



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
DOUTORADO EM GEOGRAFIA

RAUL CARNEIRO GOMES

**MORFOESTRUTURA, FORMAÇÕES SUPERFICIAIS E ESTADO DE
CONSERVAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SANTA CRUZ, SERTÕES
DE CRATEÚS, CE/BRASIL**

FORTALEZA

2021

RAUL CARNEIRO GOMES

MORFOESTRUTURA, FORMAÇÕES SUPERFICIAIS E ESTADO DE CONSERVAÇÃO
DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SANTA CRUZ, SERTÕES DE CRATEÚS,
CE/BRASIL

Tese apresentada ao curso de Doutorado em Geografia da Universidade Federal do Ceará – UFC, como parte dos requisitos para obtenção do título de doutor em Geografia. Área de concentração: Natureza, Campo e Cidade no Semiárido

Orientadora: Dr^a. Vlândia Pinto Vidal de Oliveira

FORTALEZA

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

G617m Gomes, Raul Carneiro.

Morfoestrutura, formações superficiais e estado de conservação da bacia hidrográfica do rio Santa Cruz, Sertões de Crateús, CE/Brasil / Raul Carneiro Gomes. – 2021.
235 f. : il. color.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Fortaleza, 2021.

Orientação: Profa. Dra. Vlândia Pinto Vidal de Oliveira.

1. Sistema fluvial. 2. Sertão. 3. Ambiente. 4. Ceará. 5. Semiárido. I. Título.

CDD 910

RAUL CARNEIRO GOMES

MORFOESTRUTURA, FORMAÇÕES SUPERFICIAIS E ESTADO DE CONSERVAÇÃO
DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SANTA CRUZ, SERTÕES DE CRATEÚS,
CE/BRASIL

Tese apresentada ao curso de Doutorado em Geografia da Universidade Federal do Ceará – UFC, como parte dos requisitos para obtenção do título de doutor em Geografia. Área de concentração: Natureza, Campo e Cidade no Semiárido

Aprovada em: 28/01/2021

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Dra. Vlândia Pinto Vidal de Oliveira – Orientadora
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof.^a Dra. Sónia Maria Duarte Melo Silva Victória - Examinadora Externa à Instituição
Universidade de Cabo Verde (UniCV)

Prof.^a Dra. Christina Bianchi – Examinadora Externa à Instituição
UNIFANOR

Prof. Dr. César Ulisses Vieira Veríssimo – Examinador Externo ao Programa
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Antonio Jeovah de Andrade Meireles – Examinador Interno
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Rubson Pinheiro Maia – Examinador Interno
Universidade Federal do Ceará (UFC)

AGRADECIMENTOS

Agradeço muito a Deus, pela saúde, força, entusiasmo e toda a estrutura material e imaterial fundamental para a realização desta pesquisa.

À minha família inteira, especialmente, Antonio Aristeu Vieira Gomes (pai), Antonia Aglezia de Oliveira Carneiro (mãe) e Raif Carneiro Gomes (irmão) que investiram muito carinho, compreensão, tempo, recursos financeiros em mim e nesta pesquisa para que eu possa ter condições de realizá-la exitosamente.

Quero agradecer de coração a minha orientadora, Prof^a. Dr^a. Vlândia Pinto Vidal de Oliveira, pela incansável compreensão, conselhos, disposição em me orientar, carinho, elogios que me deram muita força para seguir em frente e aceitar esse desafio com muita dedicação e responsabilidade.

Aos meus amigos Ana Cristina Fernandes Muniz, Ana Luisa, Amilton César, Alistair Douglas, Arilene Franklin, A. José, Eliedir Trigueiro, Evaldo, Esequiel Mesquita, Erika Brito, Frederico Nogueira, Cacilda Sales, Mathias Nobrega, Gislaine Albuquerque, Huáscar Vidal, Igor Pedroza, Joel Pedroza, Luiz Mafrense, Vinícius Franco, Marília Natacha, Marinete Leite, Marlom Cavalcante, Pexro Falcão, Marcela Torres Teixeira, Eliedir Trigueiro, Wesley Rodrigues, Rafael Toepek, Ravena Olinda, Larissa Freitas, Larisse, Laura Gomes Girão, Lucas Soares, Lucas Barreto, Luis Ricardo Costa, Vanessa Espindola, Vagner, Pompea Montezuma, Celana Carneiro, Felipe Moraes Cursino, Valmir Pereira, Ricardo Assis, Mikaele Braga, Otávio Landin, Nátane Oliveira, Leticia Freitas, David Rabelo, Ravena Olinda, Lucivan Mota, Caio Coutinho, Paulo César, Zequinha Nobrega, Expedito Alves, Milda Coutinho, Antônio Carlos Torres, Almir e família, Mazé Loureiro e as parceiras que faleceram: Luizere Sales, Hosana Teixeira, Marinês, Paula, Rosa e Hosana Pires de Saboia (*in memoriam*) e muitos outros igualmente queridos.

De igual modo, agradeço aos professores e técnicos do Departamento de Geografia, da Geologia, Ciências dos Solos, Biologia e do Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Destaco, especialmente, os seguintes professores: Raimundo Nonato Assis Junior, Christina Bianchi, César Veríssimo, Eustógio W. Dantas, Jaedson Cláudio Anunciato Mota, Jeovah Meireles, Lineu Bezerra, Maria Eliza Zanella, Marta Celina Linhares, Maria Florice, Maria Edvani, Paulo Thiers, Ricardo Espindola Romero, Raimundo Castelo, Rubson Maia, Vanda Claudino Sales, Adryane Gorayeb, Edson Vicente da Silva, Erandir, Edilene e Antônio José.

Agradeço ao professor André Oliveira Sawakuchi e a Luciana Nogueira e Thays Desiree vinculados ao Laboratório de Espectometria Gama e Luminescência – LEGAL do Instituto de Geociências da USP por terem me acolhido atenciosamente e auxiliado nas datações de LOE.

Agradeço aos professores Silvia Monteiro, Elizabeth Coutinho, Judite Medina, Sônia Victória e José Maria Semedo entre outros da Universidade de Cabo Verde que me proporcionaram conhecimentos inestimáveis, bem com uma estadia memorável. Obrigado também aos amigos Arcelina Santos, Bruno, Elisandra Simone, Rísia Fortes, Melany Cardoso, Cacilda Rocha, Tatiana Rocha, Sandra Rebelo, Angélica Varela, Angelica entre outros igualmente estimados.

Agradeço à Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico-FUNCAP. Além disso, o presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Esta concedeu bolsa de doutoramento sanduíche em Cabo Verde por meio do Programa Associação das Universidades de Língua Portuguesa (AULP) 88887.198996/2018-00.

RESUMO

O estudo das Bacias Hidrográficas (BH) no Nordeste brasileiro, notadamente no Estado do Ceará, é uma ação estratégica para compreender as características e dinâmica ambiental, bem como aprimorar a gestão desse sistema. Tendo em vista as limitações das pesquisas que foram desenvolvidas, é necessário ampliar os estudos nas BH e em suas planícies fluviais para elucidar quais os fatores e processos contribuíram para suas formações e morfologias, analisar as configurações ambientais, incluindo os usos e tipos de coberturas, assim como determinar os impactos da legislação ambiental e quais espaços são protegidos. Diante disso, elegeu-se a BH do rio Santa Cruz, situada no centro-oeste cearense, na microrregião de Sertões de Crateús, como objeto amostral por sua configuração ambiental pouco estudada e degradada, por estar inserida no semiárido e por compor o alto curso da BH do rio Poti. Assim, este trabalho objetivou realizar uma análise ambiental, com foco nas dimensões geológicas, geomorfológicas, climatológicas e conservacionistas da BH e suas planícies fluviais para ampliar conhecimentos sobre os sistemas fluviais situados nas porções semiáridas. Para tanto, foram realizados levantamentos bibliográficos e geocartográficos, extração e cálculos morfométricos das drenagens e lineamentos no *software TerraViewHidro* 0.4.5 e no *SPRING* 5.5.2 e construção de mapas temáticos no *Qgis* 3.4. Ademais, foram empregadas as imagens e ferramentas de mensuração do *Google Earth Pro* e os dados pluviométricos da estação da *FUNCEME* em Independência-CE. Fez-se também trabalhos de campo, coletas e análises pedoestratigráficas, físicas, químicas e geocronológicas (Luminescência Opticamente Estimulada -LOE) em sedimentos e solos nas planícies fluviais. Por fim, empregou-se a legislação ambiental e os dados do projeto *Mapbiomas* para a análise e mensuração dos tipos de uso e de cobertura e se as áreas protegidas estavam em conformidade com a legislação. Logo, detectou-se que a BH está orientada de leste para oeste devido à tectônica ruptural (falhas, fraturas e cisalhamentos) que geraram o vale do rio Poti. Os parâmetros morfométricos estão correlacionados e variam conforme os componentes ambientais da BH, não indicaram suscetibilidade de inundações e as anomalias de drenagens derivam-se da litoestrutura pré-cambriana. Os lineamentos implicam na configuração dos padrões de drenagens em razão do condicionamento estrutural que viabiliza as ocorrências de relevos mais ou menos dissecados. As planícies fluviais são constituídas de siliciclastos arenosos depositados com estruturas maciça nos últimos 4.500 A.P. Sua gênese está vinculada à acreção lateral de barras e avulsão dos rios durante os pulsos hidrossedimentares. A floresta caducifolia espinhosa é a vegetação mais degradada na área estudada, entre 1985 a 2019 e muitas de suas espécies foram

conservadas nas matas ciliares. A classe pastagem foi a que teve a maior expansão espacial devido aos desmatamentos e abandono de campos agrícolas. A legislação ambiental apresenta limitações por não proteger toda a planície fluvial e criar lacunas para a exploração das áreas de preservação permanentes (APP) ripárias que comumente são desmatadas e usadas para campos agrícolas.

Palavras-chave: sistema fluvial; semiárido; sertão; Ceará; ambiente.

ABSTRACT

The study of Hydrographic Basins (BH) in Northeast Brazil, notably in the State of Ceará, is a strategic action to understand the characteristics and environmental dynamics, as well as to improve the management of this system. In view of the limitations of the research that has been developed, it is necessary to expand the studies in BH and its fluvial plains to elucidate which factors and processes contributed to their formations and morphologies, to analyze the environmental configurations, including the uses and types of coverings, as well as determining the impacts of environmental legislation and which spaces are protected. Therefore, the BH of the Santa Cruz River, located in the center-west of Ceará, in the micro-region of Sertões de Crateús, was chosen as a sample object for its poorly studied and degraded environmental configuration, for being inserted in the semiarid and for composing the high course of the BH of the Poti River. Thus, this work aimed to carry out an environmental analysis, focusing on the geological, geomorphological, climatological and conservation dimensions of BH and its fluvial plains to expand knowledge about the fluvial systems located in the semiarid portions. For this purpose, bibliographic and geocartographic surveys, extraction and morphometric calculations of drainages and lineaments were performed in the TerraViewHidro 0.4.5 software and in SPRING 5.5.2 and construction of thematic maps in Qgis 3.4. In addition, Google Earth Pro images and measurement tools and rainfall data from the FUNCEME station in Independência-CE were used. Field work, collections and pedestrostratigraphic, physical, chemical and geochronological analyzes (Optically Stimulated Luminescence -LOE) were also carried out on sediments and soils in the river plains. Finally, environmental legislation and data from the Mapbiomas project were used to analyze and measure the types of use and coverage and whether the protected areas were in compliance with the legislation. Soon, it was detected that the BH is oriented from east to west due to the ruptural tectonics (faults, fractures and shearing) that generated the Poti river valley. The morphometric parameters are correlated and vary according to the environmental components of BH, they did not indicate susceptibility to flooding and drainage anomalies are derived from the Precambrian lithostructure. Lineaments imply the configuration of drainage patterns due to the structural conditioning that enables the occurrence of more or less dissected reliefs. The fluvial plains are made up of sandy silicycles deposited with massive structures in the last 4,500 A.P. Its genesis is linked to the lateral addition of bars and avulsion of the rivers during the hydrosedimentary pulses. The thorny deciduous forest is the most degraded vegetation in the studied area, between 1985 to 2019 and many of its species were conserved in riparian forests. The grazing class was the one

that had the greatest spatial expansion due to deforestation and abandonment of agricultural fields. Environmental legislation has limitations as it does not protect the entire river plain and creates gaps for the exploitation of riparian permanent preservation areas (APPs) that are commonly deforested and used for agricultural fields.

Keywords: fluvial system; semiarid; sertão; Ceará; environment.

