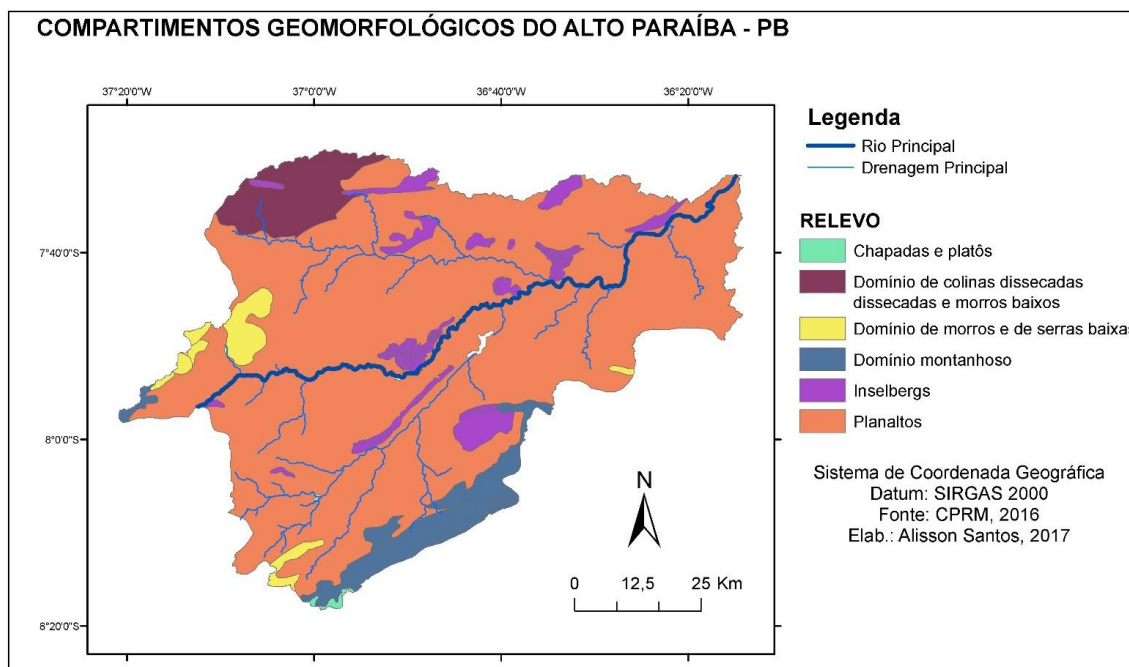


Figura 5 - Mapa de compartimentos geomorfológicos do Alto Curso do Rio Paraíba. Fonte: Santos, 2017.

Apesar da ausência de dados mais precisos quanto ao mapeamento de solos na bacia, a classificação da EMBRAPA (Figura 4) indica as classes mais expressivas na área de estudo, sendo elas os Luvisolos, Neossolos Litólicos, Vertissolos e Neossolos Flúvicos, indicando desenvolvimento pedogenético incipiente.

Devido a se inserir em uma região semiárida, os solos presentes possuem um grau de evolução limitado em termos de profundidade e estrutura, visto a baixa disponibilidade de água e limitada cobertura vegetal (COOKE e WARREN, 1973), assim havendo uma menor tendência a formação e desenvolvimento de regolito.

Correspondentes à condição topográfica e disponibilidade de água, os solos mais desenvolvidos na bacia geralmente associados às áreas de altitude elevada (CARVALHO, 1982), como os Argissolos Vermelho-Amarelos, no Domínio de Morros e de Serras Baixas, em Monteiro.

Os solos mais desenvolvidos nessas áreas em contrapartida dos solos associados às áreas de caatinga típica, assim também possuindo diferentes respostas da vegetação, bem como dos diferentes tipos de processos atuantes e conseqüente formação de solo.

Os fatores limitantes desses solos quanto às atividades agrícolas, apesar de apresentarem muita pedregosidade e serem pouco espessos, não são mecânicos ou químicos, mas sim em função da carência hídrica, visto que são solos férteis e com abundância em minerais primários facilmente intemperizáveis (CARVALHO, 1982; ARAUJO FILHO et al, 2017)

Quanto a vegetação, limitações edáficas, baixos índices pluviométricos, temperaturas médias elevadas e acentuado déficit hídrico (SOUZA, 2008) condicionaram a configuração fitogeográfica atual, predominantemente Caatinga hiperxerófila, esparsa e adaptada aos períodos prolongados de seca.

Quanto a composição florística e fitofisionomia, predominam as espécies caducifólias, espinhosas e de folhas pequenas, como Mandacaru (*Cereus jamacaru*), Faveleiro (*Cnidosculus phyllacanthus*), Macambira (*Bromelia laciniosa Mart.*), Pereiro (*Aspidosperma pyriforme Mart.*), Caatingueira (*Caesalpinia pyramidalis*) e Xique-Xique (*Pilosocereus gounallei Weber*) (CARVALHO, 1982).

Em termos de porte da vegetação, há a predominância de caatinga arbustiva de forma mais ampla na área de estudo, principalmente em função do uso e ocupação da área, a qual atualmente apresenta fortes indícios de impactos de ordem biótica (SOUZA, 2008). Boa parte da redução as espécies da flora local se deu devido às atividades extrativistas na área, utilização das espécies lenhosas para produção de carvão e remoção da vegetação nativa para pasto e/ou para atividade agrícola, que também pode ser utilizada de alimento para o gado, como no caso da Palma (SOUZA, 2008; SOUZA, QUEIROZ e CARDOSO, 2015).

Diferentemente das concepções clássicas, as quais apresentam a caatinga como uma especiação de savana estépica, o trabalho em questão considera a classificação de florestas secas neotropicais (*neotropical dry forests*) (BANDA-R et al, 2016), as quais correspondem a ecossistemas sazonais com ampla distribuição e compartilhamento

genético pelo continente americano, compostos por 12 grupos florísticos, dentre os quais se insere o bioma Caatinga e apresenta consideráveis níveis de endemismo.

Nas áreas mais conservadas, normalmente em função da baixa aptidão agrícola e dificuldade de acesso, em função do relevo mais acidentado, há a predominância de caatinga arbustiva arbórea aberta, fechada, e até mesmo de caatinga arbórea, configurando áreas com uma densidade e diversidade elevada de espécies (SOUZA, QUEIROZ e CARDOSO, 2015).

As espécies nativas são fortemente degradadas em função da pecuária extensiva, predominantemente caprina, de modo que os impactos mais significativos são diretamente às espécies arbustivas e arbóreas perenifólias, a exemplo do Juazeiro (*Ziziphus joazeiro*) e Umbuzeiro (*Spondias tuberosa*) (SOUZA, 2008).

Outro impacto muito comum na área é a introdução de espécies invasoras, as quais, por não apresentarem controles ecológicos, competem com as espécies locais, como é o caso da Algaroba (*Prosopis juliflora*) em áreas degradadas e de mata ciliar, podendo desestabilizar o ecossistema e empobrecer a biodiversidade local (PEGADO et al, 2006; SOUZA, 2008).

Quanto a distribuição da vegetação ao longo do canal principal, Santos (2017) fez um mapeamento através de imagem de satélite de acordo com o estado de conservação ou degradação da vegetação (Figura 7). Dentre as classes mapeadas, a espacialização e porte da vegetação foram consideradas: arbórea espaçada, arbustiva, gramínea e áreas totalmente desprovidas de vegetação.

É destacada a predominância de áreas com vegetação degradada, condicionando um maior potencial de produção de escoamento superficial na bacia, visto que a vegetação oferece proteção ao solo frente aos processos erosivos (SANTOS, 2017). Nessas áreas, o canal apresenta menor resistência às mudanças, principalmente de vazão.

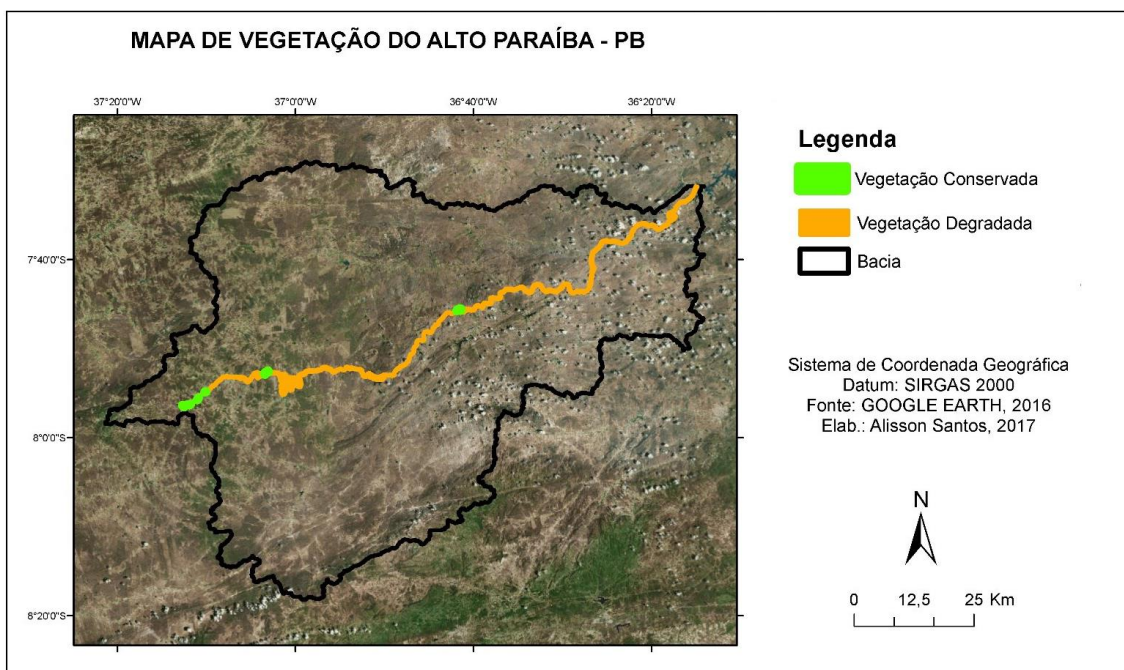


Figura 6 - Mapa de vegetação do Alto Curso do Rio Paraíba. Fonte: Santos, 2017.

Uma prática de manejo de recursos hídricos muito comum na área de estudo é a construção de barramentos, a fim de reter o fluxo dos canais para suprir as demandas hídricas da região e regularizar a vazão. Xavier et al. (2013) apontam a erosão superficial das encostas como um problema ambiental significativo no que diz respeito à redução da vida útil dos açudes, visto que ao escoar em direção aos vales fluviais, a água carrega sedimentos, que são retidos nos açudes a jusante e contribuem para o seu rápido assoreamento.

Em função da mudança de regime hidrológico através perenização do Alto Paraíba, são iminentes as modificações e impactos no sistema fluvial, principalmente em interação com os barramentos, não só pela regulação do seu fluxo, mas pelo aumento da energia potencial na elevação das quedas d'água nos *knick-points*.

4.1 Estilos Fluviais do Alto Curso do Rio Paraíba

Dentro da classificação de Santos (2017), levando em conta atributos de natureza geológica, a qual contribui para o grau de confinamento dos trechos dos canais e o material parental dos sedimentos presentes, o autor do referido trabalho desenvolve discussões e quadros referentes às características de cada Estilo Fluvial, conforme ilustrado na figura 8.

Nesse mapeamento, foram identificados quatro Estilos Fluviais, que serão discutidos a seguir e sendo eles: Canal Semiconfinado com Leito Cascalho-Rochoso (CSLCR), Canal Confinado com Leito Rochoso (CCLR), Canal Semiconfinado com Ilhas de Vegetação (CSIV) e Canal Não Confinado com Barras Arenosas (CNCBA).

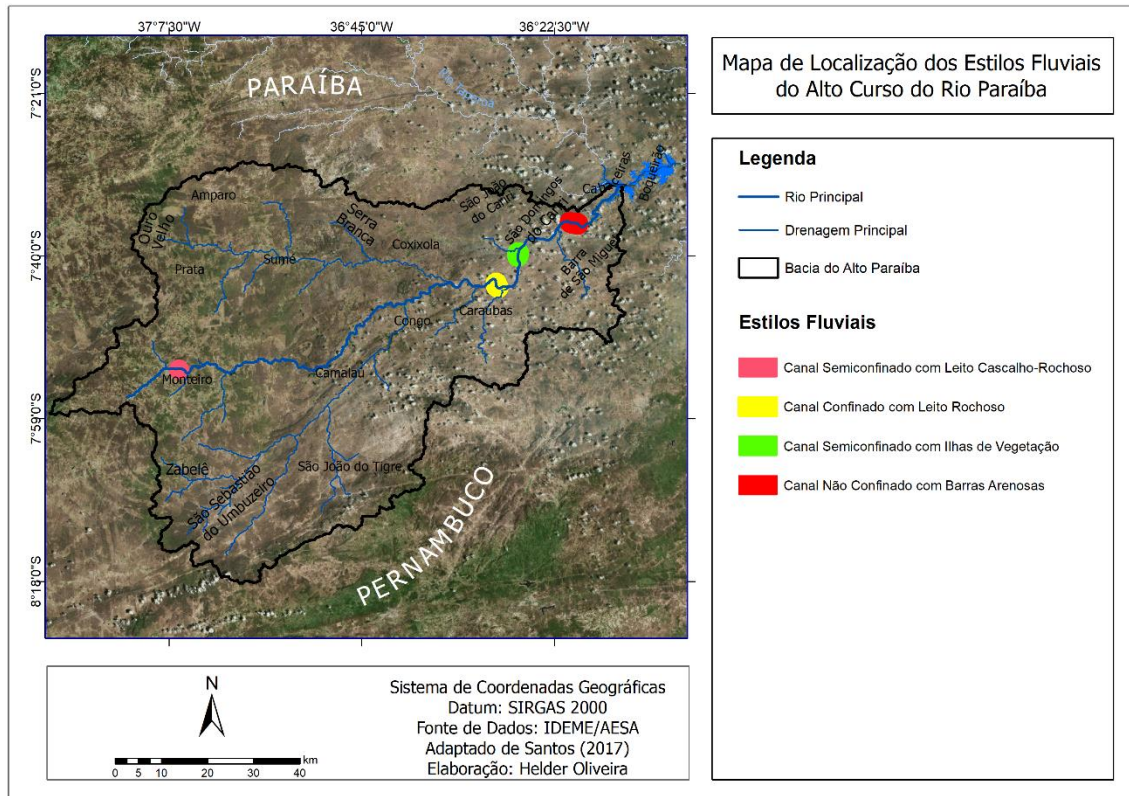


Figura 7 - Mapa de Estilos Fluviais do Alto Curso do Rio Paraíba (adaptado de Santos, 2017).

No primeiro Estilo Fluvial (CNCBA), é destacada a presença de vegetação nas barras arenosas presentes no canal, onde o seu porte é de herbáceas, arbustivas e até indivíduos arbóreos, com pouco desenvolvimento e considerável espaçamento. Essas barras possuem origem da deposição nas margens e leito do canal, estabelecendo uma condição de geometria simétrica. A vegetação confere resistência e estabilidade às barras, que condicionam o entrelaçamento do canal, e podem evoluir para ilhas de acordo com o seu porte e distribuição. Além dessas informações, Santos (2017) destaca que o material do canal apresenta textura areia franca, é comum a presença de planícies de inundação e é significativo o transporte de sedimentos, o que favorece as grandes mudanças frente ao aumento do fluxo de água. O quadro 1 indica os parâmetros ambientais do Estilo Fluvial em questão.

CARACTERÍSTICAS	FLUVIAIS
Configuração do vale	Não confinado
Configuração em planta	Canal arenoso com barras arenosas com vegetação, e terraço
Textura de materiais de leito	Textura arenosa
Unidade geomórfica	Geometria do canal: canal entrelaçado
	Formas associadas ao vale:
	Planície de inundação (textura: areia franca)
Vegetação associada	Área com presença de vegetação arbórea espaçada, arbustiva
Baixa vazão	Presença de fluxo, com divisão em área de barras arenosas
Média vazão	Ausência de fluxo
Alta vazão	Ausência de fluxo
CONTROLES	
Zona processual	Zona de deposição e transporte de sedimento
Competência do fluxo	Transporte de sedimento do tipo areia
Intervenção antrópica	Rodovia desativada e sem ponte cruzando o canal

Quadro 1 - Matriz de informações sobre CNCBA. Fonte: Santos, 2017.

Apesar do autor supracitado se referir a este Estilo Fluvial como situado no município de São Domingos do Cariri, a localização em questão se situa no município de Cabaceiras.