LISTA DE MAPAS

Mapa 1 -	Localização da BH do rio Santa Cruz, Sertões de Crateús – Ceará/Brasil.	20
Mapa 2 -	Localização e hipsometria da BH do rio Santa Cruz- Sertões de Crateús/CE-Brasil.....	64
Mapa 3 -	Composição litoestrutural da BH do rio Santa Cruz, Sertões de Crateús-CE/BR.....	66
Mapa 4 -	Distribuição pluviométrica no município de Independência-CE/Brasil.....	69
Mapa 5 -	Distribuição das classes de declividade do relevo da BH do rio Santa Cruz, Sertões de Crateús/CE-BR.....	71
Mapa 6 -	Tipos de relevos presentes na BH do rio Santa Cruz, Sertões de Crateús-CE/Brasil.....	71
Mapa 7 -	Unidades fitoecológicas presentes na BH do rio Santa Cruz, Sertões de Crateús-CE/Brasil (2020).....	77
Mapa 8 -	Associações de Solos na BH do rio Santa Cruz-CE/Brasil.....	80
Mapa 9 -	Classes de Cobertura e Usos da Terra da BH Santa Cruz em 1985.....	82
Mapa 10 -	Classes de Cobertura e Usos da Terra da BH Santa Cruz em 2019.....	83
Mapa 11 -	Mapa de densidade de lineamentos, das frequências absolutas e orientações das drenagens do BH do rio Santa Cruz, Sertões de Crateús, CE/Brasil.....	102
Mapa 12 -	Mapa com lineamentos rúpteis e dúcteis e estruturas da CPRM presentes na BH do rio Santa Cruz.....	123
Mapa 13 -	Mapa de sobreposição das densidades com a drenagem e as orientações dos lineamentos rúpteis e dúcteis presentes na BH do rio Santa Cruz.....	128
Mapa 14 -	Morfologias presentes em três segmentos representativos das planícies do rio Santa Cruz.....	151
Mapa 15 -	Localização da Cidade e Município de Independência – CE.....	193
Mapa 16 -	Delimitações das áreas de risco na zona urbana de Independência-CE.....	204

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Vista panorâmica a partir do médio curso da BH do rio Santa Cruz em Independência/CE retratando, ao fundo, todos os seus interflúvios leste e norte.....	64
Figura 2 -	Sede do Município de Independência assentada sobre o pediplano e bordejada por planícies fluviais.....	73
Figura 3 -	Pediplano e os maciços estruturais do leste da BH do rio Santa Cruz, Sertões de Crateús-CE/Brasil.....	73
Figura 4 -	Vista panorâmica sobre o açude Barra Velha, visualizando a inundação de toda a planície fluvial deste setor, e apresentando o pediplano e os maciços residuais e estruturais.....	74
Figura 5 -	Visão de parte do pediplano do médio e baixo curso da BH, ao fundo, uma crista quartzítica.....	74
Figura 6 -	Planície fluvial do médio curso degradada e manejada para a agricultura de sequeiro (2019).....	74
Figura 7 -	Pedra Lisa: inselberg granítico que desponta em meio ao pediplano (2019).....	75
Figura 8 -	Crista condicionada por falha no baixo curso do rio Santa Cruz, Sertões de Crateús-CE/Brasil (2020).....	75
Figura 9 -	Vista panorâmica da BH do rio Santa Cruz observada sobre o inselberg chamado Pedra Lisa em Independência/CE.....	90
Figura 10 -	Visão aérea dos interflúvios norte da BH Santa Cruz. Fonte: Marcela T. Teixeira (2013).....	113
Figura 11 -	Visão aérea dos interflúvios leste da BH Santa Cruz. Fonte: Marcela T. Teixeira (2013).....	114
Figura 12 -	Visão aérea dos interflúvios oeste e sul da BH Santa Cruz.....	114
Figura 13 -	Perfis topográficos de cada transecto do vale do rio Santa Cruz considerados para os cálculos de RFAV.....	133
Figura 14 -	Perfis 1 e 2 mensurados e segmentados conforme às suas características pedoestratigráficas.....	153
Figura 15 -	Perfis cronogramas relativos às amostras dos perfis 1 e 2.....	156
Figura 16 -	Planície fluvial integralmente desmatada para fins agrícolas (2019).....	182
Figura 17 -	Calha fluvial e planície fluvial do rio Santa Cruz degradada, exibindo feições erosivas (2020).....	182
Figura 18 -	Planície fluvial do rio Santa Cruz degradada pela extração ilegal de argilo-minerais (2020).....	182
Figura 19 -	Imagens da área de risco da planície do rio Cupim.....	205
Figura 20 -	Imagens da área de risco da planície do rio do açude da Prefeitura.....	206

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 -	Principais conceituações de bacia hidrográfica (BH).....	43
Quadro 2 -	Conceitos de sub-bacias hidrográficas presentes na literatura científica e técnica	49
Quadro 3 -	Conceitos de microbacia hidrográfica presentes na literatura científica.....	52
Quadro 4 -	Parâmetros estabelecidos para os dimensionamentos das APPs Ripárias...	171
Quadro 5 -	Parâmetros métricos para estabelecer as dimensões das APPs ripárias.....	173
Quadro 6 -	Parâmetros redimensionados para determinar as larguras das APPs Ripárias.....	173
Quadro 7 -	Parâmetros redimensionados para determinar as larguras das APPs Ripárias.....	175
Quadro 8 -	Parâmetros estipulados por Brasil (2012) para determinação da largura das APPs ripárias nas áreas rurais consolidadas até quatro módulos rurais.....	177
Quadro 9 -	Parâmetros estipulados por Brasil (2012) para determinação da largura das APPs ripárias nas áreas rurais consolidadas acima de quatro módulos rurais.....	177
Quadro 10 -	Histórico de Episódios de El Niño e La Niña (Oceanic Niño Index) entre os anos de 1974 a 2019.....	200

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 -	Série histórica das médias anuais dos totais pluviométricos ocorrentes na BH do rio Santa Cruz entre 1974 a 2019.....	68
Gráfico 2 -	Perfil Longitudinal do rio Santa Cruz (linha azul) e linha de tendência de melhor ajuste (linha pontilhada vermelha).....	101
Gráfico 3 -	Inter-relações entre as larguras do canal e das planícies fluviais do rio Santa Cruz- Sertões de Crateús-CE/Brasil.....	144
Gráfico 4 -	Fracionamento da fração areia do perfil 1.....	160
Gráfico 5 -	Fracionamento da fração areia do perfil 2.....	162
Gráfico 6 -	Relações métricas do rio, planície fluvial e matas ciliares do rio Santa Cruz- Sertões de Crateús-CE/BR.....	184
Gráfico 7 -	Pluviometrias Médias Anuais entre 1974 a 2019 do posto pluviométrico de Independência- CE/Brasil.....	200
Gráfico 8 -	Médias Pluviométricas Mensais entre 1974 a 2019 do posto pluviométrico de Independência- CE/Brasil.....	202

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Resultados dos índices morfométricos aplicados na BH do rio Santa Cruz, Sertões de Crateús-CE/Brasil.....	96
Tabela 2 -	Valores morfométricos do vale do rio Santa Cruz e os resultados do RDEs e suas associações com as unidades geológicas (mapa 2).....	129
Tabela 3 -	Valores morfométricos do vale do rio Santa Cruz e os resultados do RFAV.....	132

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Add	Altitudes dos divisores de águas da direita
AF	Fator Assimétrico
APP	Área de Preservação Permanentes
ARC	Área Rural Consolidada
BH	Bacia Hidrográfica
CAR	Cadastro Ambiental Rural
CCM	Complexo Convectivo de Mesoescala
CCMs	Complexos Convectivos de Mesoescala
CF	Constituição Federal
CM	Centímetros
CNBS	Conselho Nacional de Biossegurança
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
COHAB	Companhia de Habitação do Estado do Ceará
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
CTNBio	Técnica Nacional de Biossegurança
EA	Educação Ambiental
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuária
FAO	Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação
FUNCEME	Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
GPS	Sistema de Posicionamento Global
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis
IBDF	Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMBIO	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPECE	Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará
KM	Quilômetros
Lfv	largura do fundo do vale fluvial
LOE	Luminescência Ópticamente Estimulada
M	Metros
MDE	Modelo Digital de Elevação

MDT	modelo de elevação digital do terreno
MEA	Massa Equatorial Atlântica
MH	Microbacia Hidrográfica
N	Norte
NE	Nordeste
NO	Noroeste
O	Oeste
ONU	Organização das Nações Unidas
PALSAR	Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar
PNB	Política Nacional de Biossegurança
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PP	Poder Público
PRA	Programa de Regularização Ambiental
RDE	Relação Declividade-Extensão
RFAV	Razão Fundo/Altura do Vale
RIMA	Relatório de Impacto Ambiental
S	Sul
SE	Sudeste
SEMA	Secretaria do Meio Ambiente,
SEMACE	Secretaria de Meio Ambiente do Ceará
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SISNAMA	Sistema nacional do Meio Ambiente no Brasil
SO	Sudoeste
SRH	Secretaria de Recursos Hídricos
SUDENE	Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste
SUDEPE	Superintendência da Pesca
SUDHEVEA	Superintendência da Borracha
UFC	Universidade Federal do Ceará
VCAN	Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical
ZCT	Zona de Cisalhamento de Tauá

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	19
2	DESENVOLVIMENTO.....	23
2.1	Evolução das normas ambientais utilizadas na gestão dos recursos naturais do território brasileiro.....	23
2.2	Introdução.....	23
2.3	Evolução das normas ambientais utilizadas na gestão dos recursos naturais do território brasileiro.....	24
2.3.1	<i>As primeiras normas ambientais utilizadas durante o período colonial brasileiro (1500 a 1822).....</i>	24
2.3.2	<i>Os avanços das normas ambientais originadas no Período do Imperial brasileiro (1822 a 1889).....</i>	25
2.3.3	<i>O florescimento das normas ambientais no Período Republicano brasileiro.....</i>	26
2.4	Considerações finais.....	38
3	ANÁLISE DA MULTIDIMENSIONALIDADE DOS CONCEITOS DE BACIA HIDROGRÁFICA.....	41
3.1	Introdução.....	41
3.2	Bacia hidrográfica: conceitos de uma célula de análise.....	42
3.3	Sub-bacia hidrográfica: aspectos qualitativos e quantitativos.....	48
3.4	Microbacia hidrográfica: características gerais que compõem o conceito.....	52
3.5	Considerações finais.....	57
4	INTERPRETAÇÕES DAS INTERAÇÕES DOS ELEMENTOS PAISAGÍSTICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SANTA CRUZ (SERTÕES DE CRATEÚS, CE/BRASIL).....	60
4.1	Introdução.....	60
4.2	Metodologia.....	61
4.3	A BH do rio Santa Cruz.....	63
4.3.1	<i>Localização, morfometria e geologia da BH do rio Santa Cruz.....</i>	63
4.3.2	<i>Inter-relações do clima com os elementos da BH do Rio Santa Cruz.....</i>	67
4.3.3	<i>Unidades de relevo da BH do Rio Santa Cruz e seus condicionantes paisagísticos.....</i>	70
4.3.4	<i>Características vegetacionais e suas vinculações paisagísticas.....</i>	76
4.3.5	<i>O Sistema Pedológico das Paisagens da BH do rio Santa Cruz.....</i>	79
4.3.6	<i>Classes de cobertura e evolução espaço-temporal dos usos da terra (1985-2019).....</i>	81
4.4	Considerações finais.....	85
5	ANÁLISE MORFOMÉTRICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SANTA CRUZ-SERTÕES DE CRATEÚS/CEARÁ-BRASIL.....	89
5.1	Introdução.....	89
5.2	Metodologia.....	90
5.2.1	<i>Localização e caracterização da BH do rio Santa Cruz-Sertões de Crateús, CE/Brasil.....</i>	90
5.2.2	<i>Métodos procedimentais.....</i>	92
5.3	Resultados e discussões.....	95
5.4	Considerações finais.....	106

6	CONTROLE ESTRUTURAL E ANÁLISE DAS ANOMALIAS DE DRENAGEM NA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SANTA CRUZ-SERTÕES DE CRATEÚS/CEARÁ-BRASIL.....	109
6.1	Introdução.....	109
6.2	Caracterização da BH do rio Santa Cruz - Sertões de Crateús, Ceará/Brasil.....	110
6.3	Metodologia.....	116
6.4	Condicionamento estrutural e a superimposição da drenagem da BH do rio Santa Cruz.....	120
6.4.1	<i>Condicionamento litoestrutural no Perfil Longitudinal e Transversal do rio Santa Cruz.....</i>	120
6.4.2	<i>Análise da superimposição da drenagem.....</i>	122
6.5	Índices morfométricos e análise das anomalias de drenagem do rio Santa Cruz	128
6.5.1	<i>Aplicação do fator de assimetria (AF).....</i>	128
6.5.2	<i>Análise das anomalias a partir da relação declividade – extensão.....</i>	129
6.5.3	<i>Aplicação do índice razão entre largura do fundo e elevação do vale – RFAV.....</i>	132
6.6	Considerações finais.....	134
7	GÊNESE E MORFOLOGIAS DAS PLANÍCIES FLUVIAIS DO RIO SANTA CRUZ, SERTÕES DE CRATEÚS, CE/BRASIL.....	137
7.1	Introdução.....	137
7.2	Metodologia.....	138
7.3	Resultados e discussões.....	142
7.3.1	<i>Sistema rio-planície e sua distribuição na BH do rio Santa Cruz.....</i>	142
7.3.2	<i>Gênese, morfologia e pedoestratigrafia das planícies fluviais do rio Santa Cruz.....</i>	146
7.3.3	<i>Morfologia das planícies fluviais do rio Santa Cruz.....</i>	149
7.4	Pedoestratigrafia dos perfis 1 e 2: aspectos morfopedológicos, físico-químicos e cronoestratigráficos.....	152
7.4.1	<i>Pedoestratigrafia dos perfis 1 e 2.....</i>	154
7.4.2	<i>Análises físico-químicas dos perfis 1 e 2.....</i>	154
7.4.3	<i>Cronogramas das planícies fluviais do rio Santa Cruz.....</i>	156
7.4.3.1	<i>Análise da cronogramas da planície fluvial do perfil 1.....</i>	157
7.4.3.2	<i>Análise da cronogramas da planície fluvial do perfil 2.....</i>	160
7.5	Considerações finais.....	163
8	ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTES (APP) RIPÁRIAS: NORMAS DE PROTEÇÃO E SUAS IMPLICAÇÕES NA PLANÍCIE FLUVIAL DO RIO SANTA CRUZ, SERTÕES DE CRATEÚS/CE-BRASIL.....	165
8.1	Introdução.....	165
8.2	Metodologia.....	166
8.3	Caracterização da área de estudo.....	167
8.4	Criação e evolução métricas das APPs ripárias no Brasil.....	170
8.5	Análise espaço-temporal do uso e cobertura da BH do rio Santa Cruz e suas planícies fluviais.....	178
8.6	Análises das APPs e planície fluvial do rio Santa Cruz, Sertões de Crateús/CE-Brasil.....	183
8.7	Análise sobre a eficiência da legislação ambiental na preservação das APPs ripárias do rio Santa Cruz- Sertões de Crateús, CE/Brasil.....	185

8.8	Considerações finais.....	188
9	IDENTIFICAÇÃO DAS ÁREAS DE RISCOS RELACIONADAS AOS EVENTOS PLUVIOMÉTRICOS EXTREMOS NA ZONA URBANA DE INDEPENDÊNCIA-CE.....	190
9.1	Introdução.....	190
9.2	Caracterização ambiental do Município de Independência-CE.....	191
9.3	Metodologia.....	194
9.4	História da evolução territorial e surgimento da cidade de Independência-CE.....	195
9.5	Análise da série pluviométrica do posto Independência-CE entre 1974 a 2019.....	198
9.6	Identificação das áreas de riscos e eventos pluviométricos extremos na zona urbana de Independência – CE.....	202
9.6.1	<i>Identificações das áreas de riscos de Independência-CE.....</i>	202
9.6.2	<i>Identificação e análises dos eventos pluviométricos extremos na zona urbana de Independência-CE.....</i>	208
9.7	Considerações finais.....	209
10	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	212
	REFERÊNCIAS.....	215
	APÊNDICE A - RESULTADOS DAS ANÁLISES MOFOLÓGICAS E FÍSICO-QUÍMICAS DOS PERFIS 1 E 2.....	229
	ANEXO A - RECOMENDAÇÕES PARA COLETA DE AMOSTRA DE SEDIMENTOS EM AFLORAMENTOS E TRINCHEIRAS PARA DATAÇÃO POR LUMINESCÊNCIA OPTICAMENTE ESTIMULADA (OSL) FORNECIDAS PELO LEGal.....	231
	ANEXO B - RESULTADOS DAS ANÁLISES MOFOLÓGICAS E FÍSICO-QUÍMICAS DO PERFIL 1.....	233
	ANEXO C - RESULTADOS DAS ANÁLISES MOFOLÓGICAS E FÍSICO-QUÍMICAS DO PERFIL 2.....	234
	ANEXO D - RESULTADOS DAS IDADES OSL EM ALÍQUOTAS DE QUARTZO (LEGal).....	235

1 INTRODUÇÃO

A Bacia hidrográfica (BH) é um sistema multidimensional em que a sociedade atua para desenvolver suas atividades socioprodutivas. Trata-se também de uma célula de análise empregada por diversas ciências por permitir exames sob diferentes tipos de perspectivas que se agregam para explicar a sua complexidade.

Assim, é possível estudá-la a partir dos seus aspectos geológicas, climatológicas, geomorfológicas, climáticas, hidroterritoriais, pedológicas, fitoecológicas e dos tipos de uso e cobertura. Dentre estas, as abordagens hidrográficas, geomorfológicas e do uso e cobertura são as mais empregadas em razão das demandas socioprodutivas e governamentais.

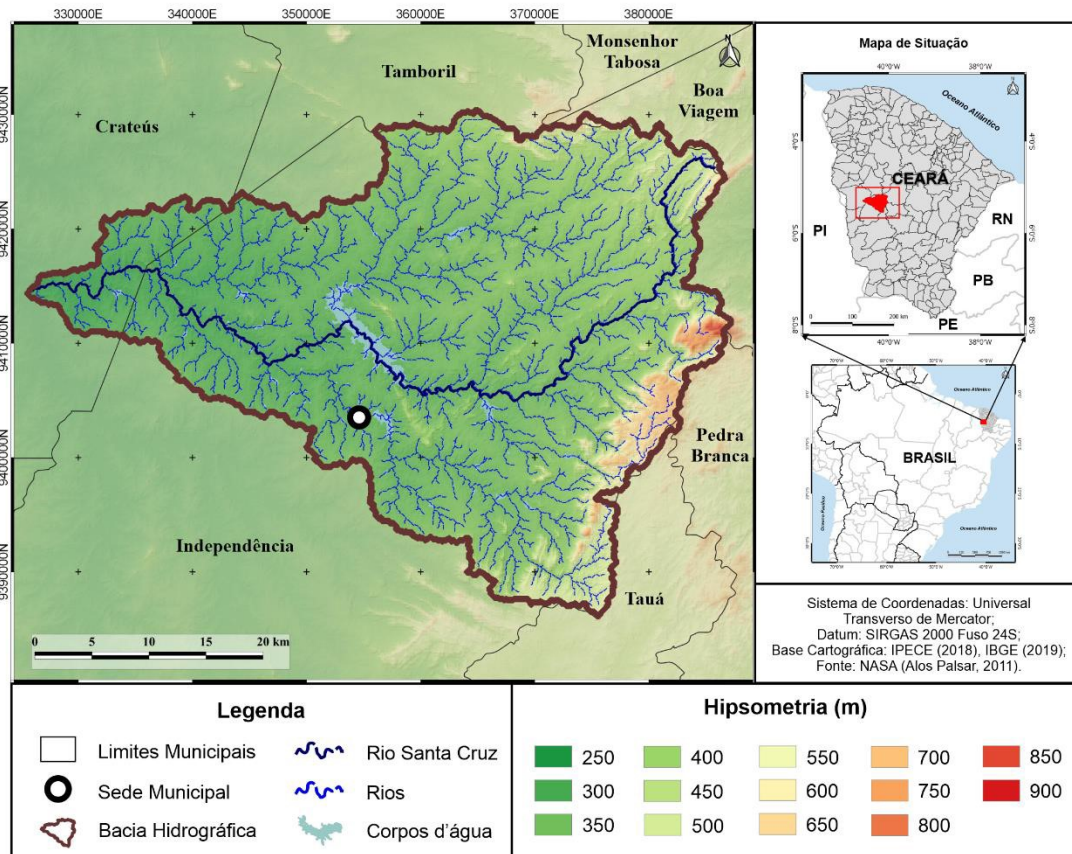
No âmbito cearense, as BH são sistemas que despertam atenção da sociedade e do governo por serem estratégicas para o desenvolvimento, gestão territorial e combate à pobreza e à escassez hídrica. Inúmeros estudos têm elegido a BH como uma célula de análise, porém se limitam a descrever suas características morfométricas, hidrográficas, tipos de uso ou os impactos da degradação ambiental sobre suas paisagens (BATISTA; VERÍSSIMO, 2012; GOMES *et al.*, 2012; SOUZA; SANTOS; OLIVEIRA, 2012; SILVA; SANTOS, 2014; GOMES, 2015; COSTA; SANTOS; OLIVEIRA, 2016).

Porém, poucos são o que examinam seus principais fatores e processos formativos ou se sua evolução ainda é influenciada por ações neotectônicas (MAIA, 2006; OLIVEIRA; SILVA FILHO; NOGUEIRA NETO, 2018; SILVA, 2017; QUEIROZ *et al.*, 2017).

Por isso, há muitas dúvidas sobre quando e como as BH foram criadas, quais os principais fatores e processos que atuaram em suas gêneses, no seu modelado e na sua evolução. Além disso, há poucas informações sobre as origens, estratigrafias, morfologias e conservações das planícies fluviais que são vastamente empregadas e degradadas pelos sertanejos.

Diante disso, elegeu-se a BH do rio Santa Cruz, situada no centro-oeste cearense, na microrregião de Sertões de Crateús (Mapa 1), como objeto amostral desta pesquisa por sua configuração ambiental complexa, degradada, pouco estudada e por compor o alto curso do rio Poti que é a maior BH endorreica do Ceará.

Ademais, é um sistema fluvial representativo do semiárido nordestino que possui planícies fluviais ao longo de rios intermitentes, cuja geocronologia, estratigrafia, morfometria e a conservação são desconhecidas, portanto, demandando estudos específicos para suas compreensões e proposições de planos de manejos adequados.



Mapa 1 - Localização da BH do rio Santa Cruz, Sertões de Crateús – Ceará/Brasil.

Isto posto, parte-se da hipótese de que a BH escolhida tem sua origem e morfologia significativamente controladas pela litoestrutura pré-cambriana e que as planícies fluviais foram geradas nos últimos 10.000 anos e não são devidamente protegidas pela legislação ambiental. Logo, o objetivo deste trabalho foi realizar uma análise morfoestrutural, sedimentológica e dos estados de uso e conservação BH do rio Santa Cruz.

Com isso, foram desenvolvidos os seguintes objetivos específicos: 1) analisar os principais conceitos pertinentes à BH; 2) entender as evoluções da legislação conservacionista, sobretudo das Áreas de Preservação Permanentes – APPs ripárias; 3) interpretar as inter-relações entre os elementos socioambientais da BH examinada; 4) caracterizar morfometricamente a BH; 5) estudar as inter-relações entre o controle estrutural e as anomalias na rede de drenagem; 6) compreender a gênese e a morfologia das planícies fluviais; 7) avaliar os impactos que as leis ambientais causaram na conservação das planícies fluviais e suas APPs; e 8) identificar áreas de riscos em Independência-CE.

Quanto à organização deste trabalho, na primeira seção, discorreu-se sobre a história evolutiva das principais leis, alvarás, decretos e normas ambientais responsáveis pelo controle dos usos dos recursos naturais, bem como as criações das áreas de preservação no território

brasileiro. Tal discussão foi realizada para identificar os principais dispositivos jurídicos que versam sobre as proteções dos recursos e espaços presentes nos sistemas fluviais.

Na segunda seção, há uma revisão dos principais conceitos de bacia hidrográfica, sub-bacia e microbacia hidrográfica presentes na literatura tecno-científica, com intuito de identificar as variações conceituais e quais as suas características fundamentais, limitações e qualidades na análise geográfica.

Na terceira seção, há a análise integrada dos principais elementos paisagísticos, o uso e a cobertura da BH do rio Santa Cruz. Isto posto, são apresentados os principais componentes e unidades de paisagens constituintes do sistema fluvial examinado, assim como são indicados dados e informações sobre os tipos de uso e suas expansões entre 1985 até 2019.