No segundo Estilo Fluvial (CSIV), é destacada uma menor capacidade de ajuste que o anterior visto a presença de vegetação, consideravelmente mais densa e apresentando porte arbóreo espaçado e arbustivo, bem como a não ocorrência de planícies de inundação, os afloramentos rochosos nas margens do canal e a presença de aterro no leito e nas margens. As margens irregulares, compostas por material mais fino, de textura argilo-siltosa, indicam uma considerável condição de resistência e estabilidade, bem

como nas ilhas no canal, se comparadas às barras do estilo anterior. O quadro 2 indica os parâmetros ambientais do referido Estilo Fluvial.

CARACTERÍSTICAS	FLUVIAIS
Configuração do vale	Semiconfinado
Configuração em planta	Canal arenoso com presença de rocha de controle
Textura de materiais de leito	Arenoso e rochoso
Unidade geomórfica	Geometria do canal: canal único
	Formas associadas ao vale:
	Planície de inundação (textura: argilo-siltosa)
Vegetação associada	Área com vegetação arbórea espaçada, arbustiva
COMPORTAMENTO DO RIO	
Baixa vazão	Presença de fluxo, com divisão em ilhas com vegetação
Média vazão	Ausência de fluxo
Alta vazão	Ausência de fluxo
CONTROLES	
Zona processual	Zona de transporte e deposição de sedimento
Competência do fluxo	Transporte de sedimento do tipo areia
Intervenção antrópica	Área de aterro

Quadro 2 - Matriz de informações sobre CSIV. Fonte: Santos, 2017.

Outro adendo quanto à localização do Estilo Fluvial em questão, é que este se situa no município de São Domingos do Cariri, em contraponto à informação do trabalho de Santos (2017), em que ele se refere à localidade como Caraúbas.

O seguinte Estilo Fluvial (CCLR), corresponde ao trecho de menor capacidade de ajuste no Alto Curso do Rio Paraíba, visto que o leito e as margens do canal são rochosos

e há ausência quase total de planície de inundação. Há um forte controle estrutural nessa localidade, visto que o leito rochoso, bem como a presença de soleiras e depressões, confere significativa irregularidade ao canal. Nesse trecho, a vegetação é arbórea, de grande a médio porte, e arbustiva espaçada. Além disso, há uma barragem artificial cruzando o canal, localizado em Caraúbas. O quadro 3 evidencia as características presentes no referido estilo fluvial.

CARACTERÍSTICAS	FLUVIAIS
Configuração do vale	Confinado
Configuração em planta	Canal rochoso com acúmulo de areia entre as rochas
Textura de materiais de leito	Rochoso e arenoso
Unidade geomórfica	Geometria do canal: canal único e irregular
	Formas associadas ao vale:
	Canal principal (Textura:arenosa)
Vegetação associada	Presença de vegetação arbórea espaçada de grande e médio porte, e arbustiva
COMPORTAMENTO	DO RIO
Baixa vazão	Presença de fluxo, divisão nas áreas de ilhas com vegetação e afloramentos rochosos no leito do canal
Média vazão	Ausência de fluxo
Alta vazão	Ausência de fluxo
CONTROLES	
Zona processual	Zona de transporte e acúmulo de sedimento
Competência do fluxo	Transporte de sedimento do tipo areia
Intervenção antrópica	Presença de barragem

Quadro 3 - Matriz de informações sobre CCLR. Fonte: Santos, 2017.

O quarto Estilo Fluvial (CSLCR), localizado em Monteiro, se caracteriza principalmente pela presença de leito rochoso, bem como transporte de cascalho e formação de barras de cascalho no leito do canal. Essas barras se formam em função da estabilidade oferecida pela vegetação, esta do tipo arbórea, arbustiva e herbácea. As planícies de inundação, pouco comuns, quando presentes possuem textura argilo siltosa e predominam as margens rochosas, estas mesmo descontínuas. Devido ao cascalho apresentar resistência ao movimento, logo necessitar de uma condição de energia cinética superior, é depositado ao longo do canal, formando as barras e se estabilizando cada vez mais a partir da sua colonização. Em função da presença de cascalho, margens e leito rochosos, o canal apresenta baixa capacidade de ajuste. O quadro 4 destaca as principais características presentes no referido estilo fluvial.

CARACTERÍSTICAS	FLUVIAIS
Configuração do vale	Semiconfinado
Configuração em planta	Canal arenoso com presença de afloramentos rochosos
Textura de materiais de leito	Arenoso e rochoso, com barra de cascalho com vegetação
Unidade geomórfica	Geometria do canal: canal único e irregular
	Formas associadas ao vale:
	Planície de inundação (textura: argilo-siltosa)
Vegetação associada	Área com presença de vegetação arbórea espaçada, arbustiva e gramínea nas duas margens
COMPORTAMENTO	DO RIO
Baixa vazão	Presença de fluxo, com divisão de fluxo em áreas de barras de cascalho e de afloramento rochoso no leito
Média vazão	Ausência de fluxo
Alta vazão	Ausência de fluxo
CONTROLES	
Zona processual	Zona de transporte de sedimento
Competência do fluxo	Transporte de sedimentos dos tipos areia e cascalho
Intervenção antrópica	Presença de ponte, canal do Projeto de Integração do Rio São Francisco

Quadro 4 - Matriz de informações sobre CSLCR. Fonte: Santos, 2017.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

Visando atender aos objetivos propostos para esta pesquisa, algumas etapas foram seguidas ou adaptadas a fim da coleta e processamento dos dados, visto as necessidades e a viabilidade de adquiri-los para o trabalho. Nem todas as etapas puderam ser seguidas à risca, visto condições de segurança ou incompatibilidade de dados, como será descrito adiante.

Em um primeiro momento, a coleta de dados em campo para este trabalho foi realizada durante os dias 2 e 3 de abril, utilizando por base o mapeamento de Estilos Fluviais feito por Santos (2017) (Figura 8) e, a princípio, a mesma amostragem de pontos de coleta do referido trabalho.

Alguns procedimentos foram seguidos, seja em campo, como no processamento dos dados. Para a coleta de dados em campo, foi usado micromolinete e estação total, referentes aos dados de distribuição de velocidades no canal e topografia, respectivamente. Em seguida, foram convertidos os referidos dados em Excel e interpolados em SIG. Por fim, foram adquiridos dados de chuva e vazão no Alto Curso do Rio Paraíba a fim de associar a mudança no regime hidrológico com possíveis impactos de natureza hidrofísica.

5.1 Coleta de dados em campo

A seleção de pontos para coleta de dados tomou por base a representatividade do trecho do rio por Estilo Fluvial e condição de segurança para a coleta de dados, referentes ao levantamento topográfico do canal e distribuição de velocidade do fluxo canalizado. A coleta de dados nos pontos localizados em Monteiro e Caraúbas, referentes aos estilos de Canal Semiconfinado com Leito Cascalho-Rochoso e Canal Confinado com Leito Rochoso, respectivamente, não puderam ser realizadas visto a disponibilidade de tempo e os riscos oferecidos quanto as insuficientes condições de segurança durante a coleta.

Referente aos equipamentos utilizados para de coleta de dados em campo, foi utilizado GPS da Garmin, modelo eTrex, bem como para coletar dados referentes a topografia dos canais, com estação total, e foram feitas medições de velocidade nos fluxos dos canais, com micromolinete do tipo C2 da OTT, utilizando a hélice do tamanho 2 (Figura 9).



Figura 8 - Micromolinete C2, da OTT e hélice de tamanho 2.

Os procedimentos de coleta de dados em campo se dividiram em dois momentos, sendo eles: operação da estação total (Figura 10) e medição das velocidades com o micromolinete (Figura 11).



Figura 9 - Medições da topografia com estação total.



Figura 10 - Medições da velocidade com micromolinete.

No procedimento com micromolinete, baseado em Chevallier (1997), Almeida, Andrade Filho e Melo (2009) e Fryirs e Brierley (2013), foram escolhidos trechos

retilíneos dos canais, não contendo curvas, e de maior estabilidade possível. A amostragem do fluxo do canal foi uma adaptação das metodologias dos autores supracitados e valorizou a variação das velocidades superficiais, as medindo em três profundidades por seção lateral (intervalo de 1 metro), sendo elas: superfície da lâmina d'água (5 cm), 10 cm e 50 cm.

Devidamente montadas as hastes e conectados os cabos ao equipamento, como apresentado na Figura 12, as coletas consistiram no posicionamento da hélice do micromolinete contra o fluxo da água, registrando a quantidade de voltas em um intervalo fixo, tendo sido estabelecido 30 segundos para todas as coletas no presente trabalho.



Figura 11 - Micromolinete montado.

Utilizou-se da tabela auxiliar para anotar as medições em campo, conforme consta na Figura 13, elaborada para fins de atividades do Laboratório de Recursos Hídricos e Engenharia Ambiental da Universidade Federal da Paraíba (LARHENA) e na qual foram inseridas informações básicas quanto às características gerais dos locais de medição, características geométricas da seção de medição (posição da trena, distância da margem

a, b são constantes fornecidas junto ao equipamento;

N é a quantidade de giros, dada em rpm.

Sendo assim, as constantes a e b, indicadas para o modelo do equipamento utilizado são:

$$V = 0,02213 \times N + 0,026 \text{ (Para } N \leq 0,56)$$

$$V = 0,02533 \times N + 0,008 \text{ (Para } 0,56 \leq N \leq 9,89)$$

Considerando a equação de velocidade, bem como as constantes e os valores coletados em campo, a conversão e processamento dos mesmos consistiu na introdução das informações através da planilha MolinX, com recursos da linguagem de programação Visual Basic, do Excel. A referida planilha contém funções responsáveis por gerar a seção transversal do canal, o perfil de velocidade e realizar cálculos de vazão para pequenos cursos d'água (ALMEIDA, ANDRADE FILHO e MELO, 2009).

Inseridas as constantes do equipamento e o tipo de seção (prismática ou não-prismática), foram tabulados os dados conforme realizado na ficha de campo (Figura 11) e aplicadas as funções da planilha, gerando informações relevantes a este trabalho, sendo elas a interpolação dos dados da seção lateral e os valores de velocidade por pontos coletados.

Gerados os valores de velocidade, foi feito o agrupamento destes por profundidade para interpolação no software Surfer 15, através do método de krigagem a fim de gerar as isolinhas de velocidade. Em seguidas, foram suavizadas as curvas através da ferramenta *Spline*, no mesmo software.

Visto a insuficiência de dados de vazão contínuos para o cálculo de *stream power*, a metodologia de FRYIRS e BRIERLEY (2013) foi adaptada a fim de converter os dados de velocidade obtidos no canal em energia cinética, de modo que seja atribuída como um indicador da distribuição das velocidades no fluxo. A conversão dos dados de velocidade para energia cinética foi realizada através da ferramenta raster calculator no ArcGIS, seguindo a fórmula:

$$k = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

Onde:

k é a energia cinética dada em J;

m é a massa da água por m³ (1000 kg);

v é a velocidade calculada por cada um dos pontos e interpolada em matriz.

Em seguida, no mesmo software, foi escolhida a amostragem dos dados por classes estatísticas, baseadas no Desvio Padrão e Quantil dos valores obtidos.

5.3 Interpretação dos dados levantados

O seguinte passo dos procedimentos do trabalho em questão diz respeito a correlação dos dados levantados em campo, e posteriormente processados, com informações referentes aos controles fluviais e a variação de vazão no Alto Curso do Rio Paraíba.

Levantadas as informações de campo, foram adquiridos dados fluviométricos referentes às vazões no Alto Curso do Rio Paraíba antes e durante a transposição, por meio da plataforma HIDROWEB, da Agência Nacional de Águas (ANA), do site da Agência Executiva de Gestão das Águas (AESAs). Esses dados fluviométricos foram associados com dados de precipitação das PCDs distribuídas ao longo do canal principal e disponibilizados pela AESA e pelo INMET a fim de buscar uma relação entre os registros de ocorrências pluviométricas com os eventos de vazão na área de estudo.

Referente às informações de precipitação e suas relações com a vazão, os gráficos gerados, inicialmente, indicaram as condições de regime hidrológico anterior à perenização, respondendo diretamente às chuvas e imediatamente diante destas.

Considerando a vazão como uma resposta do escoamento superficial, deslocando a água dos trechos de montante a jusante, diante da saturação do solo e perdas de transmissão por infiltração, o escoamento não ocorre imediatamente após a chuva, assim dependendo das condições dos solos presentes nas vertentes, bem como das condições de infiltração, e da massa de água, fornecida a partir da precipitação. E a precipitação, como resultado das condições e comportamento dos sistemas atmosféricos atuantes, mais especificamente dos sistemas convectivos, responsáveis pelas chuvas orográficas e torrenciais, característicos por se concentrarem em curta espacialidade e temporalidade.

Os períodos escolhidos para amostragem consistiram na representatividade dos dados pluviométricos e dos eventos de vazão, estando relacionados com a atuação da ZCIT e dos ENOS, bem como do início do uso das águas do Rio São Francisco na bacia do Alto Curso do Rio Paraíba.

Em um primeiro momento, foram avaliados os dados referentes à resposta fluvial diante da influência direta das chuvas, sem considerar a intervenção da perenização e

apesar da existência de barramentos ao longo do rio. A temporalidade referente a estes dados foram os anos de 2004 e 2008, os quais apresentaram forte atuação do La Niña.

Os dois momentos de amostragem seguintes foram os anos de 2017 e 2018, o primeiro, referente à liberação do fluxo do Rio São Francisco para a perenização do Alto Paraíba (a partir de março de 2017), através do PISF (Projeto de Integração do São Francisco), e o segundo, apesar de breve, é referente ao fechamento das comportas do PISF e diz respeito à influência das chuvas após as modificações promovidas pela vazão regularizada.

Assim, os períodos escolhidos foram: 2004 e 2008, sendo anos representativos de forte atuação do La Niña; 2017 e 2018, durante a perenização; e de 4 de abril a 1 de maio de 2018, após fechadas as comportas responsáveis por liberar as águas do Rio São Francisco.

A escolha das estações fluviométricas se baseou na disponibilidade dos dados durante o período histórico desejado, bem como em se situar no trecho principal do Rio Paraíba. Assim sendo, as estações escolhidas foram: Caraúbas, localizada no município de mesmo nome (7°43'42" S e 36°30'9" W), e PISF Monteiro, no município de Monteiro (7°53'13" S e 37°6'30" W). Quanto às estações pluviométricas, foram analisadas as PCDs localizadas nos respectivos municípios, porém em localidades distintas das estações fluviométricas, sendo elas: Caraúbas (7°43'31.08" S e 36°29'25.08" W) e Monteiro (7°52'48.00" S e 37° 3'36.00" W).

Em seguida, foram feitas análises comparativas quanto ao comportamento e evolução dos canais. Para esta análise, foi utilizada a classificação de Estilos Fluviais realizada por Santos (2017), levando em conta os diferentes controles fluviais nos quais o canal de insere, bem como a condição de sensibilidade que o mesmo oferece. Para sensibilidade, visto que não foi possível gerar informações suficientes para uma análise mais precisa, foi tomado por base os Estilos Fluviais no que se refere ao material que compõe os trechos do canal.

Dos quatro Estilos Fluviais delimitados e que foram discutidos anteriormente, na caracterização da área, foram feitas coletas de campo referentes a dois deles, visto a presença de alta vazão no trecho do rio em Caraúbas e em Monteiro, oferecendo condições de pouca segurança na coleta, podendo oferecer riscos e comprometer a execução do trabalho. Quanto aos estilos fluviais remanescentes, foram analisadas a partir de fotos tiradas em outros trabalhos de campo e comparadas com o quadro apresentado no trabalho de campo desta pesquisa. Em sequência, feita a descrição do comportamento

dos canais, foi feito um diagnóstico preliminar quanto às modificações entre os dias 20 a 22 de outubro de 2017 e 02 a 04 de abril de 2018.

E por último, tomando por base os dados hidrológicos medidos em campo e os dados secundários de distribuição das chuvas e de vazão, foi inferido quanto às futuras modificações e sugeridos os possíveis impactos de natureza hidrofísica no canal.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados do trabalho se estruturaram na análise dos dados coletados e gerados a partir de alguns tópicos fundamentais, sendo eles a interpretação dos dados hidrológicos secundários, antes e após a transposição, considerando chuva e vazão. O seguinte momento consistiu na análise a partir dos levantamentos hidrológicos medidos em campo, referentes às velocidades e a topografia dos canais, de modo que foram propostos possíveis cenários frente as mudanças no regime hidrológico do Alto Paraíba, os associando com o mapeamento dos Estilos Fluviais já realizado e discutido pontualmente, considerando as diferentes condições de sensibilidade nos referidos trechos (Figura 8).

As coletas de campo foram realizadas em três pontos, os quais corresponderam a dois dos quatro Estilos Fluviais presentes na bacia e que foram obtidas informações das velocidades do fluxo e da topografia, relevantes às análises. A figura 14 apresenta os pontos e os canais em planta dos trechos que foram trabalhados em campo, representando os estilos fluviais CNCBA (Canal Não Confinado com Barras Arenosas) e CSIV (Canal Semiconfinado com Ilhas de Vegetação).