A quarta seção destinou-se à compreensão da modelagem do sistema fluvial. Nesta são identificadas e examinadas as características morfométricas da BH do rio Santa Cruz e suas inter-relações com os elementos ambientais, especialmente os litoestruturais. Além disso, observou-se se a BH não detém condicionantes que favoreçam inundações em seus espaços.

A quinta seção volta-se para a análise do controle estrutural e da formação das anomalias nas drenagens. Por isso, tratou de elucidar os principais fatores e processos que atuaram na geração da BH, na estruturação da sua rede de drenagem e as origens e fatores geradores das principais anomalias na drenagem do rio Santa Cruz.

A sexta seção apresenta e discute a gênese (processos e geocronologias), análises estratigráficas e as morfologias das planícies fluviais do rio supracitado. Oferecendo dados inéditos sobre as gêneses e morfologias das planícies fluviais do interior do Estado do Ceará.

Na sétima seção, identificou-se as principais leis e decretos que protegem os elementos e espaços dos sistemas fluviais no Brasil. Diante disso, foram demonstradas as principais leis, com destaque para aquelas voltadas para as Áreas de Preservação Permanentes (APP) ripárias e as alterações métricas que sofreram desde 1965. Com isso, examinou-se as repercussões dessas leis, sobretudo o novo Código Floresta Brasileiro - CFB (lei nº 12.651 de 25 de maio de 2012) no uso e conservação das APPs ripárias e nas planícies fluviais do rio Santa Cruz.

A oitava seção aborda a identificação das áreas de riscos (planícies fluviais), na zona urbana de Independência-CE, susceptíveis aos eventos pluviométricos extremos. Neste âmbito, foram indicadas as áreas e as datas de ocorrências dos eventos pluviométricos extremos que causaram as inundações e provocaram prejuízos socioeconômicos entre 1974 a 2019 e que

presentemente estão sendo ocupadas irregularmente. Por fim, há as considerações finais sobre os resultados da tese.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Evolução das normas ambientais utilizadas na gestão dos recursos naturais do território brasileiro

2.2 Introdução

A proteção ambiental é um pré-requisito para o desenvolvimento nacional, assim como para a manutenção da vida porque as degradações das paisagens repercutem negativamente no funcionamento dos serviços socioambientais. Tal processo desencadeia fenômenos adversos à vida, por comprometer a soberania alimentar do país e acentuar o quadro de pobreza no território.

Uma das ações empreendidas para gerir e salvaguardar os recursos naturais do Estado é a criação de leis e regulamentos. Esses são relevantes para a proteção e conservação ambiental porque exigem das pessoas o cumprimento de normas e obrigações, caso contrário sofrerão penalidade pelas infrações ou omissões (BORGES; REZENDE; PEREIRA, 2009). A maior dificuldade da legislação ambiental é a de buscar compatibilizar a perspectiva ecocêntrica com a antropocêntrica para evitar o acirramento dos conflitos ambientais e as desproteções das paisagens.

Embora a preocupação global com o meio ambiente tenha sido intensificada depois do ano de 1950, muitas leis e ações conservacionistas foram criadas em diversos lugares do mundo antes dessa data (PORTUGAL, 2012; BOSSELMANN, 2015). Estas versavam sobre controle da exploração dos recursos naturais e manutenção de determinados ciclos econômicos importantes de cada época. Portanto, não foram estabelecidas estritamente para a conservação ambiental devido as suas diversas funções ecossistêmicas e valor intrínseco.

Assim, é relevante conhecer quais as principais normas ambientais que foram empregadas para assegurar a gestão e a conservação dos recursos naturais do território brasileiro desde o seu período colonial ao atual. Visto que a configuração socioambiental presente é produto de diversos regramentos que orientaram o uso, a exploração e a preservação das paisagens em épocas distintas, refletindo os valores que guiavam o pensamento social coletivo e sua transformação cultural histórica.

Isto posto, parte-se da hipótese de que as normas ambientais brasileiras foram criadas para resolver problemas socioambientais imediatos ao longo da sua história, primando, pela manutenção das atividades socioprodutivas, não empregando a perspectiva ecocêntrica e negligenciando o valor intrínseco dos seres. Desse modo, surgem os seguintes questionamentos:

quais e quando foram originadas as principais normas que regulam os recursos naturais do território brasileiro? Quais foram as suas principais funções e objetos de proteção?

Logo, este trabalho identifica e demonstra as principais normas ambientais utilizadas na gestão dos recursos naturais no Brasil desde o período colonial até a atualidade, expondo suas funções e elementos protegidos para a gestão “sustentável” dos referidos. Para tanto, foram realizadas pesquisas bibliográficas, documental e de artigos na rede mundial de computadores sobre as leis, decretos e resoluções promulgadas em prol da gestão e conservação ambiental no Brasil, desde seu período colonial. Todas as informações obtidas foram cronologicamente organizadas com base em cada grande período histórico brasileiro, citados e apresentados seus objetivos e inovações.

2.3 Evolução das normas ambientais utilizadas na gestão dos recursos naturais do território brasileiro

2.3.1 As primeiras normas ambientais utilizadas durante o período colonial brasileiro (1500 a 1822)

As primeiras leis ambientais brasileiras vieram de Portugal, onde foram criadas as Ordenações Afonsinas (1446), depois as Manuelinas (1514-21) e as Filipinas (1603). Estas representavam instruções e leis voltadas para o zoneamento territorial, a maximização do uso da terra, produção de gêneros alimentícios, combate ao corte de frutíferas, ao roubo e ao abate de animais (WAINER, 1993). Isto é, objetivavam assegurar o uso da terra, a soberania alimentar e coibir a degradação de recursos estratégicos para os ciclos econômicos de então, sendo uma normatização totalmente antropocêntrica por proteger os recursos naturais demandados pela sociedade humana.

Uma das primeiras leis criadas para controlar um problema ambiental brasileiro foi a Carta Régia de 1542, que estabelecia as normas de cortes e uso do Pau-Brasil, assegurando o monopólio real português. Diante da exploração predatória e da eminência da exaustão dessa árvore, foi criado o decreto de 12 de dezembro de 1605, que restringia o corte do Pau-Brasil (*Paubrasilia echinata*) e punia seus infratores (WAINER, 1993). Nesse caso, a preocupação era com o comprometimento da atividade econômica que perdeu vigor, em 1875, com o emprego da anilina como corante.

Em 1603, as Ordenações Filipinas criaram uma lista de árvores reais protegidas e estabeleceram normas sobre os descartes de materiais em lagos e rios para proteger os recursos hídricos e pesqueiros (PORTUGAL, 2012). Em 1641 e 1642, João Maurício de Nassau proibiu o corte de cajueiros e o lançamento de bagaços de cana-de-açúcar nos rios (BURSZTYN;

PERSEGONA, 2008). Tais medidas foram necessárias porque havia uma crise alimentar no Brasil, sendo imperativo impulsionar a produção de alimentos e proteger os cursos de água porque os peixes estavam morrendo devido aos resíduos descartados.

Após a expulsão dos holandeses, ocorreram outros eventos importantes para o meio ambiente, como a Carta Régia, de maio de 1773, em que D. Maria I determinou que o Vice-Rei do Brasil atuasse na proteção das madeiras e matas (WAINER, 1993). No Rio de Janeiro, uma provisão, em 7 de agosto de 1738, proibiu a exportação de Tapinhoã (*Mezilaurus navalium*), com exceção de que fossem usadas para construção de navios de guerra. Em maio de 1743, proibiu-se o corte de manguê vermelho que poderia ser usado unicamente para construção de edifícios.

Tanto em 1795 quanto em 1797, alvarás e cartas-régias foram espedidas para a proteção dos arvoredos próximos dos mares e dos rios porque eram estratégicos para o comércio com a metrópole e como estoques para construção de edificações navios (WAINER, 1993). Em 1800, foi instituída uma nova Carta Régia a qual determinava que proprietários deveriam conservar espécies vegetais estratégicos para a Coroa em um faixa de 10 léguas da costa, também foi criado o posto de ‘Juiz Conservador’ e a ‘Patrulha Montada’ para fiscalizar as atividades madeireiras (BORGES; REZENDE; PEREIRA, 2009).

A questão hídrica era importante para a coroa portuguesa, tanto que D. João VI determinou, via o decreto de 9 de agosto de 1817, que fossem cercados os terrenos dos altos das serras, onde há as nascentes do rio Carioca, ampliando gradualmente a proteção da bacia hidrográfica do rio indicado (ICMBio, 2008). Como a madeira era um recurso natural estratégico para construção naval, móveis e para obtenção de energia térmica, a sua conservação foi recrudescida diante da expansão dos desmatamentos.

2.3.2 Os avanços das normas ambientais originadas no Período do Imperial brasileiro (1822 a 1889)

Em 1827, foi instituída uma Carta de Lei que conferiu, aos juízes, maiores poderes para a proteção de vegetais relevantes e dotados de valores econômicos. Isso suscitou, na valorização econômica de algumas espécies, tidas como “madeiras de lei”. Ademais, em 11 de junho de 1829, foi reafirmada a proibição de desmatar e roçar terras devolutas sem autorização prévia das câmaras municipais e sob a fiscalização de juízes (BORGES; REZENDE; PEREIRA, 2009).

A partir de 1816, as plantações de café foram expandidas pelas encostas da Tijuca e a degradação da Mata Atlântica ocasionou crises no abastecimento hídrico na Cidade do Rio de Janeiro, assim o imperador Dom Pedro II iniciou um processo de desapropriação, em 1854, para proteger as nascentes e para executar o reflorestamento dessas áreas (ICMBio, 2008). Em 1861, Dom Pedro II, por meio do decreto N° 557, criou a Floresta da Tijuca e das Paineiras, determinando o seu reflorestamento com espécies nativas visando à recomposição florestal e à mitigação da crise hídrica no Rio de Janeiro (BORGES; REZENDE; PEREIRA, 2009).

Para Borges, Rezende e Pereira (2009), a criação da Floresta da Tijuca, embora não tenha um caráter eminentemente conservacionista, foi importante para o Direito Ambiental Brasileiro, por regulamentar áreas protegidas que culminou na criação do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) no ano de 2000. Adicionalmente, representa um marco na criação de áreas protegidas no mundo antes mesmo do parque de *Yellowstone* em 1 de março de 1872.

2.3.3 O florescimento das normas ambientais no Período Republicano brasileiro

Gradualmente, a legislação ambiental avançou com o caráter imediatista e voltada para assegurar as manutenções dos sistemas socioeconômicos da época. Enquanto isso, a degradação ambiental no país aumentava devido à intensificação dos cultivos das monoculturas, da pecuária e da queima de combustíveis fósseis e de madeira.

Em 1934, no Estado Novo, diversos dispositivos jurídicos foram criados para proteger alguns espaços e recursos naturais brasileiros, como o decreto de nº 23.793/34, que é o primeiro Código Florestal do Brasil (CFB), e o decreto nº 24.643/34, precursor do Código das Águas (CA). Apesar disso, o primeiro decreto não tratava de áreas de proteção permanente (APP) e estava voltado para a preservação florestal que era subdividida em: modelos, protetoras, rendimentos e remanescentes.

Ademais, no Art.1, versava que “as florestas existentes no territorio nacional, consideradas em conjuncto, constituem bem de interesse commum a todos os habitantes, do paiz, exercendo-se os direitos de propriedade com as limitações que as leis em geral, e especialmente este código, estabelecem” e, no Art. 23, estabeleceu a reserva legal que correspondia a 25% da propriedade (BRASIL, 1934). Isso demonstrava a necessidade do Estado em controlar o uso do território para a manutenção dos espaços e de seus recursos naturais, caso contrário os recursos seriam utilizados desmedidamente até sua exaustão.

O Código das Águas (decreto nº 24.643/34) tratava os rios e suas planícies em uma perspectiva administrativa, em que eram proibidas as construções de edificações em faixas de 15 metros ao longo de rios navegáveis e de 10 metros para os demais, porém não havia proibição do desmatamento das matas ribeirinhas ou seus usos para agricultura e pecuária. Tal decreto não estava alinhado integralmente com a conservação ambiental, mas com a proteção de edificações contra eventos extremos e a manutenção de espaços estratégicos para o Estado.

Após isso, Magalhães (2002) informa que outras ações foram desenvolvidas em prol da legislação ambiental e da conservação das paisagens, como a criação do primeiro Parque Nacional do Brasil, o de Itatiaia, em 1937, e cita que, entre 1938 a 1965, surgiram 14 parques nacionais com 1,2 milhões de hectares e uma reserva florestal na região Amazônica com 200.000 ha.

As devastações da segunda guerra mundial, as eclosões de diversas denúncias de degradações ambientais no mundo e a intensificação do movimento ambientalista fundamentaram, em 1962, um debate para reformular o Código Florestal vigente. Assim, em 15 de setembro de 1965, foi aprovada a Lei nº 4.771, considerado como o segundo CFB.

O CFB, reafirmou que as florestas e seus recursos eram bens de interesses comuns de toda a população e trouxe uma série de inovações como as Áreas de Preservação Permanentes (APP), representando um avanço na legislação e na proteção de diversos espaços morfodinamicamente instáveis, dentre eles, os ribeirinhos. As reservas legais na região florestal amazônica foram ampliadas para 50% do território das propriedades, enquanto nas demais houve a redução de 25% para 20% (MAGALHÃES, 2002; MARIGA; RUSCHEINSKY, 2017). Posteriormente, a Medida Provisória 2.166-67, de 2001, aumentou a Reserva Legal para 80% em territórios de florestas e 35% em áreas de cerrado dentro da Amazônia Legal, mantendo 20% para as demais áreas.

A legislação ambiental não ficou restrita aos âmbitos da flora e dos espaços estratégicos, pois foi promulgada a Lei nº 5.197, de 3 de janeiro de 1967, a qual versa sobre a proteção da fauna e dá outras providências. Entre suas determinações está a proibição da caça profissional, todos os animais silvestres em qualquer estado de desenvolvimento e seus ninhos e abrigos são de propriedade do Estado e foi proibido o comércio de espécies da fauna silvestre e de produtos que estejam vinculados a sua caça ou exploração.

Em 1967, foi criado o Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF) por meio do decreto-lei nº 289, de 28 de fevereiro de 1967, cujo objetivo era “[..] formular a política

florestal bem como a orientar, coordenar e executar ou fazer executar as medidas necessárias à utilização racional, à proteção e à conservação dos recursos naturais renováveis e ao desenvolvimento florestal do país, de conformidade com a legislação em vigor” (BRASIL, 1967). Com isso, esse novo órgão foi concebido para auxiliar na execução da legislação e uso racional dos recursos naturais e seus ecossistemas em todo o país.

Após a criação do Conselho Nacional de Pesquisa, em 1951, e da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), em 1956, o governo buscou desenvolver e dominar as tecnologias nucleares para construção de submarinos, energia e armamentos. Isso suscitou na construção da Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto, em 1972, formada por Angra 1, Angra 2 e Angra 3 (ainda em construção). Diante dos desastres ambientais causados pelo uso desta fonte de energia no mundo, o governo editou a Lei nº 6.453 em 17 de outubro de 1977 que explana conceitos sobre acidentes, radioatividade, resíduos radioativos, dispondo também sobre a responsabilização civil e criminal dos responsáveis em caso de acidentes, deste modo orientando condutas e mitigando possíveis danos ambientais.

Na década de 1980, floresceram os acordos internacionais e o movimento ambiental, assim promoveu-se a Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar (CNUDM), em 1982, a Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD), em 1983, o Protocolo de Montreal, em 1987, e a Convenção de Basiléia, em 1989. Isso repercutiu na conjuntura brasileira que estava alinhada com o crescimento econômico insustentável, implicando em pressões para que o governo brasileiro adequasse e normatizasse as atividades socioeconômicas frente às novas ações ambientais globais.

Durante a década de 1980, houve a ampliação de 5 para 30 metros das APP ripárias dos rios com larguras inferiores a 10 metros, bem como outros parâmetros devido à aprovação unânime da Lei nº 7.803 pela Comissão de Agricultura (SCHÄFFER, 2011). Isto deve-se aos levantamentos realizados na região de Itajaí, em Santa Catarina, onde houve enchentes em 1983 e 1984, causando prejuízos econômicos e perdas de vidas humanas. Tais impactos teriam sido menores se as APPs ripárias compreendessem espaços maiores, por isso ampliaram as métricas das APPS, objetivando a proteção da população e do ambiente diante de desastres naturais.

Em 1981, surgiu um marco para a Legislação Ambiental brasileira, a Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que trata da Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação e entre outras providências. Foi responsável pela criação do Cadastro de Defesa Ambiental, do Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA), do Conselho

Nacional de Meio ambiente (CONAMA) e estabeleceu suas organizações, diretrizes, instrumentos e objetivos a serem seguidos.

Ademais, esta Lei, com 21 artigos, vislumbra o ambiente como um patrimônio público que deve ser protegido em prol do desenvolvimento socioeconômico e da qualidade ambiental. Por isso, no artigo 9º, há os instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente, apontando o estabelecimento de padrões de qualidade ambiental, o zoneamento ambiental, a avaliação de impactos ambientais. Além disso, há o licenciamento e a revisão de atividades potencialmente poluidoras e os incentivos para pesquisas, desenvolvimento e absorção de tecnologias para a melhoria ambiental.

No dia 24 de julho 1985, foi promulgada a Lei Nº 7.347 (Lei da Ação Civil Pública) que assegura os interesses difusos da população brasileira e da ação civil pública a ser usada para responsabilizar infrações causadas ao meio ambiente, ao consumidor e aos patrimônios artísticos, paisagísticos e turísticos. Assim, serve para defender os interesses difusos e coletivos contra atos governamentais e entidades privadas que promovem ações arbitrárias aos direitos coletivos da sociedade. Destaca-se que a valorização da defesa do direito difuso ao meio ambiente já estava presente na Lei Nº 6.938, contudo a nova Lei compreende outras dimensões, ampliando a defesa dos direitos coletivos.

Os legisladores e juristas brasileiros entenderam a importância da proteção ambiental como uma ação essencial para a manutenção da vida e para o desenvolvimento do país. Dessa maneira, ao criarem a Constituição Federal (CF) de 1988, positivaram no o Art. 225, que “todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações” (BRASIL, 1988).

Isso foi gerado com a pretensão de englobar os 26 princípios propostos pela Declaração de Estocolmo, de 1972, que foram relevantes para fortalecer a cooperação internacional, o desenvolvimento sustentável e o respeito à vida. Frisa-se que o Art. 225, presente na CF de 1988, é um direito de terceira geração, vinculado à fraternidade e impõe ao poder público e à sociedade o dever de cuidar do meio ambiente, tido como essencial para a vida e ao desenvolvimento do Brasil.

Deste modo, verificou-se uma série de inovações na legislação, como a valorização dos princípios da sustentabilidade - desenvolvimento sustentável, poluidor pagador, prevenção, precaução, participação, ubiquidade e vedação de retrocesso, por exemplo (SANTOS FILHO

et al., 2015). O meio ambiente ecologicamente equilibrado passou a ser um direito fundamental e difuso de cada cidadão do presente e do futuro e o seu cuidado passa a ser um dever de todos (BENJAMIN, 2015).

Nesses termos, essas alterações nortearam as novas execuções de diversas ações institucionais, representando um novo marco jurídico porque pôs de lado a perspectiva eminentemente exploratória do meio ambiente em favor da sua conservação, objetivando o desenvolvimento sustentável da nação.

Em consonância disso, o título VII da Constituição Federal de 1988, ao tratar da ordem econômica e financeira do país, afirma, no Art. 170, que a ordem econômica deve assegurar a todos uma existência digna, segundo os preceitos da justiça social e observar outras variáveis, dentre as quais está a defesa ao meio ambiente (BRASIL, 1988). Portanto, há o reforço e uma determinação aos agentes produtivos para prezarem pelo meio ambiente sadio que é basilar para o desenvolvimento das atividades econômicas e social do Brasil.

A Constituição de 1988 deu ênfase a questão ambiental em uma perspectiva conservacionista, subsidiando as criações de várias leis com o intuito de aprimorar o sistema jurídico de proteção ao meio ambiente. Contudo, as eficiências das referidas são questionadas devido a alguns pontos flexibilizados em prol dos interesses dos detentores do poder econômico.

Dentre os avanços da Constituição Federal de 1988, há a criação dos Espaços Territoriais Especialmente Protegidos (ETEP) e de dotar o Poder Público da função de definir, em todas as unidades, os espaços territoriais e seus componentes a serem protegidos, cuja supressão ou alteração somente ocorrerá por meio de uma lei. Nesta perspectiva, a competência administrativa desses espaços é da União, dos estados, do Distrito Federal e dos municípios a quem tem o poder de definir espaços territoriais a serem protegidos, conforme está estabelecido na Lei Complementar N°140/2011, especificamente nos Art. 7º, 8º, 9º e 10º.

Com isso, surgem os ETEP que englobam uma diversidade de paisagens notáveis pelos seus aspectos estéticos, científicos, ecológicos, patrimoniais e econômicos. Contudo, a CF em voga não os definiu ou delimitou suas abrangências porque as questões ambientais e as demandas dos cidadãos não são acompanhadas pela rigidez de uma Constituição (PEREIRA; SCARDUA, 2008). Por isso, é função do legislador infraconstitucional ou analista da norma defini-los conforme suas especificidades.

Em consonância disso, para Pereira e Scardua (2008, p. 95):

A maior contribuição ao meio ambiente trazida pelo artigo 225, § 1º, inciso III, da Constituição não está explícita no texto, e sim no respaldo que ele dá aos demais textos legais. A maior parte das restrições específicas dos espaços territoriais especialmente protegidos ao uso dos recursos naturais, ao direito de propriedade e à segurança de manutenção dos bens culturais está na legislação esparsa. O artigo não só dá respaldo ao poder público para impor limitações para manutenção do meio ambiente ecologicamente equilibrado, como ainda estabelece que esse é um dever, não apenas uma faculdade.

O texto constitucional não somente criou, valorizou e salvaguardou as ETEP, mas gerou fundamentos para assegurar legislações específicas a serem criadas com o propósito de aprimorar o sistema de proteção dos espaços tratados. Os ETEP abrangem as Áreas de Preservação Permanentes (APP), Reservas Legais, as Unidades de Conservação e as Terras Indígenas e Quilombolas. Não obstante, essas classes englobam uma grande gama de espaços protegidos pela legislação ambiental brasileira e mais detalhes podem ser visto no trabalho de Pereira e Scardua (2008).

Dados aos aprimoramentos da legislação ambiental, novos órgãos foram concebidos para compor o SISNAMA, dentre eles o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), criado no dia 22 de fevereiro de 1989, por meio da Lei 7.735. Sua concepção envolveu a aglutinação de quatro instituições, como a Secretaria do Meio Ambiente (SEMA), o Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF), a Superintendência da Pesca (SUDEPE) e a Superintendência da Borracha (SUDHEVEA). Assim, passou a atuar como polícia ambiental, executar ações supletivas da União, a política nacional em prol do meio ambiente, licenciar grandes obras, bem como combater os desmatamentos e os incêndios florestais.

Nesta época havia indícios de impactos ambientais em razão do mau uso dos agrotóxicos, que eram empregados na agricultura brasileira. Por conta dos riscos e problemas dessa utilização, surgiu a Lei N° 7.802, em 10 de julho de 1989, que versa sobre a experimentação, classificação, rotulação e produção de embalagens, transportes, armazenamentos, comercialização, fiscalização, importação e exportação, como também a utilização de agrotóxicos. Sendo um importante marco regulatório para controlar a produção, venda e utilização de agrotóxicos no Brasil.

Com a aprovação da CF de 1988, a legislação ambiental do país passou por grandes inovações decorrentes da intensificação das transformações socioambientais nos âmbitos internacionais e nacionais devido aos desastres ambientais e ao crescimento econômico sem limites e fomentador das desigualdades sociais.

Em 1992, a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (ECO 92 ou Rio 92) representou um avanço na cooperação internacional e na criação de políticas públicas integradas entre chefes de Estado de diversas nações em prol do desenvolvimento sustentável.

Nesse evento, foi assinada, pelo Presidente da República, a Convenção da Diversidade Biológica (CDB) cujo objetivo era a conservação da diversidade biológica, o uso sustentável de seus elementos, a repartição equitativa dos benefícios oriundos da utilização dos recursos genéticos e outros (MMA, 1992). Em seus 42 artigos, a CDB trata de vários temas para a conservação ambiental e para a diversidade biológica, entre eles a definição de áreas protegidas no Art. 2º: “[...] significa área definida geograficamente que é destinada, ou regulamentada, e administrada para alcançar objetivos específicos de conservação” (MMA, 1992), sendo uma definição importante para subsidiar políticas públicas conservacionistas.