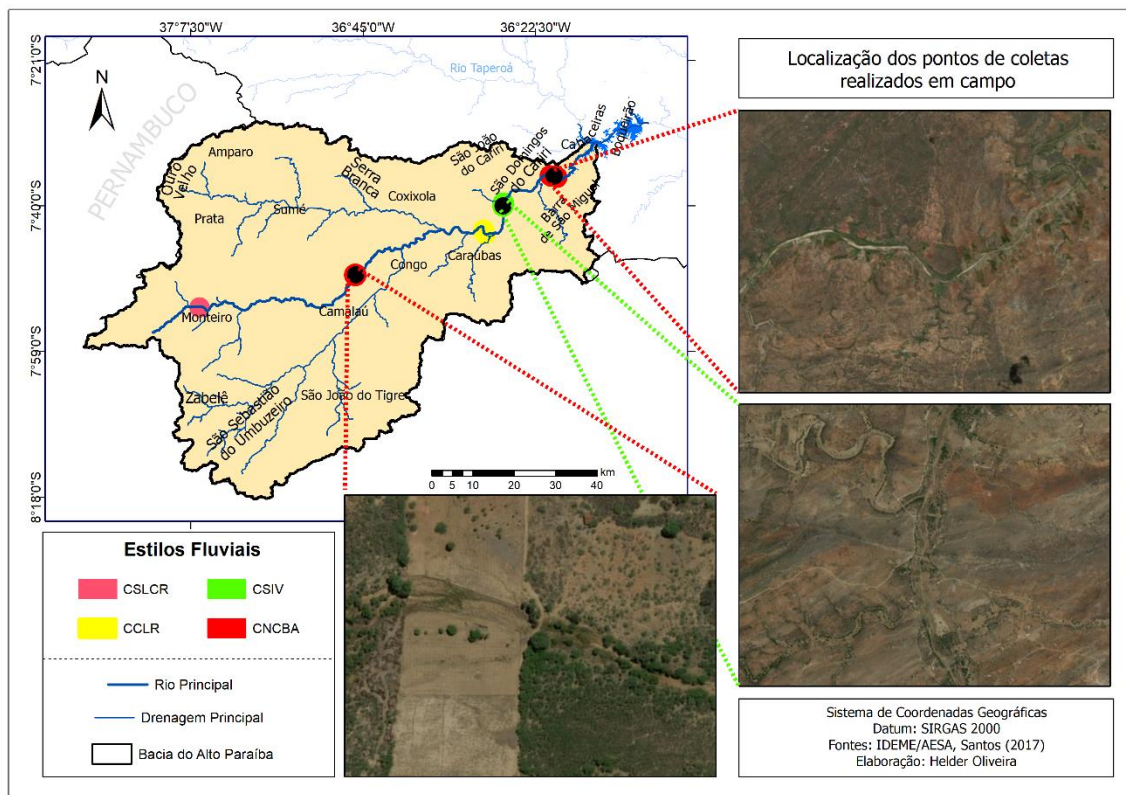


Figura 13 - Mapa de localização dos levantamentos em campo.

6.1 Hidrologia: respostas da relação precipitação-vazão

A fim de ilustrar o regime hidrológico dos pontos de controle da área de estudo, as figuras 14 e 15 contêm hidrogramas de distribuição das chuvas durante os anos de 2004 e 2008, indicando prolongados períodos de estiagem, seguidos de picos nos valores de precipitação e vazão.

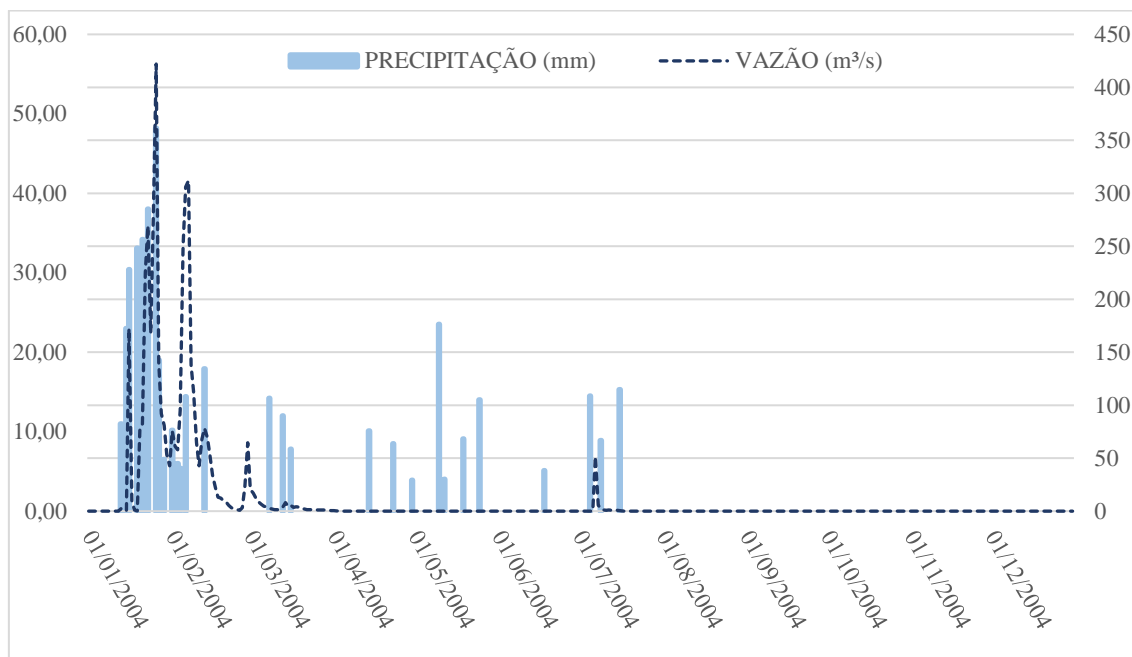


Figura 14 - Hidrograma do município de Caraúbas no ano de 2004.

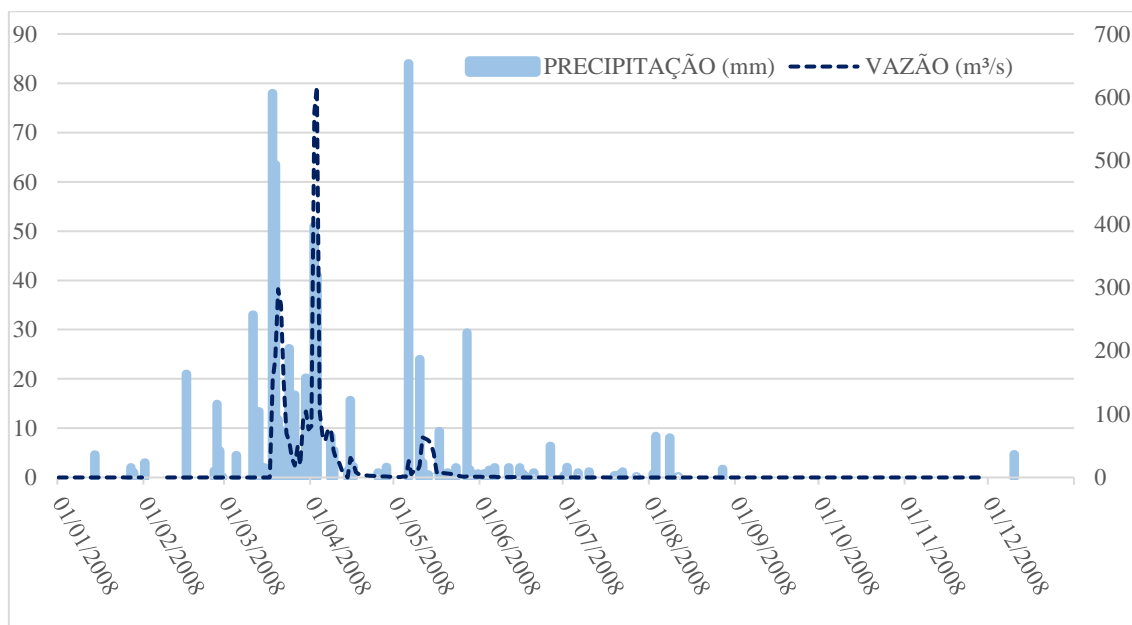


Figura 15 - Hidrograma do município de Caraúbas no ano de 2008.

Nessas figuras, é possível observar a variação, a qual se apresenta abrupta, entre os eventos de precipitação anuais, destacando a transição entre os extremos, dos momentos de seca, predominantes no ano, e de período chuvoso, apresentando condições pluviométricas extremas, o que reflete na condição de vazão, esta alcançando os valores máximos de 422 m³/s, em 2004, e 616 m³/s, em 2008. Esses valores por si só já apresentam considerável potencial erosivo, incidindo diretamente na estabilidade das margens dos canais.

A fim de atribuir um destaque maior ao período chuvoso dos referidos anos, através dos hidrogramas das figuras 16 e 17, é possível observar uma amplitude considerável nos valores das chuvas e de vazão, no município de Caraúbas, durante os anos de 2004 e 2008, respectivamente, havendo picos da transição dos momentos de estiagem a até precipitações de 84 mm/dia, indicando considerável variabilidade das chuvas. A vazão responde por meio da latência (*lag*) entre as ocorrências pluviométricas, infiltração e escoamento superficial. Desta forma, apesar do alto potencial erosivo das primeiras chuvas, parte considerável é retida através da infiltração, até que o solo sature e a vazão apresente resposta imediata frente ao prolongamento das chuvas.

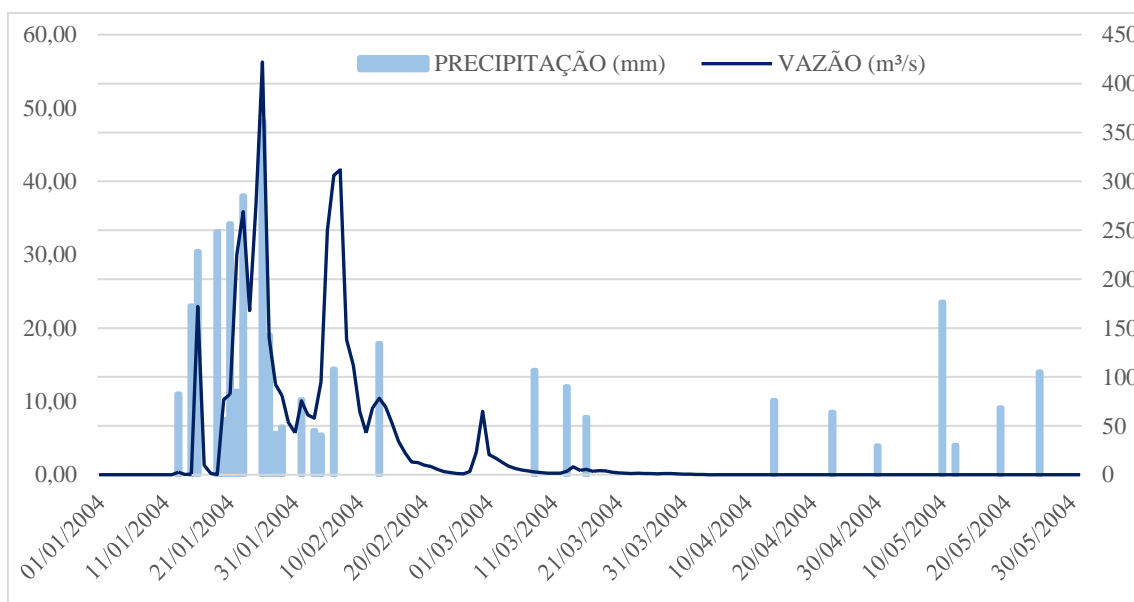


Figura 16 - Hidrograma do município de Caraúbas nos meses de janeiro a maio de 2004.

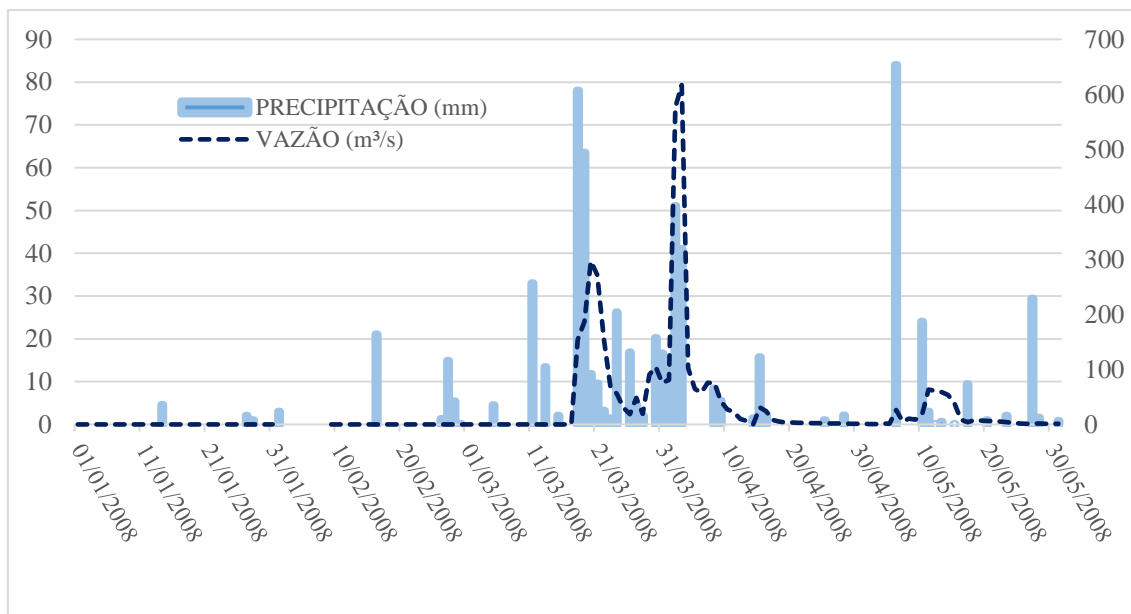


Figura 17 – Hidrograma do município de Caraúbas nos meses de janeiro a maio de 2008.

De forma geral, esses eventos chuvosos, se prolongados ou se sofrerem fortes picos, nos quais a paisagem não possua capacidade de absorver a água, proporcionam uma alta condição de descarga nos canais, como apresentado nas precipitações entre os dias 13/01 de 2004 até 26/01 do mesmo ano. Nestas datas, os picos de chuva oscilam de 11mm a 23mm e de 23mm a 30mm, até que alcançam o máximo de 48mm, respondendo o gráfico de vazão a partir do dia 13/01, com aproximadamente 25% da precipitação no referido dia (2,4 m³/s) e seguindo oscilando entre os picos de 82,3 m³/s, 225 m³/s, até alcançar o pico máximo de 422 m³/s, coincidente com a precipitação no dia 26/01.

Nos hidrogramas do ano de 2008, seguindo a mesma lógica, apesar de demonstrar uma distribuição de picos mais espaçada durante o ano, os valores máximos foram alcançados entre os meses de março e maio, com maior duração no fim do mês de março e começo de abril, em que houveram os picos de 33mm, 78mm e 51mm, nos dias 11/03, 18/03 e 02/04, respectivamente. No mês seguinte, foi registrado o maior pico de chuva, no dia 06/05, alcançando a marca de 84mm. Nos dados de vazão, há uma resposta considerável a partir do dia 18/03, registrando 154 m³/s, seguido de uma oscilação entre os valores de 297 m³/s e reduzindo progressivamente, até o mínimo de 18,7 m³/s, nos dias 20/03 e 26/03, respectivamente. Do dia 29/03 até o dia 03/04, os valores crescem exponencialmente, chegando de 90,7 m³/s até 616,9 m³/s, respectivamente. Apesar de o maior pico de chuva ocorrer durante o dia 06/05, os valores registrados na referida data são irrisórios, se comparados aos picos de vazão anteriores, visto que houve um maior

espaçamento entre as chuvas do referido pico e os demais, permitindo a água armazenada no solo percolar, evaporar ou ser absorvida pelas plantas, sendo removida do sistema e aumentando a porção aerada do solo para as chuvas subsequentes.

Esses dados dos hidrogramas confirmam o caráter torrencial das chuvas, concentradas em curta temporalidade e de grande proporção, estabelecendo uma relação de dependência direta da condição de vazão quanto a precipitação na bacia e indicando alto potencial erosivo das chuvas.