Segundo Pereira e Scardua (2008), diante da importância da CDB, o texto foi ratificado pelo Congresso Nacional via o Decreto Legislativo nº 2, de 8 de fevereiro de 1994 e promulgada pelo Decreto nº 2.519, de 17 de março de 1998, conferindo o amparo legal necessário para sua efetivação. Os autores acrescentam que para cumprir as obrigações assumidas na CDB, Ministério do Meio Ambiente elaborou, em 2006, o Plano Estratégico Nacional de Áreas Protegidas (PNAP), instituído por meio do Decreto nº 5.758, de 13 de abril de 2006.

Dentre os avanços da legislação na década de 1990, foi a promulgação da Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que Instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e originou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, por exemplo. Essa Lei é um marco na gestão dos recursos hídricos no país, tratando de questões relacionadas aos recursos hídricos, a sua gestão, ao planejamento, dentre outros.

Um dos maiores legados desta Lei é o fato de conceber a água como um bem de domínio público, como um recurso natural limitado e dotado de valor econômico. Adicionalmente, instituiu que sua gestão deve ser descentralizada e participativa, para proporcionar os usos múltiplos da água, e a bacia hidrográfica passa a ser uma unidade territorial de planejamento e gestão.

Posteriormente, surgiram o Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH (regulamentado pelo Decreto nº 4.613, de 11 de março de 2003) e os comitês de bacia hidrográficas, formados por representantes das três esferas do Poder Público, pelos usuários e pela sociedade civil. Suas funções concernem em arbitrar sobre conflitos pelo uso da água na

bacia hidrográfica, criar mecanismos e estabelecer valores de cobrança pelo consumo hídrico, elaborar e aprovar o Plano de Recursos Hídricos da bacia que atuam.

A Lei 9.433 também definiu os objetivos da PNRH, que asseguram às atuais e as futuras gerações a disponibilidade de água com qualidades compatíveis com as suas necessidades e fomenta a utilização racional e integrada da água. Além disso, anseia maximizar a proteção e a defesa contra eventos hidrológicos extremos naturais ou não, bem como incentivar a captação e preservação de águas pluviais.

Em 1998, foi criada a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, a qual estipula as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Esta lei surgiu em decorrência das crescentes degradações ambientais causadas pelas diversas atividades sociais e do que está exposto no inciso II (obrigatoriedade do explorador recuperar o ambiente degradado) e no inciso III (atividades lesivas ao ambiente sujeitarão as pessoas físicas ou jurídicas à sanções penais e administrativas, independentemente da obrigação de reparar os danos causados) do Art. 225º da Constituição Federal de 1988.

Um dos pontos importantes da Lei nº 9.605 está disposto no Art. 2º, que determina que o infrator desta lei sofrerá penalidade na medida da sua culpabilidade, inclusive aqueles que sabiam da ação criminosa e tinham poder para impedi-la, mas não o fizeram. Já, no Art. 3º, trata da responsabilização de pessoas jurídicas civilmente e administrativamente por crimes ambientais cometidos por decisões de seu representante legal, contratual ou do órgão colegiado. Desta maneira, a legislação avançou na penalização de ações criminosas cometidas ao meio ambiente por pessoas físicas e jurídicas.

Durante 1999, houve a promulgação da Lei nº 9.795, de 27 de abril de 1999, a qual dispõe sobre a educação ambiental e institui a Política Nacional de Educação Ambiental. Essa Lei auxiliou decisivamente na adoção da Educação Ambiental (EA) como uma ferramenta para a construção de uma nova racionalidade ambiental, que preza pela valorização da sustentabilidade, da coexistência entre os seres e do desenvolvimento sustentável.

Ademais, a Lei define a EA, no Art.1º, como “os processos por meio dos quais o indivíduo e a coletividade constroem valores sociais, conhecimentos, habilidades, atitudes e competências voltadas para a conservação do meio ambiente, bem de uso comum do povo, essencial à sadia qualidade de vida e sua sustentabilidade”. Além disso, o Art. 2, estabelece que a EA é um componente essencial e permanente da Educação Nacional, devendo estar articulada com todos os níveis e formas do processo educativo, este formal ou não. Estes artigos mostram

o poder da educação na construção de novos valores em favor de modos de vidas mais integrados e menos conflitantes com os demais seres do ambiente.

Em 21 de setembro de 1999, foi editado o Decreto nº 3.179 que discorre sobre a especificação das sanções aplicáveis às condutas e atividades lesivas ao meio ambiente entre outras providências. De tal modo que, no Art. 1, há que toda ação ou omissão que viole o uso, gozo e promoção, proteção e recuperação do meio ambiente será considerada uma infração administrativa ambiental e será punida. Já, no Art. 2, há as sanções a serem aplicadas àqueles que infringirem a lei ambiental, partindo de advertências até reparação de danos causados. Tal decreto auxilia na punição de infratores e reforça a responsabilidade do Estado perante o ambiente.

No ano de 2000, foi promulgada a Lei 9.985, de 18 de julho de 2000, que criou o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), definiu vários conceitos, como conservação, preservação, uso direto e indireto dos recursos ambientais, manejo entre outros. Além de estabelecer critérios e normas para a criação e gestão de Unidades de Conservação, regulamentou o artigo 225, §1º, incisos I, II, III e VII da CF de 1988. Nos seus 60 artigos, a Lei discorre sobre o SNUC, que é formado por um conjunto de Unidades de Conservação federais, estaduais e municipais.

Conforme os Art. 7º, 8º e 14 da Lei 9.985, as Unidades de Conservação (UCs) são agrupadas em duas classes: a de uso sustentável e a de proteção integral. A primeira é composta por Área de Proteção Ambiental; Área de Relevante Interesse Ecológico; Floresta Nacional; Reserva Extrativista; Reserva de Fauna; Reserva de Desenvolvimento Sustentável; e Reserva Particular do Patrimônio Natural; já a segunda é formada por Estação Ecológica; Reserva Biológica; Parque Nacional; Monumento Natural e Refúgio de Vida Silvestre.

Assim, nota-se a necessidade de criar o SNUC que organizasse e especificasse os tipos de UCs no território nacional, evitando formações de unidades aleatórias ou a desorganização do sistema. Averigua-se que esta Lei trata especificamente de um tipo de ETEP, enquanto os demais não tiveram espaço neste dispositivo jurídico. Ressalta-se que esta Lei passou por uma regulamentação mediante o Decreto nº 4.340, de 22 de agosto de 2002, que versa sobre características demandadas no ato de criação das unidades de conservação. Em suma, a Lei 9.985 impulsionou a legislação ambiental brasileira por originar, aprimorar e impulsionar o SNUC e a criação de UCs no Brasil.

Em 17 de julho de 2000, foi promulgada a Lei nº 9.984, que instituiu a Agência Nacional de Água (ANA), responsável pela implementação da PNRH e da coordenação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Essa Lei estabelece as regras para a sua atuação, estrutura administrativas e fontes de recursos. Com isso, a gestão hídrica do Brasil ganhou uma nova entidade federal para maximizar a gestão racional dos usos das águas de domínio da União, evitando seu desperdício e fomentando a eficiência de sua utilização.

No âmbito das APP, em 20 de março de 2002, foi editada a Resolução do CONAMA nº 303 que estabeleceu os parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente. Destaca-se como uma normatização importante por definir as APP (dunas, topos de morros, restingas, planícies fluviais, manguezais, olhos de águas e margens de lagos) e por estabelecer suas características e limites espaciais, favorecendo o ordenamento espacial e a gestão conservacionista do território (CONAMA, 2002), embora suas especificações sejam arbitrárias e pouco eficientes para proteger os ecossistemas ou compatibilizá-los a um manejo sustentável e integrado.

Em 16 de abril de 2003, foi aprovada a Lei nº 10.650 que viabiliza o acesso público aos dados e informações presentes nas entidades constituintes do SISNAMA. Essa tem a relevância de democratizar o acesso às informações ambientais, como qualidade ambiental, diversidade biológica, acidentes ambientais, resultados de monitoramentos e controle, mediante requerimento escrito, de todos os órgãos componentes do sistema.

A atuação do CONAMA foi intensificada e, em 17 de março de 2005, tem-se a resolução nº 357 que trata da classificação dos corpos hídricos e as diretrizes ambientais para o seu enquadramento, estabelecendo as condições e padrões de lançamentos de efluentes (CONAMA, 2005). Essa resolução expõe o entendimento de vários conceitos sobre água salobra, salinas e doce, desinfecção, ensaios toxicológicos e outros. Entretanto seu foco consiste na classificação das águas e na sua destinação, bem como no estabelecimento de parâmetros máximos de qualidade a serem considerados em cada tipo de uso.

Diante dos debates sobre biossegurança em razão da utilização de transgênicos e modificação genética de organismos, foi criada a Lei nº 11.105 em 24 de março de 2005 a qual regula os incisos II, IV e V do §1º do art. 225 da CF, constitui diretrizes de segurança e a fiscalização das atividades vinculadas aos organismos geneticamente modificados (OGM), como também seus derivados. Criou o Conselho Nacional de Biossegurança (CNBS), reestruturou a Comissão Técnica Nacional de Biossegurança (CTNBio) e tratou da Política

Nacional de Biossegurança (PNB). Esse mecanismo jurídico emergiu como modo de controlar a garantir a segurança dos ecossistemas e das pessoas em virtude dos possíveis danos.

No âmbito da legislação voltada para os recursos florestais, em 2 de março de 2006, foi promulgada a Lei nº 11.284 que aborda a gestão de florestas públicas para a produção sustentável, origina o Serviço Florestal Brasileiro-SFB, o Fundo Nacional de Desenvolvimento Florestal-FNDF e modifica algumas legislações pretéritas. Essa lei estabeleceu que o poder público poderá exercer a gestão direta de florestas nacionais, estaduais e municipais, como ocorrerá as concessões quando houver comunidades tradicionais no espaço posto e requisitos para o licenciamento ambiental da unidade.

Diante da ocupação das APP e da demanda por algumas de suas paisagens para atividades socioeconômicas estratégicas para o Estado, em 28 de março de 2006, o CONAMA criou a Resolução nº 369 que indicava quais casos excepcionais, de utilidade pública, interesse social e baixo impacto ambiental que justificam a intervenção e o desmatamento de vegetações das APP, conforme consta no art. 1º dessa resolução.

São esclarecidos os casos em que as APP podem ser parcialmente utilizadas, especialmente para atividades de utilidade pública no setor energético, de saneamento, captação hídrica e construção de rede viárias de baixo impacto ambiental. Ademais há que se comprovar a inexistência de outra solução técnica ou locacional e mediante a autorização do órgão ambiental competente após apresentação do Estudo de Impacto Ambiental – EIA e Relatório de Impacto Ambiental RIMA, conforme está presente nos artigos 3º e no 7º de CONAMA (2006).

Em 2007, foi criado o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade – Instituto Chico Mendes (ICMBio), por meio da Lei nº 11.516, de 28 de agosto de 2007 que também alterou uma série de leis anteriores. O ICMBio tem a função de efetivar as ações do SNUC, como proteger, gerir e fiscalizar as unidades de conservação da União, assim como executar pesquisas sobre biodiversidade, tem o papel de polícia ambiental entre outros. A constituição deste instituto foi positiva no ato de salvaguardar as unidades protegidas com um órgão específico para sua gestão e proteção.

A longa evolução da legislação em prol do aprimoramento do manejo sustentável e da exploração eficiente dos recursos tratados, contribuiu para a promulgação da Lei nº 11.959, de 29 de junho 2009, que estabeleceu a Política Nacional de Desenvolvimento Sustentável da Aquicultura e da Pesca. A Lei tem como objetivo garantir o desenvolvimento sustentável da

pesca e aquicultura, de modo assegurar a renda, emprego, lazer, alimentação, a otimização econômica dessas atividades sócio-produtivas, a preservação e a conservação ambiental. Porém, vale frisar que já havia regulações focadas para a pesca desde 2 de janeiro 1934, como o Decreto nº 23.672, tido como o Código da Pesca.

Outro avanço importante ocorreu em 2 de agosto de 2010, com a Lei nº 12.305 que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), regulamentada pelo Decreto nº 7.404/10. Dentre as inovações destas normas, há o fomento à prevenção, redução e reciclagem de resíduos sólidos, integra o poder público, o setor privado e a sociedade civil e estabelece a responsabilidade compartilhada entre os geradores de resíduos. Além de determinar metas para o fechamento de lixões e descartes em lugares inadequados, fortalece a criação de planos de planejamentos e de gestão dos resíduos sólidos nos diferentes âmbitos da federação.

Em 8 de dezembro de 2011, houve outro avanço importante na questão ambiental devido à Lei complementar nº 140 que fixou novas normas para a cooperação entre os entes da federação no desenvolvimento de ações voltadas à proteção de paisagens naturais notáveis, ao combate à poluição e à perda da biodiversidade. Uma das grandes vantagens desta Lei foi o fato de abrir a possibilidade para uma gestão descentralizada dessas paisagens, impulsionar a transparência dos dados e informações, assim como foram indicados instrumentos de gestão: consórcios públicos e cooperação técnica, por exemplo.

Desde a aprovação do segundo Código Florestal, em 1965, já havia muitos questionamentos que se agravaram com a Medida Provisória nº 2.166-67 de 24 de agosto 2001 e com a divulgação dos resultados parciais de Miranda (2008) que demonstrou que 35% do território nacional está destinado às unidades de conservação, terras indígenas e quilombolas e para assentamentos da reforma agrária. Com isso, os grupos agropecuários e seus partidos políticos passaram a questionar fortemente o Código Florestal vigente, bem como algumas resoluções do CONAMA que “limitavam” a expansão das atividades sobre o território nacional e “puniam” esses setores produtivos.

Isto posto, passaram a discutir novas mudanças no Código Florestal que foram finalizadas e aprovadas por meio da Lei nº 12.651, em 25 de maio de 2012 que passou a ser o novo Código Florestal a ser seguido no Brasil. Trata-se de uma lei que suscita polêmicas e dispõe de aspectos importantes para o meio ambiente. Embora tenha sido aprovada, foi examinada e discutida judicialmente pelo Supremo Tribunal Federal (STF) que concluiu as análises da constitucionalidade ou não de alguns de seus dispositivos em 28 de fevereiro de 2018.

O Novo Código Florestal trata da proteção da vegetação nativa, conservação e preservações dos ETEP, indica parâmetros e conceitos sobre os objetos que regula. Dentre as novas mudanças presentes na Lei nº 12.651 estão: exclusão das APPs em torno das nascentes e olhos d'água intermitentes; criação do Cadastro Ambiental Rural (CAR), da Área Rural Consolidada (ARC) e do Programa de Regularização Ambiental (PRA); e desobrigação de recompor parte das APPs indevidamente ocupadas antes de 22 de julho de 2008. Apesar das inovações, esta Lei foi vista como inadequada por alguns ambientalistas, pois ampara infratores ambientais e reduz as áreas protegidas, abrindo lacunas para sua utilização.

Outro dispositivo importante foi a Lei nº 13.153, em 30 de julho de 2015, responsável pela origem da Política Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca e da Comissão Nacional de Combate à Desertificação (CNCD). Essa lei visa fomentar pesquisas científicas sobre a temática, estimular ações de identificação, delimitação e combate à desertificação no território nacional, criar um sistema de informações de alerta precoce sobre eventos de seca, perda de biodiversidade e degradação da terra (AZEVEDO; OLIVEIRA, 2014). Portanto, esta Lei surgiu como uma resposta do governo federal frente ao avanço da degradação nas regiões semiáridas e subúmidas secas que vem causando perdas socioeconômicas.

Em 11 de novembro de 2015, foi aprovada a Lei nº 13.186 que institui a Política de Educação para o Consumo Sustentável que ficou a cargo do Poder Público. Com o objetivo de impulsionar a produção e o consumo de bens e serviços ecologicamente sustentáveis, promoções de ações em prol da reciclagem e da redução da geração de resíduos sólidos, fomento às novas técnicas que aumentem a eficiência do uso da água, energia e dos demais recursos naturais. Assim, esta nova lei é um instrumento importante para demonstrar novos valores sociais deverão ser incorporados pelo setor produtivo e pelos consumidores brasileiros.

2.4 Considerações finais

Desde o período colonial brasileiro já existiam normas voltadas para o controle dos recursos naturais com o intuito de assegurar a segurança alimentar, o uso da terra, coibir roubos e conflitos por animais e fomentar a continuidade das atividades econômicas desenvolvidas. Estas surgiram como respostas antropocêntricas aos problemas relacionados à escassez de alimentos, poluição das águas, conflitos rurais devido ao corte de frutíferas, à apropriação indevida de animais ou não uso das terras.

A execução de zoneamentos era uma ação apregoada nas primeiras Ordenações portuguesas, no qual é tido como uma técnica para aprimorar o sistema de gestão do território e de seus recursos, evitando o colapso produtivo.

A proteção das matas ribeirinhas, no período colonial, deu-se inicialmente pelos seus potenciais madeireiros, minerais, hídricos e hidroviárias que eram estratégicos para a coroa portuguesa. Isso auxiliou no combate da exaustão dos recursos do território, embora sua eficiência seja alvo de controversas.

O surgimento do termo “madeira de lei” ocorre quando o corte de algumas espécies lenhosas importantes para os setores náuticos, bélicos e construção civil é proibido em face da sua exaustão e da ameaça de declínio das atividades que a empregavam.

As normas criadas durante o Brasil imperial representam ações da monarquia para conter a degradação ambiental desenfreada que vinha comprometendo os estoques de recursos naturais, especialmente o madeireiro e hídrico, como o caso ilustrado no Rio de Janeiro, durante o século XIX. O principal exemplo disso, é a recomposição da Floresta da Tijuca e do Jardim Botânico e Paineiras no Rio de Janeiro, isto representou um importante avanço no que tange à recuperação ambiental e à conservação dos recursos naturais quando essas temáticas ainda não tinham importância social.

A legislação ambiental teve grandes avanços a partir do período republicano brasileiro pelo desenvolvimento da consciência ambiental em alguns grupos socioeconômicos, pela necessidade de planejar e gerir os recursos do território nacional visando garantir o crescimento econômico e, por fim o desenvolvimento da nação.

O surgimento das APP, reserva legal e demais componentes dos ETEP indicam avanços significativos do Estado em prol da conservação ambiental de parte do território, para mitigar danos dos desastres naturais no sistema social e para assegurar os territórios de grupos minoritários que dependem dos recursos paisagísticos para sobreviverem.

Após a segunda metade do século XX, as normas ambientais são ampliadas para protegerem diversos setores do ambiente que são explorados por diversas atividades produtivas. Nesse período, houve uma grande produção científica que forneceu dados e informações sobre as paisagens, seus elementos, estruturas e inter-relações dinâmicas, logo auxiliando na ampliação da compreensão do funcionamento dos sistemas naturais do território nacional, bem como impulsionando a construção de uma consciência ambiental no povo.

A Constituição Federal de 1988 foi um dos dispositivos jurídicos relevantes por estabelecer o direito difuso e fundamental ao meio ambiente para todo o povo brasileiro, trazendo determinações voltadas para o desenvolvimento sustentável do país e dotando a natureza como um sujeito de direito.

Notou-se que as normas constantemente surgem em respostas aos problemas ambientais gerados e em expansão em cada época, mas não como ferramentas preventivas, embora também auxiliem nisso após sua vigência. Os objetivos de cada norma mostram-se eficazes para protegerem parcialmente aquilo que compreendem em razão dos conflitos de interesses entre os agentes produtivos e a capacidade de carga das paisagens.

A partir das apresentações, infere-se que as normas tinham cunho antropocêntrico, visto que surgiram para assegurar a manutenção da dinâmica sócio-produtivas de cada época ou para mitigar problemas que ameaçavam a sociedade. Isso pode ser visto quando as normas desfavoreceram o meio ambiente porque são impregnadas de interesses contraditórios e de valores antropocêntricos.

Quanto a isso, os valores antropocêntricos possuem um peso maior nas decisões e gerações das normas, as quais são fundamentadas implicitamente pela perspectiva de que o ambiente possui recursos ilimitados e não como um organismo no qual o ser humano é parte integrante e deve respeitar a coexistência entre os seres.

3 ANÁLISE DA MULTIDIMENSIONALIDADE DOS CONCEITOS DE BACIA HIDROGRÁFICA

3.1 Introdução

Em meio à crise ambiental que a sociedade contemporânea tem sofrido, a busca pela compreensão das características e do funcionamento dos sistemas ambientais destaca-se, para o aperfeiçoamento do manejo das atividades sociais e para mitigar os impactos ambientais negativos decorrentes de tais atividades sobre o espaço. Entretanto, dada a complexidade dos ambientes, a realização de estudos holísticos não é simples, tendo em vista que nem todos os elementos socioambientais e suas inter-relações são plenamente conhecidos.

Anteriormente, os recursos naturais eram estudados sem conexão com o seu meio. Tal abordagem reducionista foi eficiente na análise vertical dos seus objetos, mas negligenciava as variáveis horizontais relacionadas a estes, isto é, compreendia-se muito sobre um determinado recurso natural, mas não havia a preocupação em entender as inter-relações deste com os demais, tampouco as propriedades emergentes oriundas dessas interações.

Visando à superação do quadro anterior, a bacia hidrográfica (BH) tem sido uma célula ou categoria de análise empregada nas análises socioambientais por ser um sistema ambiental e uma unidade de planejamento cujos elementos, estruturas e processos podem ser modelados e estudados integradamente (CHRISTOFOLETTI, 1999; FAO, 2018; GASPARI *et al.*, 2013). Nesse contexto, acredita-se que a BH tem assumido diversas denotações que têm ampliado sua designação e permitido sua utilização para além dos seus aspectos hidrológicos.

Assim, embora a categoria posta seja vastamente utilizada, sua qualificação ainda é passível de reflexões conceituais e aprimoramentos para maximizar seu significado e sua precisão, sobretudo no que tange aos conceitos de sub-bacia e microbacia hidrográficas, que são empregados indiscriminadamente. Estes são expressivamente usados nos trabalhos acadêmicos e técnicos, contudo apresentam imprecisões qualitativas (conceitos monodimensionais e uso de atributos semelhantes em outras categorias, por exemplo) e quantitativas (ausência de um consenso sobre o tamanho de suas áreas, uso de ordens de drenagens presentes nas duas categorias de BH e etc.) que causam uma insegurança conceitual, dificultando o entendimento universal do objeto descrito.

Diante da relevância da célula exposta e de sua conceituação, este trabalho parte da hipótese de que o conceito de BH foi aperfeiçoado e adaptado ao longo do tempo e suas subcategorias hierárquicas (sub-bacia e microbacias) não têm características qualitativas e

quantitativas fixas presentemente. Deste modo, objetivou-se realizar uma análise da literatura sobre a temática, buscando variações das conceituações postas, a fim de substanciar a proposição de definições coerentes com a realidade multidimensional abrangida por uma BH.

Em consonância com isso, a construção deste trabalho pautou-se na realização de um levantamento bibliográfico que contemplou também a consulta aos relatórios técnicos e artigos científicos presentes na rede mundial de computadores (internet) e na análise integrada das informações obtidas, que são demonstradas nas seções posteriormente. Com isso, são apresentados os conceitos de BH e suas categorias hierárquicas presentes nos trabalhos tecnocientíficos consultados. Em seguida, são discutidas as denominações encontradas e propostas novas conceituações relativas geradas a partir das características comuns presentes nos conceitos examinados.

3.2 Bacia hidrográfica: conceitos de uma célula de análise

Muitos são os trabalhos científicos internacionais (STRAHLER, 1957, 1979; PUMO *et al.*, 2014; NAQVI *et al.*, 2015; THORNBRUGH *et al.*, 2018), nacionais (CHRISTOFOLETTI, 1979, 1980, 1981; SOUZA; PEREZ FILHO, 2016; ANA, 2018), nordestinos (CUNHA *et al.*, 2012; MAIA; BEZERRA, 2011; MARTINS, 2013) e cearenses (ARAÚJO, 2003; MAIA, 2006; SOUZA; SANTOS; OLIVEIRA, 2012; QUEIROZ *et al.*, 2018). Eles têm utilizado a BH como célula de análise e/ou como sistema que comporta determinado(s) subsistema(s) alvo(s) de estudo.

Todos esses trabalhos têm contribuído distintamente para a compreensão dos atributos de uma BH, tais como o entendimento da morfometria de seus cursos fluviais via sensoriamento remoto ou não, a análise dos relevos presentes em uma BH, a avaliação dos hidrossedimentos, a apreensão da qualidade e a quantidade hídrica, a aplicação da análise ambiental sistêmica, a realização do diagnóstico ambiental e dos hidroterritórios. Diante disso, compreende-se que a BH é uma célula de análise utilizada desde a dimensão internacional à estadual para examinar diversos objetos amostrais.

Com base na revisão da literatura, observou-se que a BH está consolidada como uma célula de análise espacial para os estudos que versam desde os aspectos físico-naturais aos culturais das paisagens terrestres. Em virtude da sua multidimensionalidade e complexidade, verifica-se, no quadro 1, que a BH possui diversos significados e características que estão atreladas às abordagens e aos contextos pesquisados.