Visto e compreendido o comportamento anterior à recepção das águas do PISF (Projeto de Integração do São Francisco) no Alto Curso do Rio Paraíba, o hidrograma da figura 18 indica o comportamento da vazão imediatamente após a recepção das águas do Rio São Francisco, registrando o valor de 555,3 m³/s no dia 12/03/2017, em pleno período de seca, com forte atuação de El Niño. Desta forma, o mesmo gráfico não apresenta momentos de ausência de vazão após o referido pico, indicando então a transição do comportamento hidrológico intermitente para perene, o que pressupõe condições intensas de degradação fluvial.

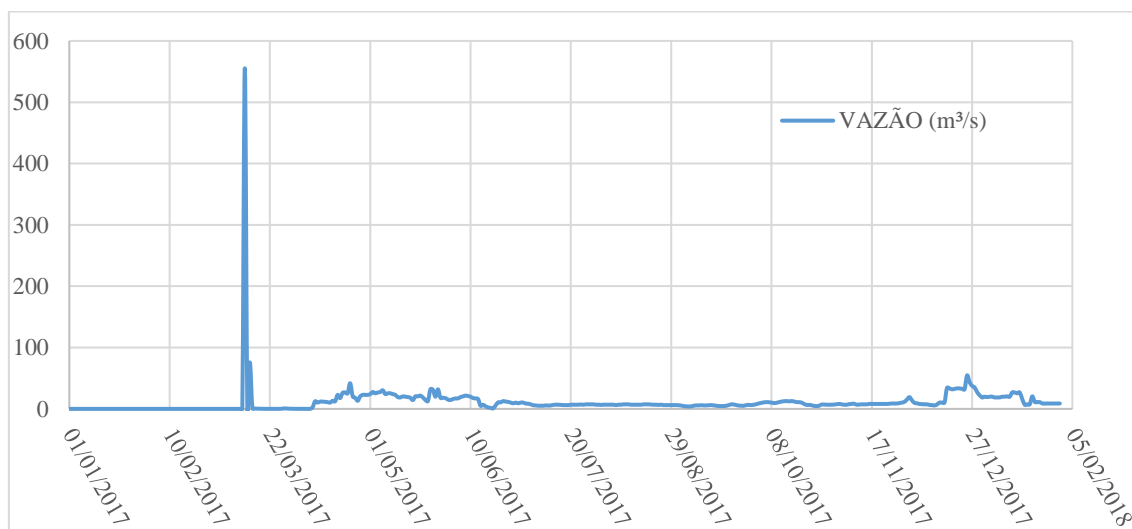


Figura 18 - Hidrograma do município de Caraúbas nos anos de 2017 e 2018.

Quanto ao município de Monteiro (figura 19), por sua vez, avaliando os hidrogramas referentes ao período em que o fluxo já se encontra perenizado, é possível observar que a vazão já passa a ser muito sensível e responsiva à precipitação, de modo que os mínimos valores de precipitação já condicionam um aumento rápido na condição de descarga no canal.

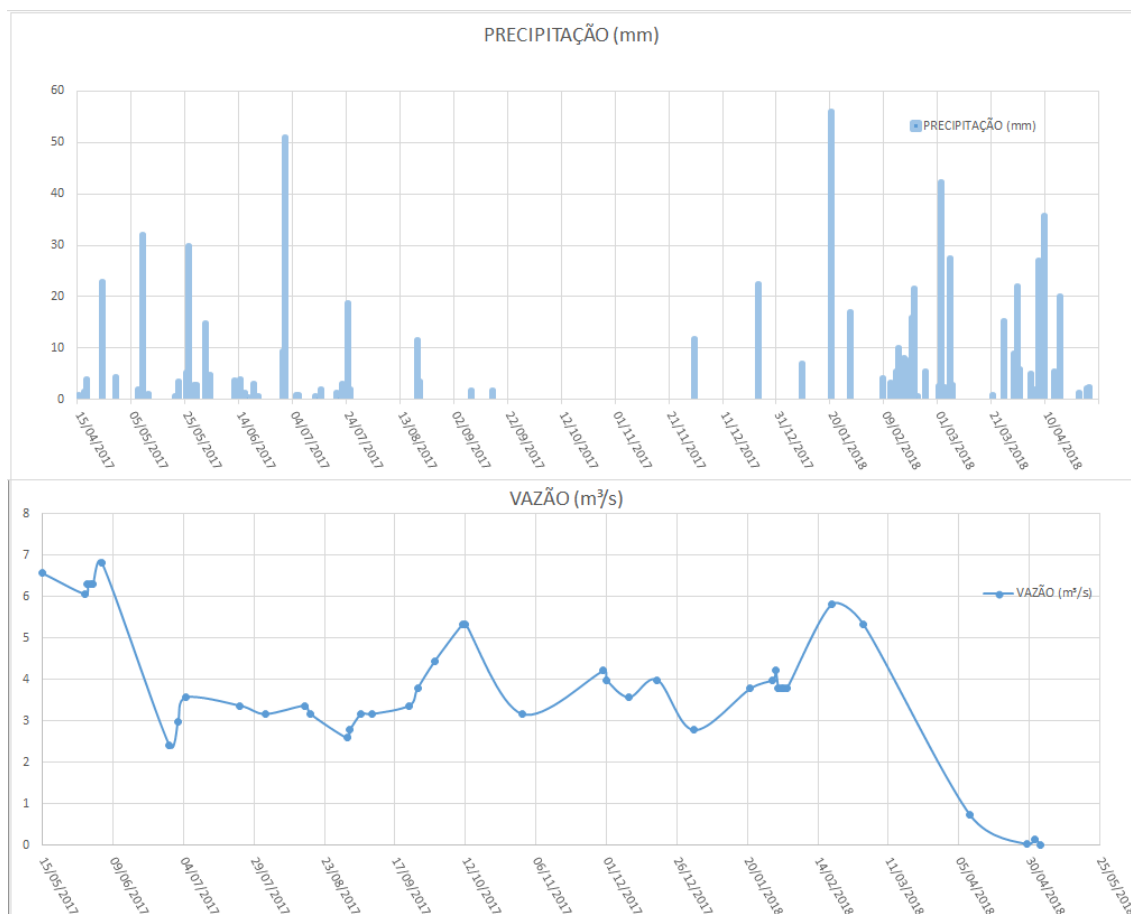


Figura 19 - Hidrogramas do município de Monteiro nos anos de 2017 e 2018.

Os valores iniciais registrados na vazão do segundo hidrograma, referentes ao mês de março, correspondem às chuvas antecedentes, das quais os picos anteriores mostraram influência no fluxo pela saturação do solo.

O pico mais representativo de precipitação em 2017 se deu durante o dia 01/07, em que foi registrado o valor de 51 mm, aumentando a vazão de 2,41 m³/s (29/06) para 3,57 m³/s (05/06). Apesar de responder sensivelmente, o volume de água não oscilou tão significativamente, pois os eventos de chuvas foram episódicos, permitindo maior infiltração da água na área da bacia e menor incidência direta no canal.

No ano de 2018, três foram os picos de precipitação mais contrastantes: 56 mm (20/01), 42,2 mm (02/03) e 35,8 mm (09/04). No primeiro, apesar de referente ao maior pico de chuva do hidrograma, esta por se apresentar isolada, sofreu maiores perdas por transmissão e elevou modestamente o nível da vazão do canal de 2,78 m³/s (01/01) para 3,78 m³/s (21/01). No pico seguinte, referente às ocorrências chuvosas de maior duração, há um aumento considerável da vazão, de 3,78 m³/s (03/02) para 5,82 m³/s (19/02),

indicando maior volume de água por recepção dos 42,2 mm de chuva na bacia sobrepostos à vazão perenizada.

Frente ao começo do período chuvoso, como pode ser observado a partir do mês de maio, com chuvas mais regulares, houve o fechamento das comportas do reservatório, no dia 04/04, promovendo uma queda drástica no volume e na vazão da água no trecho avaliado, sendo reduzido de 5,34 m³/s (02/03) para 0,73 m³/s (09/04), mesmo diante da ocorrência de eventos chuvosos. O pico de chuva seguinte, por sua vez, não promoveu mudanças significativas, visto que toda a água que passara a alimentar o canal seria oriunda das chuvas.

Além do que foi discutido, alguns dos picos de vazão não condizem com os dados de precipitação e a dinâmica hidrológica local, assim indicando liberação de maiores volumes de água do reservatório diretamente para o Rio Paraíba, aumentando rapidamente a vazão e, conseqüentemente, os impactos no canal, como indicado principalmente no pico do dia 12/10/2017.

6.2 Apresentação dos pontos trabalhados por Estilo Fluvial

Dos quatro Estilos Fluviais, três foram os pontos de coleta realizados em campo, conforme apresentados na figura 14. Com base nas figuras, os pontos que não puderam ser feitas as medições topográficas, referentes ao Canal Confinado com Leito Rochoso (CCLR), em Caraúbas, e ao Canal Semiconfinado com Leito Cascalho-Rochoso (CSLCR), em Monteiro, foram utilizadas fotos a fim de comparar as modificações entre o período de outubro de 2017 e abril de 2018.

O primeiro ponto, referente ao Canal Não Confinado com Barras Arenosas (CNCBA) (figura 20), consiste em um canal entrelaçado com presença de planície de inundação e barras arenosas com vegetação no leito do canal (figura 21). Nele, é possível observar que o canal é dividido visto a resistência oferecida pelas barras, com um grau de estabilidade oferecido pela vegetação.



Figura 20 - Canal Não Confinado com Barras Arenosas (CNCBA), Cabaceiras (PB). Fonte: Santos, 2017.



Figura 21 - Canal Não Confinado com Barras Arenosas (CNCBA), Cabaceiras (PB).

A distância do fim do terraço, e começo da planície de inundação, até onde conseguiu ser medido, próximo à margem direita, foi mensurada em aproximadamente 73 m, apresentando profundidades máximas de 1,15 m e 1,05 m, divididos pela barra arenosa no leito do canal, responsável pela divisão do fluxo no canal, conforme pode ser observado na figura 22. Neste estilo fluvial, o gradiente longitudinal médio do canal é de 3,57 m/km, indicando baixa variação altimétrica, ou seja, menos energia potencial no canal, confirmando a condição de formação das feições deposicionais ao longo do canal.

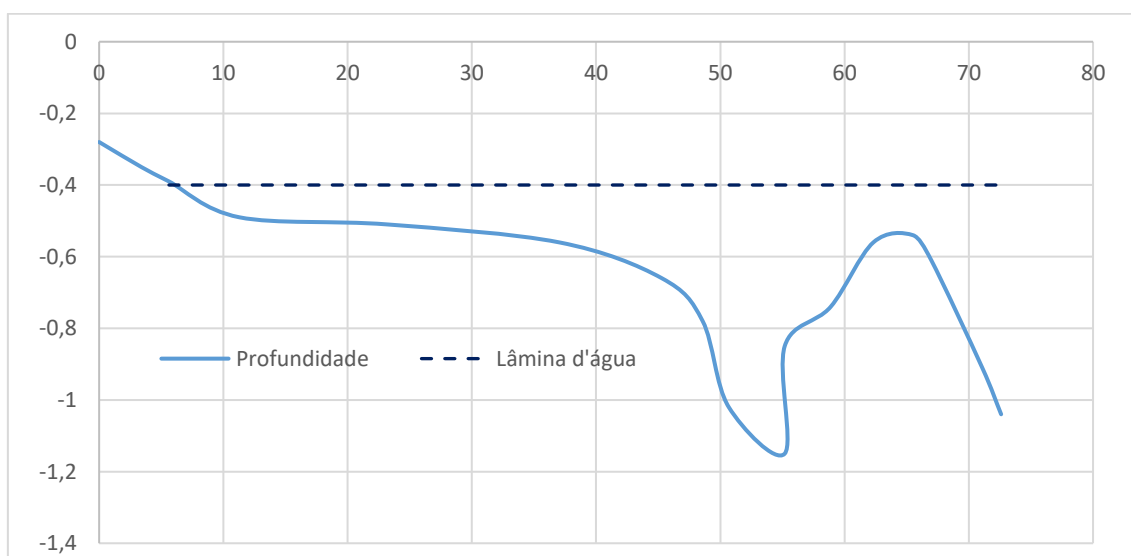


Figura 22 - Seção transversal de planície de inundação, canal e barra arenosa em Canal Não Confinado com Barras Arenosas (CNCBA).

O segundo ponto, referente ao Canal Semiconfinado com Ilhas de Vegetação (CSIV) (figura 23), consiste em uma condição de canal único, com menor dispersão de energia comparado ao trecho anterior. Neste trecho, em função da estabilidade oferecida pela vegetação, há a deposição de material mais fino nas planícies de inundação.

Neste trecho, é possível observar a construção de uma passagem de pedra que cruza parte do canal (figura 24), o que condiciona mudanças significativas diretamente no canal, visto que há o desvio e concentração do fluxo nesse trecho (figura 25) e dispersão logo após a passagem, onde se formam e se estabilizam as barras, pela colonização das plantas, dando forma às ilhas ao longo do canal, como pode ser observado na figura 26.

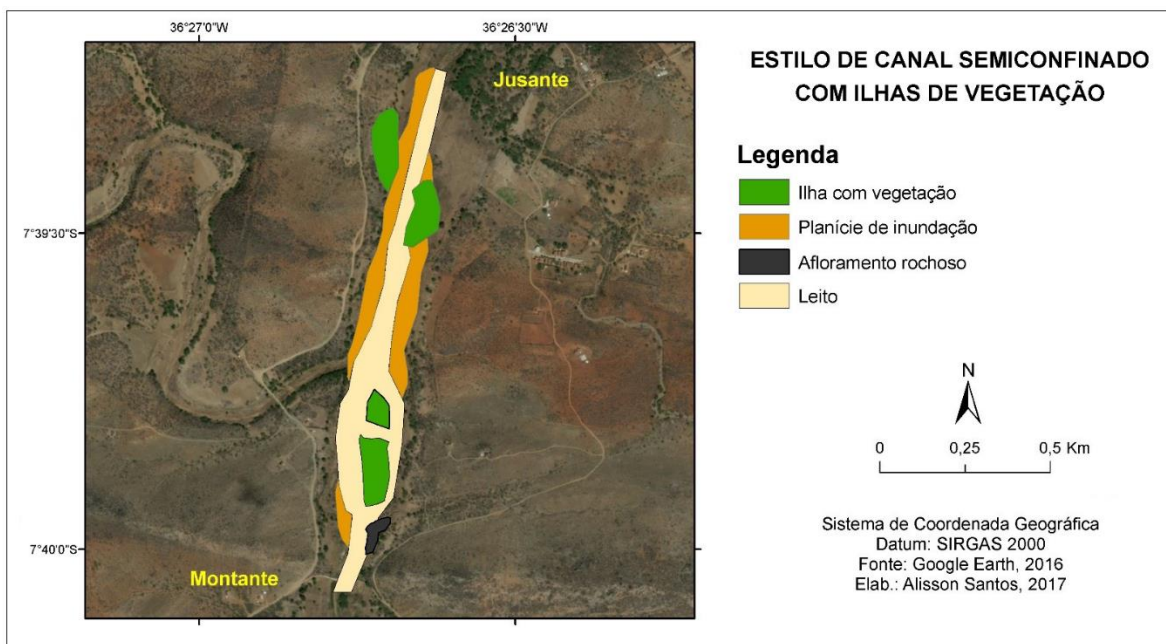


Figura 23 - Canal Semiconfinado com Ilhas de Vegetação (CSIV), São Domingos do Cariri (PB). Fonte: Santos, 2017.



Figura 24 - Ponte em construção em Canal Semiconfinado com Ilhas de Vegetação (CSIV), São Domingos do Cariri (PB).



Figura 25 - Desvio e concentração de fluxo a partir da construção da passagem de pedra, São Domingos do Cariri (PB).



Figura 26 - Formação de ilhas no canal, São Domingos do Cariri (PB).

A distância medida entre as margens foi de 14 m e apresentando profundidade máxima de 1,90 m. Nesta seção lateral há o estreitamento do canal, incompatível com o trecho abordado se comparado aos dois outros pontos de coleta, devido a construção da passagem de pedra, obstruindo o fluxo. Logo, visto que só foi possível realizar medições desta localização, foi admitido o contato da estrutura com a água como a margem esquerda. Neste canal, foi possível identificar processos erosivos incidentes na margem direita do canal, bem como um trecho mais profundo imediatamente a frente da passagem, indicando o talvegue do canal, como pode ser observado na figura 27. Neste trecho do canal, o gradiente apresenta valor médio de 4,45 m/km, indicando uma variação de energia mais elevada que o anterior.

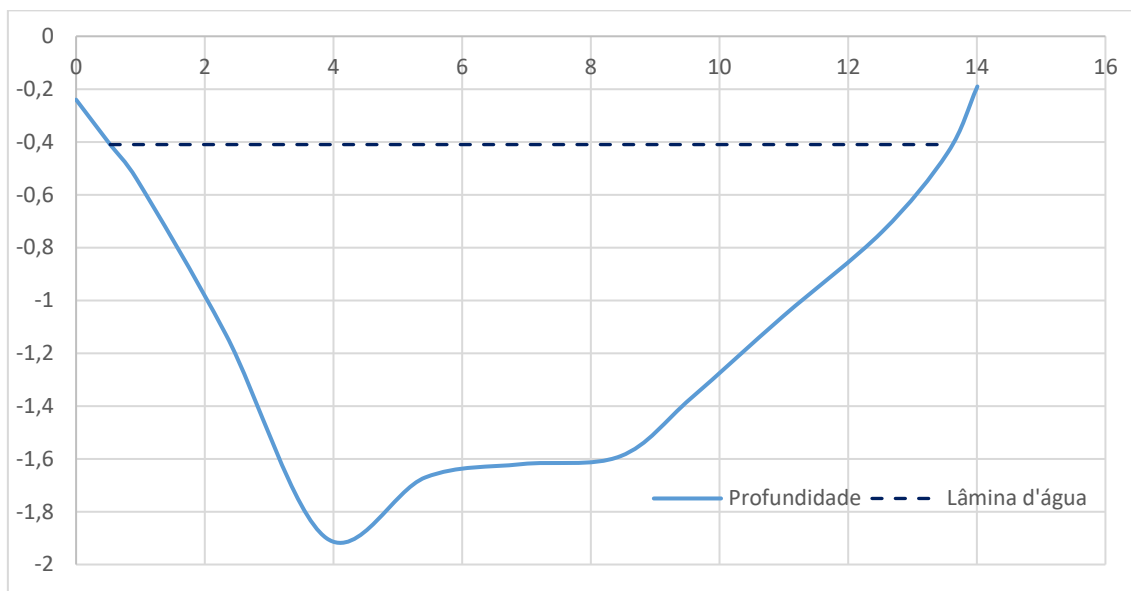


Figura 27 - Seção transversal de Canal Semiconfinado com Ilhas de Vegetação (CSIV).

O terceiro ponto, novamente referente ao Canal Não Confinado Barras Arenosas (CSIV) (figura 28), apesar de se apresentar em similar condição fluvial que o primeiro ponto, consiste em uma situação menos estável de formação das barras arenosas, com geometria de canal mais uniforme que os dois anteriores, além de menor presença de vegetação na estabilização das barras arenosas. Nele, apesar de não haverem grandes modificações aparentes por uso do solo, é possível observar o alargamento do canal, indicando uma alta capacidade de ajuste frente aos distúrbios, seja em função da presença de planície de inundação dos dois lados do canal, bem como da textura arenosa das margens e da planície de inundação.



Figura 28 - Canal Não Confinado com Barra Arenosa (CNCBA), Camalaú, (PB).

A distância da planície de inundação da margem esquerda até a margem oposta foi medida em 33 m, registrando profundidade máxima de 1,29 m, com presença da lâmina d'água a 51 cm de profundidade do canal, com valor máximo de 79 cm. A geometria prismática do canal indica uma condição de energia gradual no canal, com fluxo bem menos turbulento e maiores taxas de deposição no leito e nas planícies de inundação, como pode ser observado na figura 29.

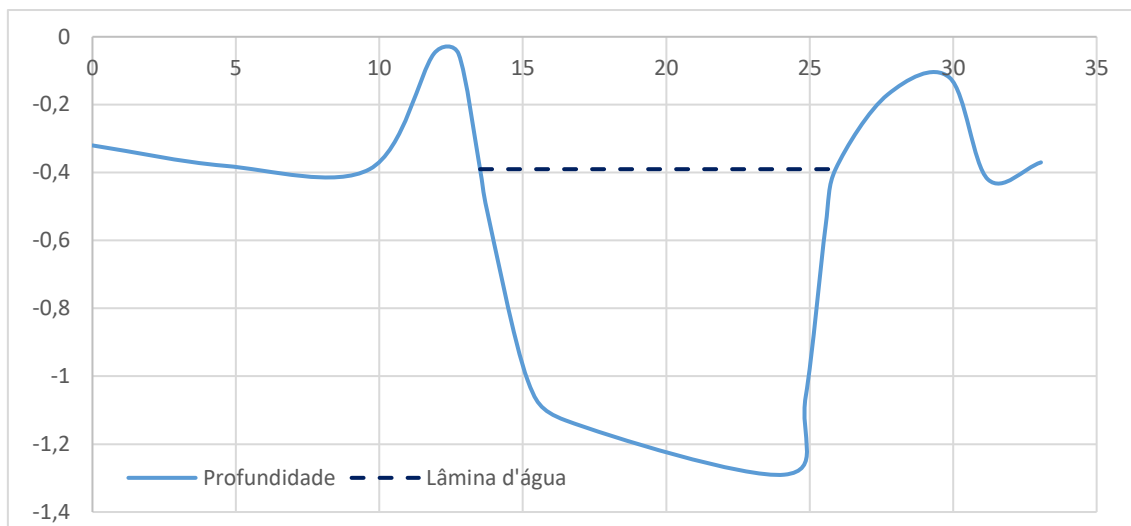


Figura 29 - Seção transversal da planície de inundação, canal e dique marginal em Canal Não Confinado com Barra Arenosa (CNCBA).

O quarto trecho, apesar de não terem sido feitas coletas de dados *in loco*, somente fotos, diz respeito ao Canal Confinado com Leito Rochoso (CCLR) (figura 30), no qual foi observada a presença de margens rochosas e leito rochoso no canal, conferindo irregularidade a geometria do canal, bem como a ausência de planície de inundação, indicando comportamento não responsivo às mudanças de fluxo, compreendido como a baixa capacidade de ajuste do canal.

Conforme pode ser observado nas figuras 31 e 32, as irregularidades presentes no canal indicam o comportamento do leito rochoso frente a soleiras e depressões, o que é explicado pelo controle geológico através das fraturas presentes nas rochas, visto que o trecho se insere na unidade geológica cristalina (Sertânia). A partir desse fraturamento, o fluxo é acomodado e segue a jusante, onde é possível observar a formação de ilhas rochosas com árvores de diversos portes, especialmente arbórea de grande e médio porte e arbustiva espaçada.

Nesta área, foi registrado um gradiente médio de 7,4 m/km, indicando o maior gradiente dentre as localidades avaliadas, indicando uma maior condição de energia potencial no canal e, conseqüentemente, maior potencial erosivo. Quanto às atividades humanas, é possível observar uma barragem artificial à montante, o que influencia diretamente na dinâmica hidrológica local, como será destacado no próximo tópico.

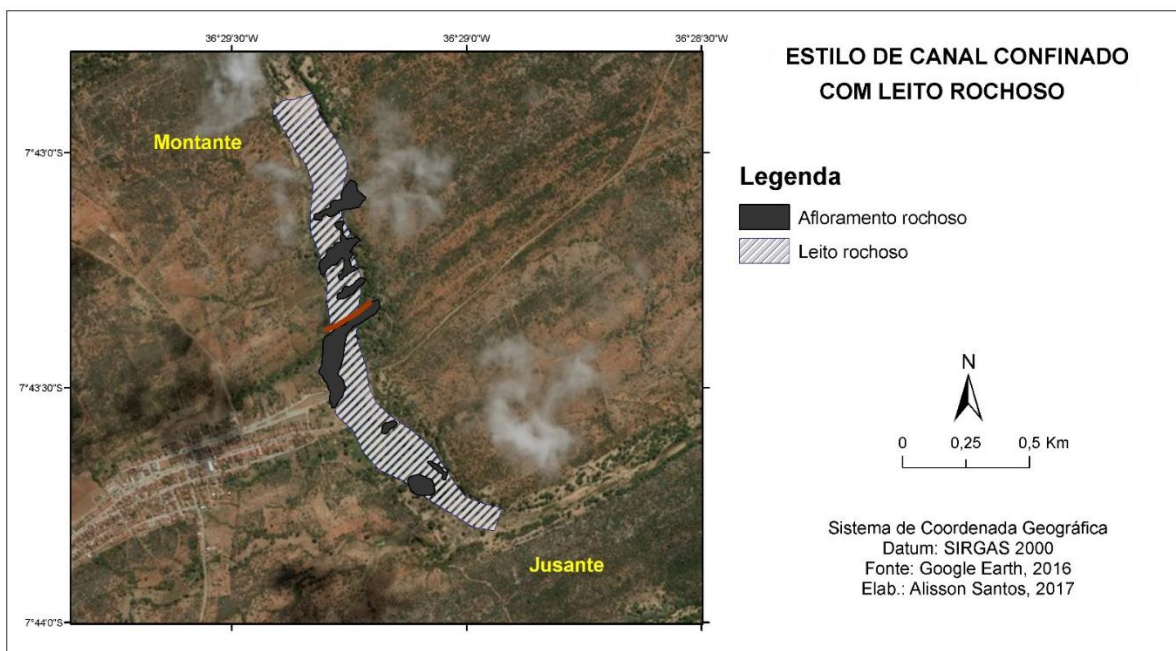


Figura 30 - Planta do Canal Confinado com Leito Rochoso (CCLR), Caraúbas (PB). Fonte: Santos, 2017.



Figura 31 - Canal Confinado com Leito Rochoso (CCLR), Caraúbas (PB).



Figura 32 - Canal Confinado com Leito Rochoso (CCLR), Caraúbas (PB).

O quinto trecho avaliado, referente ao Canal Semiconfinado com Leito Cascalho-Rochoso (CSLCR) (figura 33), consiste em uma área, dita nascente do Rio Paraíba, a qual apresenta uma sequência de afloramentos rochosos no leito do canal (figura 34), conferindo uma geometria irregular ao canal, e alternância entre margem rochosa e planície de inundação.

Nessa área, é possível observar a presença de leito rochoso e formação de barras de cascalho, conforme indicado na figura 35. A competência do fluxo é de material arenoso e cascalho, indicando uma maior quantidade de energia no trecho do canal, principalmente em função da recepção das águas do Rio São Francisco. A estabilidade desses materiais em forma de barras de cascalho se dá em função de serem mantidos pela vegetação presente nelas, predominantemente do tipo arbórea, arbustiva e herbácea.

Este é o trecho mais modificado do Alto Paraíba, em função da recepção das águas do Projeto de Integração do São Francisco (PISF) (figura 36). Nesta área, foi registrado um gradiente médio de 5 m/km, indicando gradiente mais elevado se comparado aos três primeiros pontos, indicando um maior potencial erosivo que essas, porém menor se comparado ao estilo fluvial anterior (CCLR).

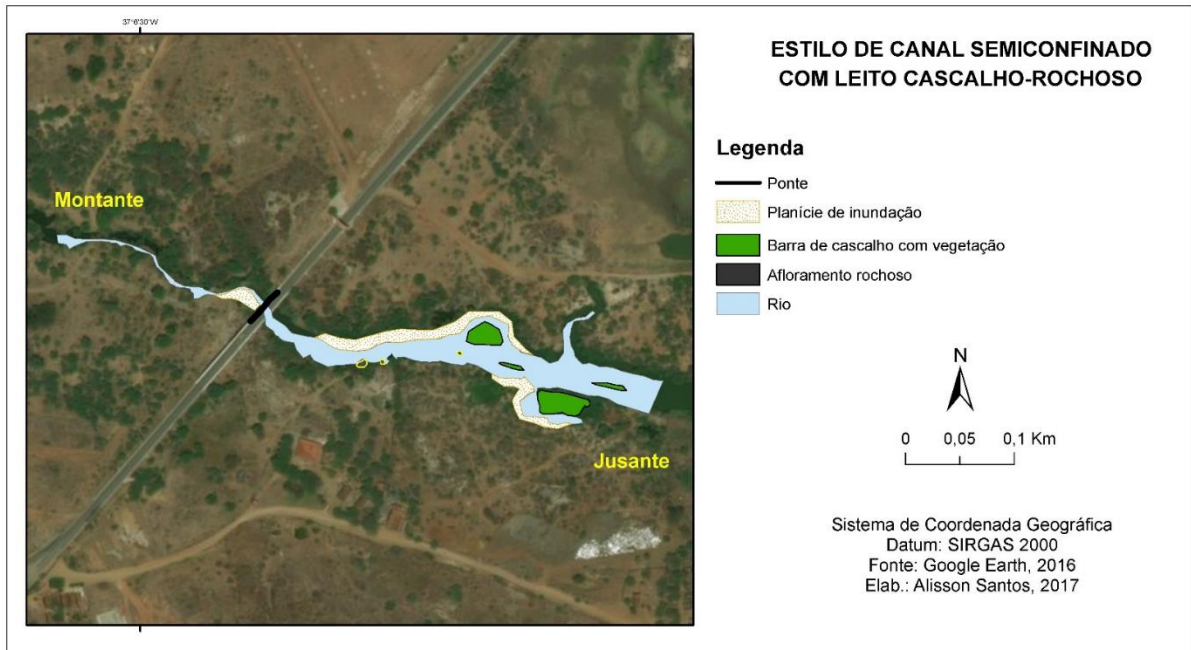


Figura 33 - Planta do Canal Semiconfinado com Leito Cascalho-Rochoso (CSLCR), Monteiro (PB).
Fonte: Santos, 2017.

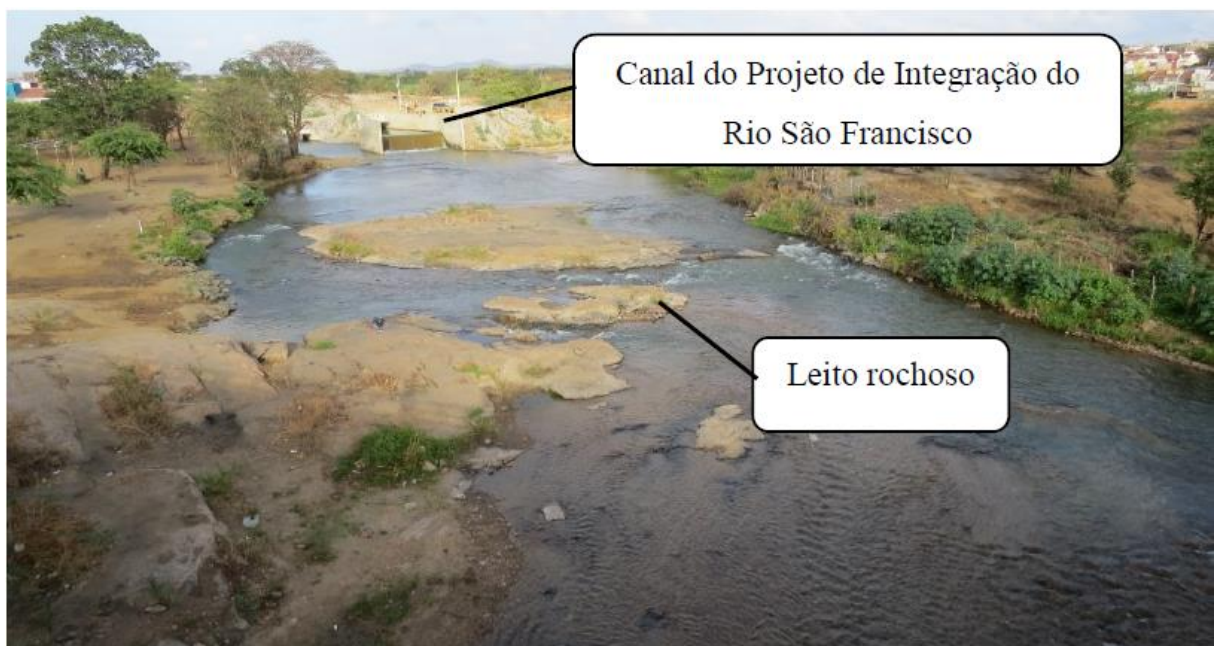


Figura 34 - Canal Semiconfinado com Leito Cascalho-Rochoso (CSLCR), Monteiro (PB). Fonte: Santos, 2017.



Figura 35 - Barras de cascalho em canal semiconfinado, Monteiro (PB). Fonte: Santos, 2017.



Figura 36 - Entrada das águas do rio São Francisco no alto curso do Rio Paraíba, Monteiro (PB). Fonte: O autor, 2017.

6.3 Dados hidrológicos medidos: variação de velocidade na seção lateral

Da variação de velocidade em seção lateral medida nos três pontos visitados, as informações geradas disseram respeito e corroboraram com os estilos fluviais em questão, indicando o potencial erosivo e distribuição da energia nos referidos trechos do canal.

Referente ao primeiro ponto, de estilo de CNCBA (figura 37), foram registrados valores máximos das curvas de velocidade em 7,0 a 9,0 m/s⁻¹, logo abaixo da lâmina d'água sobre os desníveis de maior profundidade, indicando a localização do talvegue do canal. Os valores transitórios, de 5,0 a 3,0 m/s⁻¹, indicam a localização imediatamente após uma barra arenosa, responsável pela dispersão da energia cinética no canal conforme apresentado na figura 22. Os valores mínimos, das curvas de 2,5 a 0,5 m/s⁻¹, por sua vez, indicam trabalho geomorfológico realizado pelo fluxo entre as margens do canal e da barra.

Dentre os valores medidos, a velocidade máxima foi de 9,36 m/s⁻¹, enquanto a velocidade mínima foi de 0,41 m/s⁻¹.

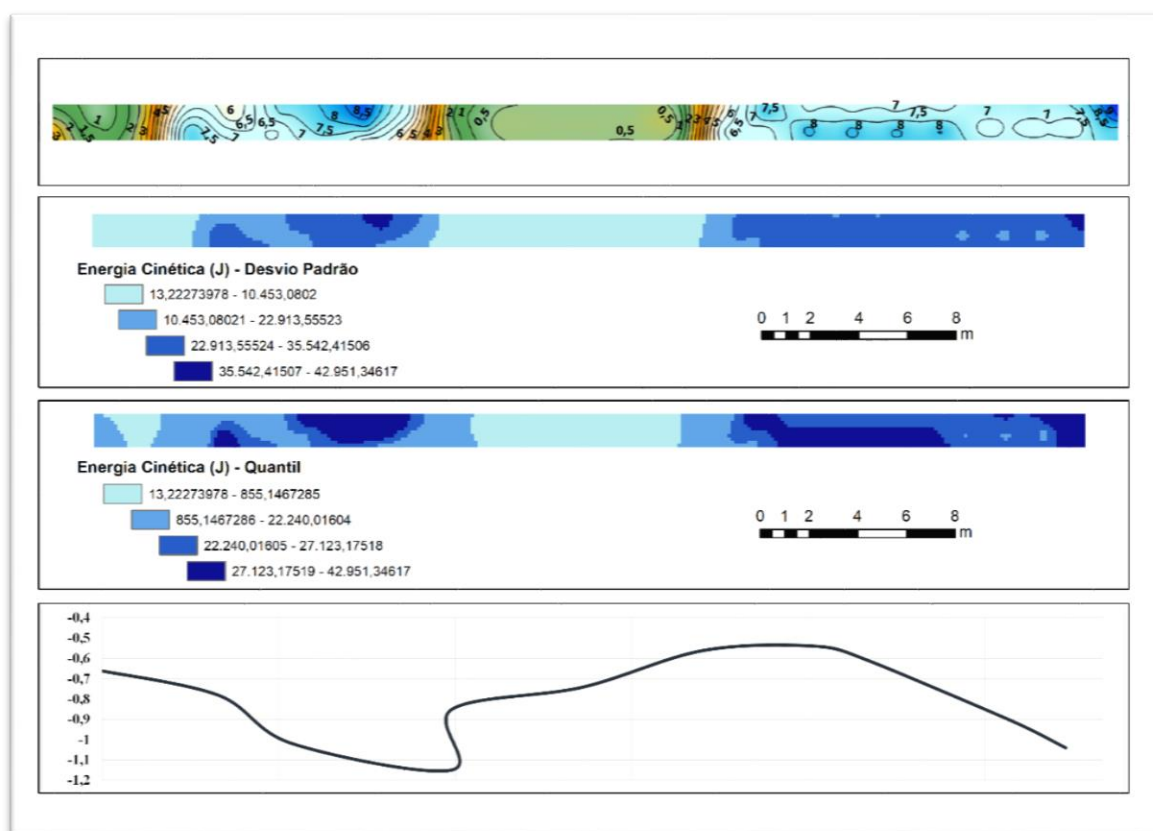


Figura 37 - Distribuição das velocidades no estilo de CNCBA (Cabaceiras), por isótacas (m/s⁻¹), energia cinética (J), por desvio padrão e quantil, e topografia do canal.

Conforme retratado na descrição da topografia e morfologia fluvial, o canal em questão corresponde a um canal entrelaçado, havendo a divisão da energia cinética no canal em mais de um canal, e assim a erosão fluvial incidindo sobre os dois trechos de concentração de energia. Apesar de visualmente a velocidade do fluxo ter maior distribuição em proximidade com a margem direita, e não havendo coleta de dados nesta, é possível observar que a energia possui concentração maior ao lado direito, visto os registros de maior velocidade neste.

Desta forma, é possível observar que os processos fluviais no canal em questão contribuem para o aumento da barra arenosa, por deposição dos materiais mais finos nestas, e estabilização por colonização pela vegetação, bem como transporte do material mais grosseiro pelo canal.

No segundo ponto, diante de uma condição de maior intervenção e desvio de fluxo do canal, conforme evidenciado nas figuras 25 e 26, há conseqüentemente um maior potencial erosivo, indicado pelas velocidades do fluxo, apresentado na figura 38.

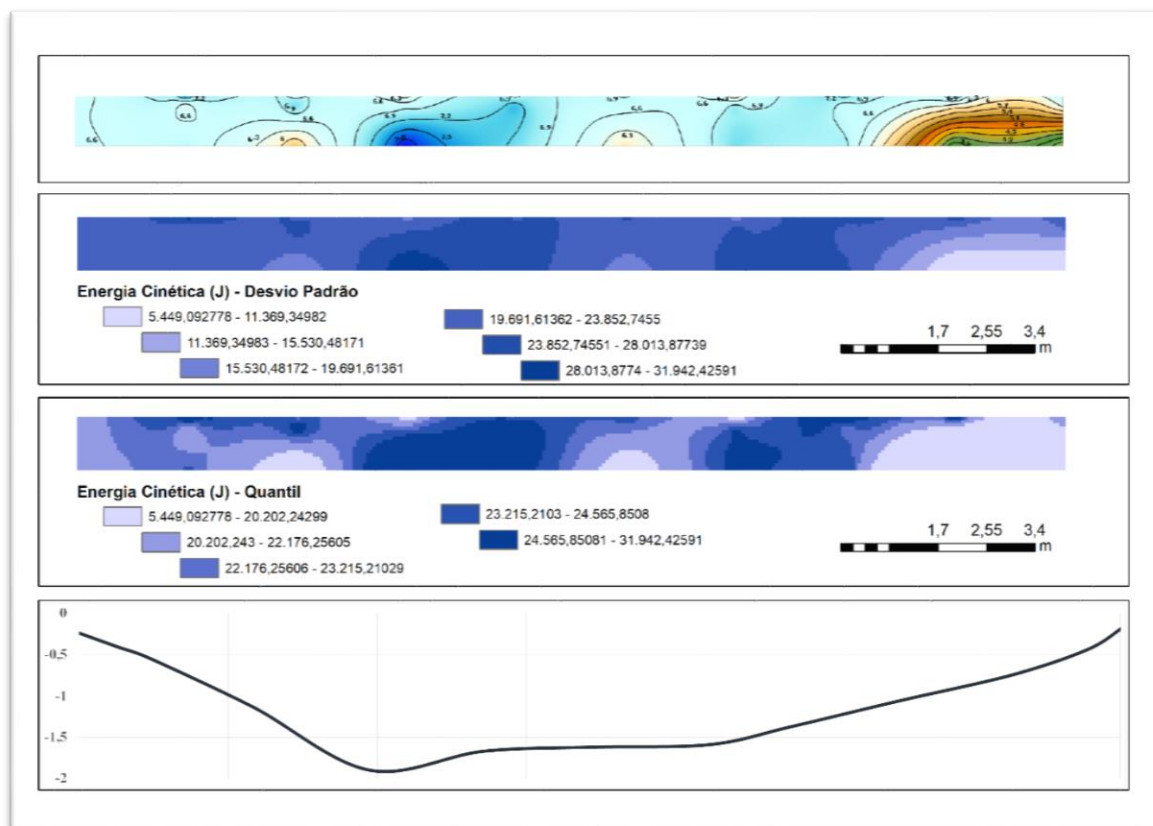


Figura 38 - Distribuição das velocidades no estilo de CSIV, por isotacas (m/s^{-1}), energia cinética (J), por desvio padrão e quantil, e topografia do canal.

Neste, os valores máximos das curvas de velocidade foram de 6,9 a 7,8 m/s⁻¹, incidente sobre o trecho de maior profundidade do canal. Os valores intermediários, de 6,3 a 5,4 m/s⁻¹, onde há maior perda de energia, de acordo com a proximidade da margem direita. Os valores da margem esquerda, por sua vez, apresentam valores maiores que os registrados na margem oposta, visto que indica a localidade onde está construída a passagem de pedra, oferecendo deflexão ao fluxo e o concentrando imediatamente após a construção, onde se localiza o talvegue do canal, como fora indicado nas figuras supracitadas.

Já os valores mínimos foram de 3,6 a 5,1 m/s⁻¹, indicam trabalho geomorfológico, como é possível observar imediatamente após o trecho medido, onde há indícios de erosão lateral em função do desvio do fluxo, erodindo a margem direita e depositando os sedimentos no trecho oposto, onde há a presença de ilhas. Dentre os valores medidos, a velocidade máxima foi de 7,99 m/s⁻¹, enquanto a velocidade mínima foi de 3,30 m/s⁻¹, indicando um alto elevado potencial erosivo por todo o perfil lateral do canal, se comparado ao ponto anterior

No ponto seguinte, referente a um canal mais uniforme, largo e com topografia mais aproximada de um canal prismático, como já indicado nas figuras 28 e 29, há também uma distribuição gradual da energia, a qual se assemelha aos modelos de padrões de isovelocidades, como indicado na figura 39.

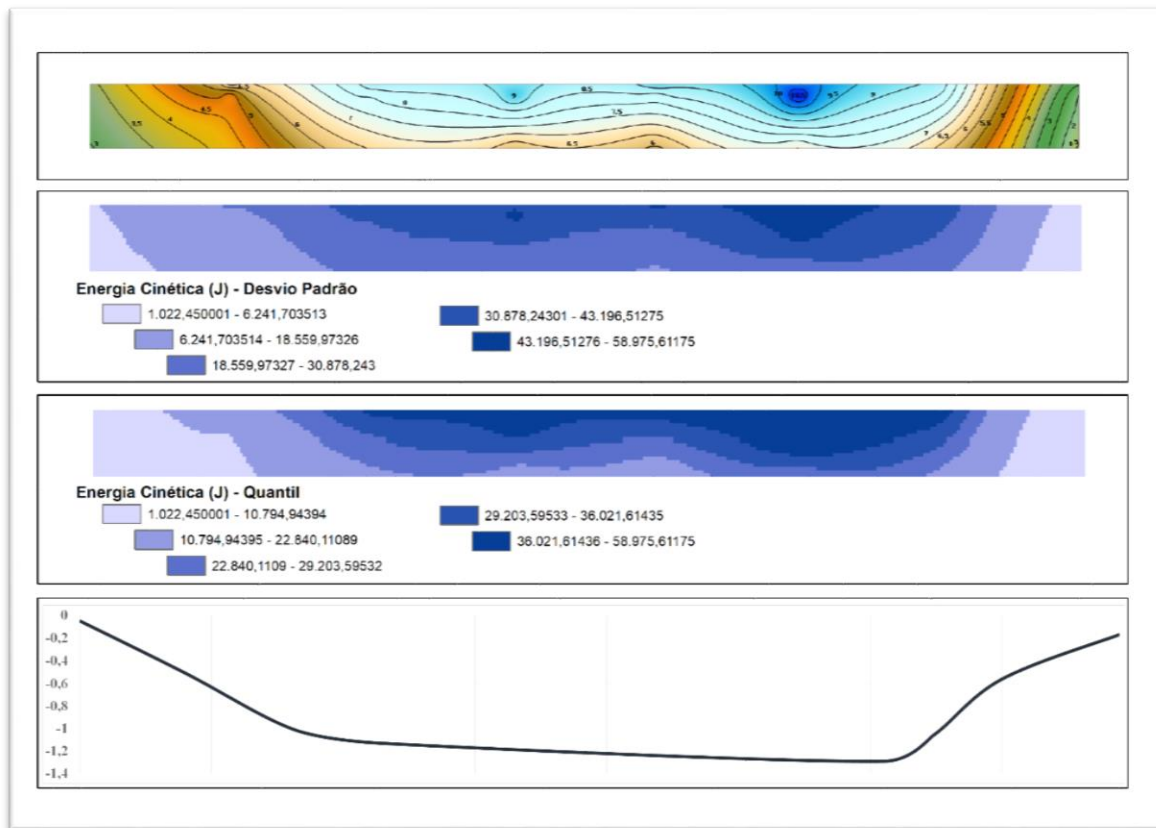


Figura 39 - Distribuição das velocidades no estilo de CNCBA (Camalaú), por isótopas (m/s^{-1}), energia cinética (J), por desvio padrão e quantil, e topografia do canal.

Neste trecho, os valores máximos registrados nas curvas de velocidade foram de 8,0 a 10,5 m/s^{-1} , imediatamente abaixo da lâmina d'água, sobre os desníveis de maior profundidade no canal. As curvas intermediárias, de 5,0 a 7,5, indicam as perdas de energia em função da proximidade das margens, onde a energia cinética é dissipada e foram medidos os menores valores, de 1,5 a 4,5 m/s^{-1} . O valor máximo registrado foi de 11,22 m/s^{-1} e o mínimo, de 1,43 m/s^{-1} .

Nesses pontos de valores mínimos, é possível observar erosão lateral no canal, por modificação do regime hidrológico, de modo que haja um aumento gradativo da largura do canal por erosão do material, de baixa resistência (arenoso), das margens.

6.4 Cenários atuais, futuros e inferências quanto aos impactos hidrofísicos frente as mudanças no regime hidrológico

Baseado nas modificações indicadas, tomadas por base a topografia e a distribuição das velocidades e da energia cinética no canal, foram diagnosticadas as

mudanças em função da temporalidade das fotos registradas dos pontos, as quais se mostraram satisfatórias e correspondentes ao que fora descrito anteriormente. As modificações destacadas a seguir dizem respeito aos pontos de controle avaliados e sua influência nos processos à jusante do canal, não correspondendo a todo o trecho de cada estilo fluvial pontuado.

No estilo de CNCBA localizado em Cabaceiras, foi observado um aumento considerável na extensão das barras arenosas (figura 40), em função do aumento do fluxo, de montante, condicionando um aumento também dos sedimentos transportados. Essa mudança de regime hidrológico condiciona a estabilização da vegetação, favorecendo o aumento do porte e densidade das espécies, devido à constante manutenção da umidade trazida pelo fluxo perenizado.

Com o aumento das barras, as quais cada vez mais são estabilizadas, há a formação das ilhas. Além disso, é possível observar um maior alcance dos eventos de cheia, devido ao maior volume de água e às maiores taxas deposições. Em função da retroalimentação promovida através da colonização das barras arenosas pela vegetação, há uma difusão cada vez maior da energia cinética no canal, por extravasamento do fluxo, que por sua vez pode reativar as antigas planícies de inundação, atualmente em condição de terraços.



Figura 40 - Evidências das modificações em CNCBA (Cabaceiras). Fonte: Santos, 2017; o autor, 2018.

No estilo de CSIV, em função da construção da passagem de pedra, como já indicado nas figuras 24 e 25, houveram intensos impactos erosivos, seja no fundo do canal, em função da concentração de energia (figura 41), bem como na margem oposta ao desvio, erodindo o material da margem direita por deflexão do fluxo.

Comparando as imagens de 2017 e 2018, foi possível observar que a erosão evoluiu significativamente em alguns meses, removendo grande volume de sedimentos da margem direita. Esse material removido foi deslocado e condicionou o crescimento das ilhas, imediatamente após o desvio sofrido pelo fluxo, como indicado na figura 27. Em função da alta capacidade de ajuste desse canal, ele pode tender a se estabilizar, mantida a baixa vazão, ou ser erodido, frente aos eventos extremos de chuva.



Figura 41 - Evidências das modificações em CSIV. Fonte: Santos, 2017; o autor, 2018.

No terceiro ponto, referente ao CNCBA de Camalaú, visto a mudança de fluxo, foi possível observar um contínuo processo de erosão das margens, as quais em função de apresentarem textura arenosa, logo de menor coesão e resistência, são facilmente erodíveis frente ao fluxo canalizado. Desta forma, ao serem erodidas as margens, além de alargar a lâmina d'água, há a perda de capacidade e competência do rio, favorecendo ainda maiores perdas por transmissão ao longo do canal, e, devido a um crescente aporte sedimentológico de montante a jusante, uma maior contribuição no processo de assoreamento a jusante. A figura 42, logo abaixo, indica a evolução do trecho fluvial a partir dos processos de erosão lateral do canal.



Figura 42 - Evidências das modificações em CNCBA (Camalaú). Fonte: Santos, 2017; o autor, 2018.

No quarto ponto, referente ao estilo de CCLR, houveram mudanças praticamente imperceptíveis, visto que as margens e o leito rochosos impedem o ajuste do canal, como pode ser observado na figura 43.



Figura 43 - Evidências das modificações em CCLR. Fonte: Santos, 2017; o autor, 2018.

Apesar de não ter sido feita a comparação com o quinto trecho, avaliando as condições já estabelecidas durante 2017 e considerando o prolongamento dos processos incidentes, é possível inferir nas modificações a partir da recepção da água do PISF o *knick-point* formado a partir do canal artificial, transferindo as águas do reservatório para o Rio Paraíba.

Conforme o fluxograma de diversidade fluvial abaixo (figura 44), as modificações em função da perenização do regime hidrológico do rio consistem na mudança das características do fluxo do canal, porém não alterando os *inputs* climáticos de ordem intermitente/efêmera, mas sobrepondo o comportamento do fluxo das duas condições climáticas, visto que o fluxo transferido ao Rio Paraíba advém de um sistema fluvial de natureza alogênica.

Assim, o Alto Paraíba passa a responder como um canal intermitente com respostas perenes, de modo que, visto as condições de precipitação e vazão anteriormente avaliadas, o fluxo se torna sensível aos picos de vazão, como fora observado na figura 19. Visto a condição de vazão perene, mesmo que em momentos de baixa vazão, os impactos

apresentam extrema intensidade, pois os canais possuem adaptação frente a uma condição climática muito diferente desta.

O *input* climático permanece, de modo que o canal permanece alimentado por chuvas torrenciais, estas influenciadas por sistemas atmosféricos de tempestades convectivas, o que incide nos eventos de alta magnitude e nas cheias de grandes proporções. O fator tempo passa a ser essencial, visto que o sistema fluvial passa a receber mais pulsos de energia em menor temporalidade, seja das condições climáticas locais, bem como das condições de recarga do Rio São Francisco. Desse modo, a vazão passa a reagir mais rapidamente frente aos eventos de precipitação, pois o canal já se encontrará saturado e não haverá *lags* entre a precipitação e os eventos de vazão. Assim, a água em livre deslocamento, do escoamento superficial, reagirá imediatamente após as chuvas, considerando o fluxo perenizado em interação com as condições climáticas atuantes.

A vegetação assume a importante função de controlar e modificar as texturas dos materiais nas unidades geomórficas, bem como nas margens. Isso se dá em função da formação das referidas ilhas no canal, estabilizadas pela vegetação, as quais além de favorecer o extravasamento do fluxo, é responsável por reter os sedimentos finos transportados pelo rio.

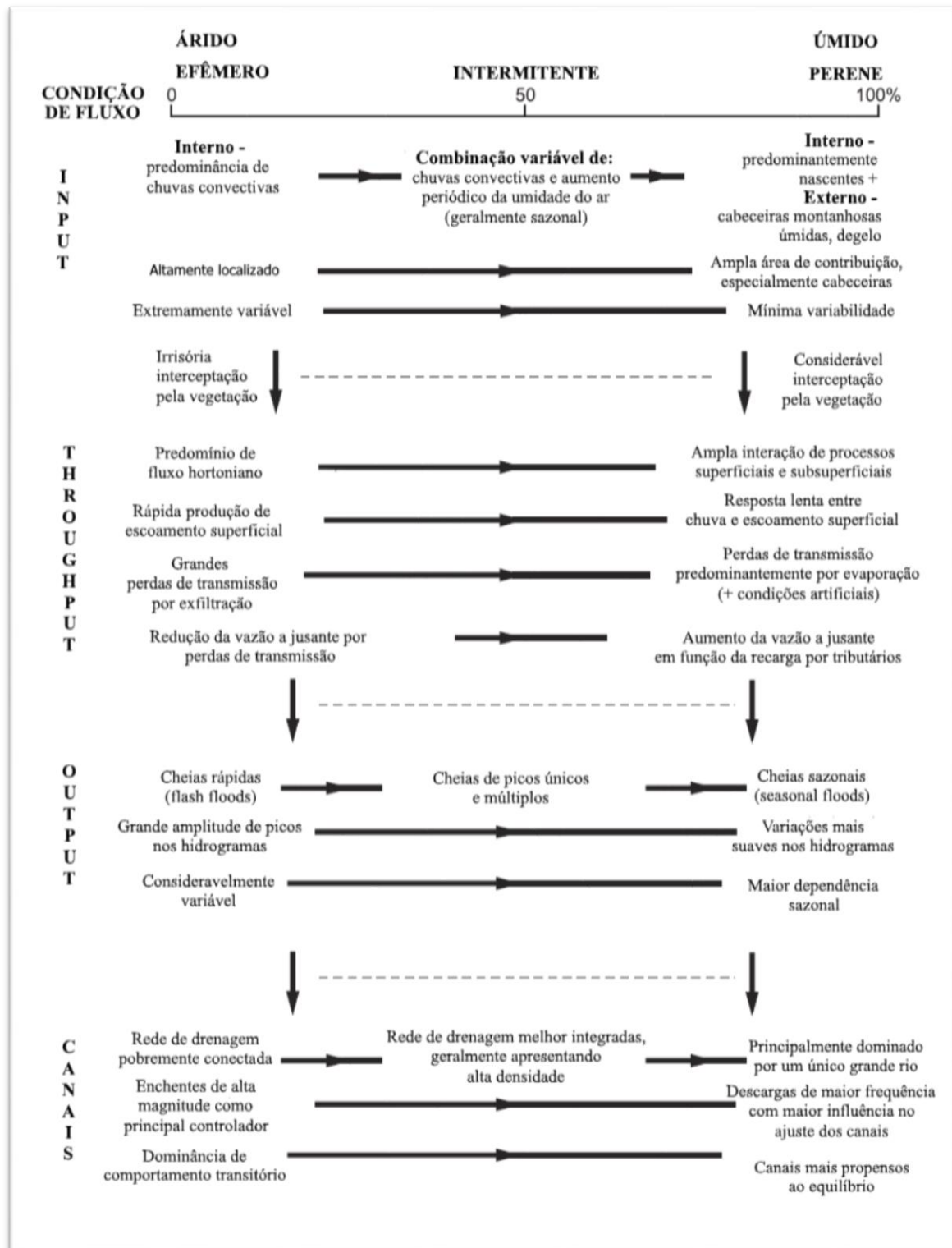


Figura 44 - Fluxograma de diversidade hidrológica, contrastando input, throughput (taxa de transmissão), output (descarga) e características dos canais em diferentes condições climáticas. Adaptado de Bull e Kirkby, 2002; Fryirs e Brierley, 2013.

Já é visível a modificação na rede de drenagem por indução dos processos de uso da terra e dos recursos hídricos, impactando diretamente no comportamento

hidrossedimentológico do fluxo canalizado. Nessas modificações, os trechos à montante passam a produzir maiores taxas de sedimento, os quais serão transportados ao longo do canal e depositados nos trechos deposicionais, a jusante. Nestes, há uma evolução progressiva tendendo ao assoreamento, como no caso dos trechos com formação de barras e ilhas, além da perda de vida útil dos reservatórios, como o Epitácio Pessoa, no município de Boqueirão.

A produção de sedimentos não se limita aos sedimentos aluviais, mas também envolve os coluviais, transportados das encostas em direção aos canais e em taxas muito altas, visto as chuvas extremas, a irrisória interceptação destas pelas plantas, bem como dos solos de alta erodibilidade.

As obras no Alto Paraíba tiveram significativa contribuição quanto ao aumento da taxa de sedimentos no canal principal. Alguns trechos sofreram desvio após a perenização, a fim de abastecer os reservatórios a jusante, em especial o açude Epitácio Pessoa, sem que fosse necessário o “sangramento” dos açudes localizados a montante. Esta foi a situação do açude Camalaú, situado no município de mesmo nome, onde foram feitos “rasgos” nas rochas, utilizando maquinário, para desviar a água e abastecer mais rapidamente os trechos a jusante (figura 45).

Devido a grande quantidade de rejeitos da obra, o trecho desviado constantemente transporta esses materiais e os deposita ao longo dos trechos a jusante. A figura 46 retrata como se configura o desvio, indicando parte do trecho escavado.



Figura 45 - Trecho desviado no Açude Camalaú (PB).

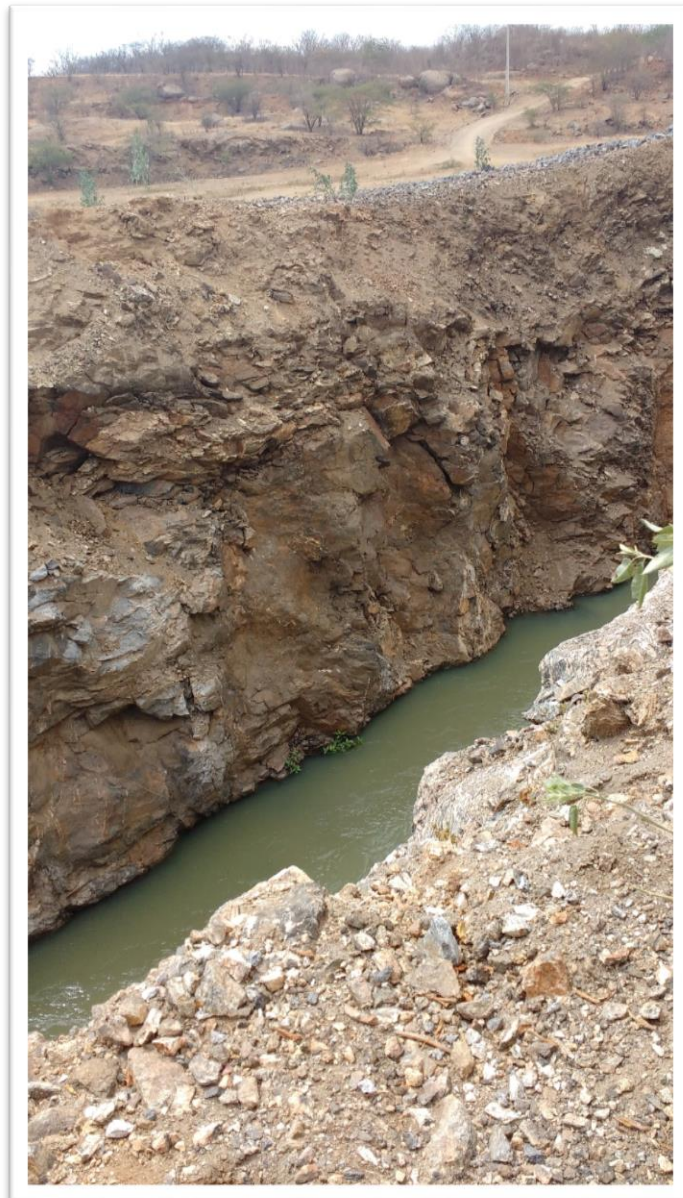


Figura 46 - Escavação do trecho desviado do Açude Camalaú (PB).

Indiretamente, a pressão do uso e ocupação dos solos em função da valorização das áreas adjacentes do canal também denota um elevado potencial de degradação ambiental, visto as mudanças nas atividades de uso do solo e remoção dos remanescentes de mata ciliar.

O potencial de aumento dos processos erosivos também é acentuado, visto que diante do distúrbio promovido pelos elementos citados, é possível não só intensificar os processos já atuantes, mas degradar trechos do canal por meio do desequilíbrio do sistema fluvial, em termos de balanço hidrossedimentológico. Assim, em função da regularização

e aumento do fluxo, áreas de deposição também podem sofrer intensos processos erosivos, como remoção parcial ou total das barras arenosas, bem como erosão marginal e incisão do leito do canal, desproporcional às taxas dentro dos parâmetros do comportamento do canal.

Além do problema do controle da vazão, é importante ressaltar que quanto aos dados do regime fluvial na bacia, mesmo nos registros fluviométricos mais antigos, não há um comportamento natural, sem influência direta da ação humana. Isso se dá devido a presença de uma série de barramentos ao longo do rio, criando cenários de distúrbios e impactando significativamente no comportamento fluvial. Esses impactos, se somados à produção de sedimentos, principalmente nos eventos de alta magnitude, indica um potencial erosivo ainda maior a jusante, tendo em vista os *knick-points* após o barramento. Visto isso, esses processos também condicionam o assoreamento dos trechos à jusante, que por sua vez levam a degradação do sistema fluvial.

Dessa forma, somados os impactos causados pelos barramentos, pela vazão contínua e sensível do rio alogênico transferido, bem como pelas condições climáticas, estas caracterizadas pelos eventos chuvosos de alta magnitude, o sistema tentará buscar um novo estado de equilíbrio. Esse estado de equilíbrio pode não ser alcançado, visto que os distúrbios no sistema fluvial serão contínuos e tenderão a impactar e degradar ainda mais o rio. O colapso do sistema, visto como o momento de ruptura máxima, no qual ele não mais será responsivo aos estímulos do ambiente externo, seja por retroalimentação positiva ou negativa, tomará rumo a partir da constante erosão, dos trechos à montante, e assoreamento, majoritariamente dos reservatórios a jusante, principalmente o Açude Epitácio Pessoa.

Dessa forma, não só o balanço sedimentológico será afetado em termos de taxas de sedimentação, transporte e erosão, mas os eventos de enchente, principalmente as extremas, como presenciadas nos anos de 2004 e 2008, serão muito mais danosas e catastróficas, seja ao sistema fluvial, à biota local e, ainda mais alarmante, a população local, resultado seja em impactos pontuais, bem como em impactos regionais, por todo o curso do Rio Paraíba.

Nos eventos de precipitação extrema, dois cenários serão possíveis de impacto ambiental, estando as comportas do PISF abertas ou fechadas, ambos os casos apresentando extremo estado de distúrbio.

No primeiro caso, a vazão regularizada será sobreposta à vazão gerada pela chuva incidente, condicionando impactos ainda maiores. Dessa forma, a título de exemplo,

eventos de vazões máximas, como os de 225 e 422 m³/s, do ano de 2004, e 154 e 297 m³/s, em 2008, diante desse quadro, apresentarão potencial ainda mais catastrófico.

No segundo caso, por sua vez, apesar de não haver água livre pelo canal, as condições antecedentes favorecerão aos impactos, visto que o rio não se apresentará totalmente seco e produzirá grandes taxas de escoamento fluvial.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os estudos da geomorfologia fluvial, apesar de escassos na literatura nacional, mais ainda no semiárido brasileiro, fornecem subsídios para as análises da evolução dos rios, bem como das modificações fluviais em ambiente fluvial, seja de origem direta ou indireta.

Apesar de considerar a delimitação dos estilos fluviais quanto ao comportamento do sistema fluvial, compreende-se que os resultados obtidos quanto as mudanças nas referidas localidades da bacia não correspondem a todos os trechos dos estilos fluviais, bem como da bacia como um todo. Assim sendo, as modificações destacadas neste trabalho dizem respeito aos pontos de controle avaliados e sua influência nos trechos à jusante no canal principal.

Nesse estudo pôde ser observado que os trechos avaliados do perfil longitudinal do alto curso do Rio Paraíba têm sofrido modificações em função do reajuste provocado pela mudança de fluxo, não condizente com a dinâmica fluvial semiárida. Desta forma, os impactos hidrofísicos se dão em função do fluxo constante, muito mais agressivo ao sistema fluvial, além da ainda maior responsividade do canal frente aos eventos chuvosos, visto que os mecanismos de *lag* e perdas de transmissão diretamente no canal não mais atuarão com a eficácia que deveriam atuar.

Os resultados obtidos se mostraram satisfatórios visto a finalidade do trabalho em questão e apesar dos problemas quanto ao tempo e segurança em campo, como pôde ser observado na ausência de coleta de dados topográficos e hidrométricos dos pontos localizados em Monteiro e Caraúbas. Baseado nos dados de chuva e vazão, da geometria hidráulica dos canais e dos impactos evidentes nas temporalidades observadas, foi possível inferir quanto aos impactos, seja por influência direta da perenização, ou por ações antrópicas, neste caso como pôde ser observado na construção da passagem de pedra, em São Domingos, onde o rio sofreu um desvio e erodiu parte considerável da margem oposta a qual sofreu deflexão.

Foi especulado que devido ao fluxo perene no referido canal, de natureza intermitente, o leito e as margens passam a sofrer processos de adaptação, os quais passam a ser constantes e podem, ao longo do tempo, levar ao colapso do sistema. Quanto a interação da precipitação, esta caracterizada pelas condições torrenciais dos sistemas atmosféricos atuantes, com a vazão perene do canal principal, as respostas foram destacadas como as mais variadas possíveis, seja em termos de erosão ou de deposição

(assoreamento). Foi sugerido que o fluxo passará a se comportar de forma muito mais impactante ao canal nos períodos distintos, sendo eles: seca, na qual haverá fluxo contínuo, evento chuvoso, com as comportas abertas ou fechadas, e eventos extremos, nos quais independente de ser recebido o fluxo do São Francisco ou não, trará impactos extremamente agressivos ao canal.

As técnicas utilizadas nesse trabalho para coleta de dados em campo, processamento e análise das informações, são de alcance do geógrafo e geomorfólogo e devem ser utilizadas a fim de complementar os estudos hidrossedimentológico, de modo que considerem não só a captação de água, mas os impactos ao balanço sedimentológico, à biota e às comunidades e povos dependentes de políticas de gestão dos recursos hídricos.

Visto isso, é de suma importância repensar o manejo dos recursos hídricos por transferência de fluxo entre bacias, principalmente em regiões secas, as quais denotam forte vulnerabilidade climática, além de ter um maior controle e estudos de maior profundidade acerca da aplicação desses e de quaisquer outros projetos de captação da água. Pensando nisso, os impactos podem ser amenizados e o uso dos recursos pode ser otimizado, possibilitando acesso e qualidade de vida a todos que deste recurso dependem.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, C. N.; ANDRADE FILHO, L. S.; MELO, D. C. D. MolinX: Uma planilha para determinação de vazões em pequenos riachos. In: XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Campo Grande, MS. **Anais**. 2009.
- AMORIM, R. R. Um novo olhar na geografia para os conceitos e aplicações de geossistemas, sistemas antrópicos e sistemas ambientais. **Caminhos de Geografia – Uberlândia**. v. 13, n. 41, 2012.
- ARAÚJO FILHO, J. C. A.; RIBEIRO, M. R.; BURGOS, N.; MARQUES, F. A. Solos da Caatinga. In: CURI, K; KER, J. C.; NOVAIS, R. F.; VIDAL-TORRADO, P.; SCHAEFER, C. E. G. R. **Pedologia** – Solos dos Biomas Brasileiros. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 227-260, 2017.
- AZEVEDO, L. G. T.; PORTO, R. L. L.; MÉLLO JÚNIOR, A. V.; PEREIRA, J. G.; ARROBAS, D. L. P.; NORONHA, L. C.; PEREIRA, L. P. **Transferência de águas entre bacias hidrográficas**. 1ª ed, 93 p., Banco Mundial – Brasília, 2005.
- BANDA-R, K. et al. Plant diversity patterns in neotropical dry forests and their conservation implications. **Science**. v. 353, i. 6306, p. 1383-1387, 2016.
- BARROS, A. M.; SOUZA, J. O. P.; CORRÊA, A. C. B. Sensitividade da paisagem na Bacia do Riacho do Mulungu, Belém de São Francisco, Pernambuco. **Revista de Geografia - Recife**, Recife, v. Especial - VIII SINAGEO, 2010.
- BELMONTE, A. M.; BELTRÁN, F. S. Flood events in Mediterranean ephemeral streams (ramblas) in Valencia region, Spain. **Catena**, v. 45, p. 229-249, 2001.
- BERTALANFFY, L. An Outline of General System Theory. **The British Journal for the Philosophy of Science**. v. 1, p. 134-165, 1950.
- BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. Precipitação. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2ª. ed. Porto Alegre: UFRGS, p. 177-241, 1997.
- BÉTARD, F.; PEULVAST, J.; SALES, V. Caracterização Morfopedológica de uma Serra Úmida no Semi-Árido do Nordeste Brasileiro: o caso do maciço de Baturité-CE. **Revista Mercator**, Ceará, 2007.
- BIGARELLA, J. J.; SUGUIO, K.; BECKER, R. D. **Ambiente Fluvial: Ambientes de Sedimentação, sua interpretação e importância**. 1ª. ed. Curitiba: Editora da Universidade Federal do Paraná. Associação de Defesa e Educação Ambiental, 1979.

- BRACKEN, L. J.; CROKE, J. The concept of hydrological connectivity and its contribution to understanding runoff-dominated geomorphic systems. **Hydrological processes**. n. 21, p. 1749-1763, 2007.
- BRACKEN, L. J.; WAINWRIGHT, J. Geomorphological equilibrium: myth and metaphor? **Royal Geographical Society**, v. 31, n. 2, p. 167-178, 2006.
- BRADY, C.; WEIL, R. **Elementos da Natureza e Propriedades dos Solos**. 3ª. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.
- BRIERLEY, G. J. et al. Application of the River Styles framework as a basis for river management in New South Wales, Australia. **Applied Geography**, v. 22, p. 91-122, 2002.
- BRIERLEY, G. J. Landscape memory: the imprint of the past on contemporary landscape forms and processes. **Area**, v. 42, n. 1. p. 76-85, 2010.
- BRIERLEY, G. J. et al. Geomorphology in action: Linking policy with on-the-ground actions through applications of the River Styles framework. **Applied Geography**, v. 31, p. 1132-1143, 2011.
- BRIERLEY, G. J., FRYIRS K. A. 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.
- BRIERLEY, G. J.; FRYIRS, K. A. **Geomorphology and River Management: Applications of the River Styles Framework**. Oxford: Blackwell Publications, 2005.
- BRIERLEY, G.; FRYIRS, K. A.; JAIN, V. Landscape connectivity: the geographic basis of geomorphic applications. **Area**, v. 38 (2), p. 65-174, 2006.
- BRUNSDEN, D. A critical assessment of the sensitivity concept in Geomorphology. **Catena**, 2001.
- BRUNSDEN, D.; THORNES, J. B. Landscape sensitivity and change. **The Royal Geographical Society**, 1979.
- BULL, L. J.; KIRKBY, M. J. A Global Perspective on Dryland Rivers: Perceptions, Misconceptions and Distinctions In: BULL, L. J.; KIRKBY, M. J. **Dryland Rivers: Hydrology and Geomorphology of Semi-arid Channels**. Chichester, UK: John Wiley & Sons, 2002. p. 3-16.
- CARVALHO, M. G. R. F. **Estado da Paraíba: classificação geomorfológica**. João Pessoa: Editora Universitária/UFPB, 1982.
- CARVALHO, E. R. **Barragens de Curema e Mãe d'água: nos bastidores da construção**. João Pessoa, PB: Edição do autor, 2013.

- CASTELO BRANCO, A. O. T. **Análise da Conectividade da Paisagem no Baixo Curso do Rio Piancó – Pombal – Semiárido Paraibano**. Monografia (Bacharelado em Geografia) - Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2017.
- CAVALCANTI, L. C. S. **Cartografia de paisagens: fundamentos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.
- COOKE, R.U; WARREN, A. **Geomorphology in deserts**. London: Batsford, 1973.
- CORRÊA, A. C. B.; TAVARES, B. A. C.; MONTEIRO, K. A.; CAVALCANTI, L. C. S.; LIRA, D. R. Megageomorfologia e Morfoestrutura do Planalto da Borborema. **Revista do Instituto Geológico**. São Paulo, v. 31 (1/2), p. 35-53, 2010.
- 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.
- CHEVALLIER, P. Aquisição e Processamento de Dados. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2ª. ed. Porto Alegre: UFRGS, p. 500-525, 1997.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia Fluvial**. São Paulo: Edgard Blücher, 1981.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo: Edgard Blücher, 1999.
- COELHO NETTO, A. L. Hidrologia de encosta na interface com a geomorfologia. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 9ª. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 93-148, 2009.
- DANTAS, J. C. **Gestão da Água, Gestão da Seca: A centralidade do açude no gerenciamento dos recursos hídricos no semiárido**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal da Paraíba. Departamento de Geociências. Programa de Pós-Graduação em Geografia. João Pessoa, 2018. Em prelo.
- DI MAURO, C. A.; ROSOLEN, V.; FERREIRA, V. O. **Planejamento e gestão de recursos hídricos: exemplos mineiros**. Uberlândia, MG: Assis Editora, 2012.
- DREW, D. **Processos Interativos Homem-Meio Ambiente**. São Paulo: DIFEL, 1986.
- FRYIRS, K. A. River sensitivity: a lost foundation concept in fluvial geomorphology. **Earth Surface Processes and Landforms**, 2016.
- FRYIRS, K. A.; BRIERLEY, G. J. A Geomorphic Approach to the Identification of River Recovery Potential. **Physical Geography**, v. 21, n. 3, p. 244-277, 2000.

- FRYIRS, K.; BRIERLEY, G. **Geomorphic Analysis of River Systems: An Approach to Reading the Landscape**. Chichester, UK: John Wiley & Sons, 2013.
- FRYIRS, K.; SPINK, A.; BRIERLEY, G. Post-European settlement response gradients of river sensitivity and recovery across the upper Hunter catchment, Australia. **Earth Surface Process and Landforms**, n. 34, p. 897-918, 2009.
- GUERRA, A. J. T. Processos erosivos nas encostas. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 9ª. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 149-210, 2009.
- GRAF, W. L. **Fluvial Process in Dryland Rivers**. Caldwell: The Blackburn Press, 1988.
- GOMES, R. D.; VITTE, A. C. A Geografia Física e o Objeto Complexo: Algumas Flexibilizações do Processual. **GEOSUL**, v. 26, n. 50, 2010.
- HOOKE, J.; MANT, J. Morpho-dynamics of Ephemeral Streams. In: BULL, L. J.; KIRKBY, M. J. **Dryland Rivers: Hydrology and Geomorphology of Semi-arid Channels**. Chichester, UK: John Wiley & Sons, p. 173-204, 2002.
- HOWES, D. A.; ABRAHAMS, A. D. Modeling runoff and runoff in a desert shrubland ecosystem, Jornada Basin, New Mexico. **Geomorphology**, v. 53, p. 45-73, 2003.
- KNIGHTON, A. D.; NANSON, G. C. An event-based approach to the hydrology of arid zone rivers in the Channel Country of Australia. **Journal of Hydrology**, v. 254, p. 102-123, 2001.
- LIMA, R. N. S.; MARÇAL, M. S. Avaliação da condição geomorfológica da Bacia do Rio Macaé – RJ a partir da metodologia de classificação dos Estilos Fluviais. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 14, n. 2, p. 171-179, 2013.
- LÓPEZ-BERMÚDEZ, F.; CONESA-GARCIA, C.; ALONSO-SARRÍA, F. Floods: Magnitude and Frequency in Ephemeral Streams of the Spanish Mediterranean Region. In: BULL, L. J.; KIRKBY, M. J. **Dryland Rivers: Hydrology and Geomorphology of Semi-arid Channels**. Chichester, UK: John Wiley & Sons, p. 329-350, 2002.
- LUDWIG, J. A. et al. Vegetation Patches and Runoff-Erosion as Interacting Ecohydrological Processes in Semiarid Landscapes. **Ecology**, v. 86 (2), p. 288-297, 2005.
- MAIA, R. S. **Identificação e caracterização dos estilos fluviais da Bacia Riacho do Tigre-PB**. Monografia (Bacharelado em Geografia) - Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2016.
- MARINHO, C.F.C.E. **Caracterização hídrica e morfométrica do alto curso da bacia hidrográfica do Rio Paraíba**. Monografia (Especialização em Geoambiência e Recursos Hídricos do Semiárido), Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Educação, 2011.

- MARQUES, J. S. Ciência Geomorfológica. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 9^a. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 23-50, 2009.
- FERREIRA, A. G.; MELLO, N. G. S. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região nordeste do Brasil e a influência dos oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região. **Revista Brasileira de Climatologia**. v. 1, n. 1, p. 15-22, 2005.
- NANSON, G. C.; TOOTH, S.; KNIGHTON, A. D. A Global Perspective on Dryland Rivers: Perceptions. In: BULL, L. J.; KIRKBY, M. J. **Dryland Rivers: Hydrology and Geomorphology of Semi-arid Channels**. Chichester, UK: John Wiley & Sons, p. 17-54, 2002.
- NETO, J. M. M.; BARBOSA, M. P.; ARAÚJO, A. E. Efeito dos eventos ENOS e das TSM na variação pluviométrica do semi-árido paraibano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 11, n. 1, p. 61-66, 2007.
- PEGADO, C. M. A.; ANDRADE, L. A.; FÉLIX, L. P.; PEREIRA, I. M. Efeitos da invasão biológica de algaroba – *Prosopis juliflora* (Sw.) DC. sobre a composição e a estrutura do estrato arbustivo-arbóreo da caatinga no Município de Monteiro, PB, Brasil. **Acta Botânica Brasílica**. v. 20 (4), p. 887-898, 2006.
- PHILLIPS, J. D. Networks of Historical Contingency in Earth Surface Systems. **The Journal of Geology**, v. 121, p. 1-16, 2013.
- PIZZUTO, J. Riverine Environments. In: GREGORY, K. J.; GOUDIE, A. **Handbook of Geomorphology**. SAGE Publications, Ltd., p. 359-378, 2011.
- POWELL, D. M. Dryland Rivers: Processes and Forms. In: PARSONS, A. J.; ABRAHAMAS, A. D. **Geomorphology of Desert Environments**. 2^a. ed. Springer Science+Business Media B. V., 2009.
- REANEY, S. M.; BRACKEN, L.; KIRBY, M. The importance of surface controls on overland flow connectivity in semi-arid environments: results from a numerical experimental approach. **Hydrological Process**, 2013.
- ROGERS, R. D.; SCHUMM, S. A. The Effect of Sparse Vegetative Cover on Erosion and Sediment Yield. **Journal of Hydrology**, v. 123, p. 19-24, 1991.
- ROSS, J. L. S. **Ecogeografia do Brasil: subsídios para planejamento ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.
- SANTOS, A. H. L. **Análise dos Estilos Fluviais e da Capacidade de Ajuste do Alto Curso do Rio Paraíba – PB**. Monografia (Bacharelado em Geografia) - Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2017.

- SCHUMM, S. A. **The fluvial system**. Caldwell: The Blackburn Press, 1977.
- SEYFRIED, M. S. et al. Ecohydrological Control of Deep Drainage in Arid and Semiarid Regions. **Ecology**, v. 86 (2), p. 277-287, 2005.
- SOUZA, B. I. SUERTEGARAY, D. M. A. Contribuição ao debate sobre a transposição do rio São Francisco e s prováveis consequências em relação a desertificação nos Cariris Velhos (PB). **Revista Terra**. v. 2, n. 25, 2005.
- SOUZA, B. I. **Cariri Paraibano: do silêncio do lugar à desertificação**. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Porto Alegre, RS, 2008.
- SOUZA, B. I.; QUEIROZ, R. T.; CARDOSO, E. C. M. Degradação e riscos à desertificação no alto curso do Rio Paraíba. **Revista da Anpege**. v. 11, n. 6, p. 201-222, 2015.
- SOUZA, J. O. P. Dos Sistemas Ambientais ao Sistema Fluvial – Uma revisão de conceitos. **Caminhos de Geografia**, v. 14, n. 46, p. 224-233, 2013.
- SOUZA, J. O. P. **Modelos de evolução da dinâmica fluvial em ambiente semiárido – Bacia do Açude do Saco, Serra Talhada, Pernambuco**. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Pernambuco, CFCH. Programa de Pós-Graduação em Geografia. Recife, 2014.
- 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.
- SOTCHAVA, V. B. O Estudo de Geossistemas. Tradução de Carlos Augusto Figueiredo Monteiro e Dora de Amarante Romariz. **Métodos em Questão**, São Paulo, Instituto de Geografia USP, v. 16, 1977.
- STEVAUX, J. C.; LATRUBESSE, E. M. **Geomorfologia Fluvial**. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.
- STRAHLER, A. N. Dynamic Basis of Geomorphology. **Bulletin of the Geological Society of America**, v. 63, p. 923-938, 1952.
- VICENTE, L. E.; PEREZ FILHO, A. Abordagem Sistêmica e Geografia. **Geografia**, Rio Claro, v. 28, n. 3, p. 323-344, 2003.
- THOMAS, D.S G. **Arid zone geomorphology: process, form and change in drylands**. Chichester, UK: John Wiley & Sons, 2011.
- TOOTH, S. Process, form and change in dryland rivers: a review of recente research. **Earth-Science Reviews**, v. 51, p. 67-107, 2000.

TRICART, J.; CAILLEUX, A. *Traité de géomorphologie. IV, Le modelé des régions sèches par J. Tricart.* Société d'édition d'enseignement supérieur. Paris, 1969.

TROLL, C. *A Paisagem Geográfica e sua Investigação.* Tradução de Gabrielle Corrêa Braga. **Espaço e Cultura.** n. 4, 1997.

TUCCI, C. E. M. *Escoamento Superficial.* In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação.** 2^a. ed. Porto Alegre: UFRGS, p. 391-441, 1997.

XAVIER, R. A.; DORNELLAS, P. C.; MACIEL, J. S.; BÚ, J. C. *Caracterização do regime fluvial da Bacia hidrográfica do Rio Paraíba – PB.* **Revista Tamoios,** v. 8, n. 2, p. 15-28, 2012.