Deste modo, os conceitos presentes no quadro 1 podem ser agrupados em perspectivas específicas, como a hidrológica, a geomorfológica, a de gestão e o planejamento espacial, que, por sua vez, aglutinam outras correntes de pensamento.

Autor(es)	Conceitos e características de uma BH
Horton (1945)	Entende a BH como um sistema composto por um conjunto de canais que drenam uma determinada superfície terrestre com limites naturalmente definidos. Entende que os canais fluviais podem ser hierarquizados e quantificados para fins de compreensão do ciclo hidrológico, da erosão e da dinâmica natural da bacia.
Chorley (1962)	BH é um sistema aberto de captação de água, composto por setores mais elevados, divisores topográficos, donde partem os cursos de água para um rio principal rumo a uma saída comum. Deste modo, é um sistema aberto devido aos seus elementos estarem inter-relacionados por meio de diversos processos interacionais (hídricos, morfogenéticos, pedogenéticos e outros) que são desencadeados em função da matéria e energia que entram no sistema e em seus subsistemas e sai deles.
Strahler (1979)	Entende a BH como um sistema de drenagem composto por um conjunto de pequenas bacias ajustadas em formas e tamanhos em relação ao rio para o qual confluem. Além disso, entende a BH como um sistema hídrico aberto e dinâmico.
Christofolletti (1980)	Compreende a bacia de drenagem como uma área drenada por um rio ou por um sistema fluvial. Contudo, também inclui a BH como um sistema dinâmico aberto, passível de ser hierarquizado, delimitado naturalmente pelos divisores de água e produto de inúmeras inter-relações processuais de energia, matéria e informações.
Sanjaume e Villanueva (1996)	A BH ou <i>cuenca hidrográfica</i> é um sistema que contém um conjunto de águas que drenam uma área para um mesmo ponto, compondo uma unidade hidrológica e geográfica definida. Em qualquer setor de um curso fluvial, é possível traçar uma BH que constitui a sua alimentação até chegar à área máxima de convergência das águas, porém acrescentam que, mesmo que a BH tenha limites definidos pelos seus divisores de água, isso não impede que parte dos aportes hídricos saia do sistema por falhas e fraturamentos geológicos subterrâneos para as BH vizinhas sem passarem pelo exutório.
Brasil (1997)	Dispõe no artigo 1º, inciso 5, que a BH é a unidade territorial para a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e a atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

Suguio (1998)	Entende a BH como sinônimo de bacia de drenagem, é uma parte da superfície terrestre que é ocupada por um sistema de drenagem ou que colabora com água superficial para o sistema citado.
Vélez, Núñez e Trujano (2003)	A BH é um território, região ou zona cuja característica é que a água pluvial cai nessa superfície e escorre para um rio comum, isto é, toda a água acumulada desemboca em um afluente maior, em um lago ou mar. Além disso, a BH tem uma área superior a 50.000 ha.
Botelho e Silva (2004)	A BH é reconhecida como uma célula básica de análise ambiental, pois permite avaliar diversos componentes, processos e interações que nela ocorrem. Ademais, é entendida como um sistema e uma unidade de planejamento.
Santos (2004)	É a circunscrição de um território drenado por um rio principal, seus afluentes e subafluentes permanentes e intermitentes. Assim, tal conceito está associado à noção de sistema, de nascentes, de divisores de águas, de cursos hierarquizados e foz.
Cunha (2007)	Conceitua a BH como um espaço drenado por um conjunto de canais fluviais interligados, que drenam água para um ponto comum.
Torres e Vianna (2008)	Propõem o conceito de hidrotérios que é entendido como uma porção do espaço dotado de recursos hídricos politicamente administrados pela gestão pública por meio de normatizações, gestão, controle, planejamento, cobranças de impostos e pelas relações de pertencimento e identidade que dadas populações têm com aquela área. Assim, este conceito abrange não só as relações de poder, mas também as relações simbólicas e culturais daqueles que habitam o hidrotério. Este pode ser uma BH ou uma parcela menor desta, a qual não necessariamente é uma bacia.
Guerra e Guerra (2008)	Entendem que área de drenagem, bacia de drenagem, bacia fluvial e BH são sinônimos. Definem uma bacia hidrográfica como um conjunto de terras drenadas por um rio principal e seus afluentes que são depressões longitudinais que concentram as águas do escoamento superficial. Destacam que uma bacia de drenagem é passível de hierarquização dos cursos fluviais e é dotada de dinamismo, dadas as transformações por que a BH passa devido à erosão e a outros processos morfogenéticos.
Novo (2008)	Conceitua BH como uma área da superfície terrestre drenada por um rio principal e seus tributários, por isso corresponde a uma área de captação natural da precipitação, fazendo-a convergir para um único ponto de saída. A autora também frisa que a bacia é delimitada por divisores de água, os quais são delimitados via uma carta topográfica ou imagem tridimensional do terreno.
Tundisi (2008)	Área da superfície terrestre drenada por rios e riachos, a BH tem todos os elementos para a integração de processos biogeofísicos, econômicos e sociais. Além disso, é uma unidade natural que permite a integração institucional e a articulação da pesquisa com

	o gerenciamento, bem como possibilita a implantação de um banco de dados que funcionará como uma plataforma para o desenvolvimento de projetos com alternativas, levando-se em conta os custos destas.
Coelho Netto (2009, p.97-98)	“A bacia de drenagem é uma área da superfície terrestre que drena água, sedimentos e materiais dissolvidos para uma saída comum, num determinado ponto de um canal fluvial. [...] A bacia de drenagem pode desenvolver-se em diferentes tamanhos, que variam desde a bacia do rio Amazonas até bacias com metros quadrados que drenam para a cabeça de um pequeno canal erosivo ou, simplesmente, para o eixo de um fundo de vale não canalizado”.
Melo (2009)	A BH ou de drenagem é uma área da superfície terrestre que drena água, sedimentos e materiais dissolvidos para o exutório. Tal autor frisa que os limites da BH são os divisores de água ou topográficos.
Karmann (2009)	A BH é conceituada como uma área de captação de água da precipitação, delimitada por divisores topográficos, onde toda água converge para uma saída comum, exutório. Com base nisso, esta é um sistema físico, passível de quantificação do ciclo hidrológico.
Wani e Garg (2009)	A BH não é simplesmente uma unidade hidrológica, ela também é uma entidade social, política e ecológica crucial para a determinação de alimentos, do quadro social, da segurança econômica que oferece serviços de suporte para as pessoas do campo.
Gálvez (2011)	Sistema integrado por várias sub-bacias e microbacias.
Gaspari <i>et al.</i> (2013)	Partindo de um conceito integrador, compreendem a BH como um sistema de relações sociais e econômicas cuja base territorial e ambiental é uma rede de drenagem superficial, compostas por rios que confluem para um rio principal, e este, para o mar.

Quadro 1 - Principais conceituações de bacia hidrográfica (BH)

A abordagem hidrológica pode ser vislumbrada principalmente nos trabalhos de Horton (1945), Strahler (1979), Suguio (1998), Novo (2008) e Coelho Netto (2009). Afinal, os conceitos adotados por esses autores limitam a BH a uma área delimitada por interflúvios onde há a drenagem e a convergência hídrica para uma saída comum, chamada de exutório. Essa foi a primeira conceituação atribuída à BH, pois sua complexidade não era plenamente conhecida, assim foi reduzida a um espaço cuja água e seu ciclo eram as variáveis mais importantes.

Essa conceituação ainda é vastamente empregada nos trabalhos acadêmicos e técnicos, embora tenha sido questionada devido a sua conotação naturalista e por restringir a BH ao âmbito hidrológico, isto é, por não dar ênfase aos seus outros elementos e aos seus processos

interativos. Tal situação pode estar relacionada ao fato de o conceito posto ter sido criado operacionalmente para o desenvolvimento e gerenciamento dos recursos hídricos e, apesar de suas limitações, ter sido adotado pelos planejadores e engenheiros em sua unidade para dominar a natureza e “otimizar” múltiplas tarefas atribuídas à água e aos benefícios advindos desta (MOLLE, 2009). Portanto, o foco eram os aspectos hídricos, e os demais elementos raramente eram considerados.

Geomorfologicamente, a BH passou a ser compreendida como um sistema aberto e dinâmico, geossistema ou unidade de paisagem. Com isso, há um incremento na abordagem hidrológica, e os estudos passaram a analisar as relações entre os elementos deste sistema (rochas ou sedimentos, clima, geomorfologia, hidrologia, vegetação, solo e outros), contudo as variáveis sociais não eram, significativamente, enfatizadas. Exemplos de conceitos dessa corrente de pensamentos são apresentados por Chorley (1962), Christofolletti (1980), Sanjaume e Villanueva (1996), Cunha (2007), Guerra e Guerra (2008), Karmann (2009) e outros listados no quadro 1.

No âmbito da gestão e do planejamento, Molle (2009) informa que a conceituação de BH tem passado por vários estágios e está em um estado de fluxo. Acrescenta também que, mesmo após sua “descoberta” ocidental no século XVIII, como conceito primordial para a política hídrica europeia, a definição de bacia foi alterada em contextos com evoluções e diferentes intenções (MOLLER, 2009).

Desta maneira, a definição de BH incorpora as variáveis sociais, políticas, econômicas e culturais, como podem ser vistas em Brasil (1997), Botelho e Silva (2004), Santos (2004), Torres e Vianna (2008), Tundisi (2008), Wani e Garg (2009) e Gaspari *et al.* (2013). Esse fato ocorreu porque o paradigma analítico tem sido alterado pelo holístico, e isso tem mudado a visão de mundo dos pesquisadores que prezam pela integração. Isso está presente na perspectiva de Gaspari *et al.* (2013), que dizem que a natureza é uma unidade indivisível, onde os elementos naturais (solo, água, vegetação, fauna, clima e o homem) encontram-se intimamente relacionados e afetam, direta ou indiretamente, a natureza.

Portanto, gradualmente, a BH, que era qualificada basicamente por seus atributos físico-naturais, vai se tornando uma célula de análise mais complexa, porque seu conceito agrega novos valores, expandindo seus limites e suas aplicações além das ciências naturais, portanto sendo empregada também pelas ciências humanísticas.

Sabe-se a definição analisada teve sua aplicação formal como unidade de planejamento, inicialmente, nos Estados Unidos, com a criação do *Tennessee Valley Authority* (TVA) em 1933; posteriormente foi adotada pelo Reino Unido, França, Nigéria e por outros países, como o Brasil em 1980 (BOTELHO, 2009). Deste modo, esta abordagem é a mais empregada nos trabalhos desenvolvidos atualmente, em face da necessidade do planejamento e da gestão para a mitigação da degradação ambiental e para o fomento do ordenamento territorial.

Presentemente, tem-se buscado aprimorar o conceito de BH por meio da proposição de novos qualitativos fisiográficos e sociais, visto que os aspectos quantitativos de uma BH variam significativamente conforme os âmbitos examinados, por isso, nos conceitos apresentados no quadro 1, não se observa a preocupação em dimensionar numericamente a BH.

Além disso, detectou-se que há uma tendência de o conceito em apreço incorporar mais variáveis sociais, pois há estudos, como o de Ioris (2006), que versam sobre o ciclo hidrossocial que estabelece uma relação indissociável entre a sociedade e os recursos hídricos. Esse incremento mitiga a possibilidade de gerar cenários errôneos, maximiza a fidelidade dos resultados obtidos com a realidade objetiva e impulsiona as perspectivas interdisciplinares e multidisciplinares nos estudos socioambientais.

Apesar da larga utilização do conceito de BH, verificou-se que, na maioria dos trabalhos que constam na literatura científica, inexistem a preocupação em indicar o conceito de BH que se adota. Este frequentemente está implícito e é identificado a partir da perspectiva de análise e das caracterizações que os autores desenvolvem. Já os trabalhos técnicos, habitualmente, demonstram os aspectos qualitativos e/ou quantitativos dos conceitos que empregam. Tal fato pode estar relacionado à naturalização sofrida pela BH no âmbito acadêmico, por isso tem sua qualificação omitida.

Com base nas definições expostas, intui-se que tais definições, apesar de distintas e com enfoques diferentes, não se anulam ou são contraditórias, mas se sobrepõem e complementam-se mutuamente. O uso de uma variação conceitual de BH deve estar vinculado à perspectiva da pesquisa a ser desenvolvida, afinal a multidimensionalidade de uma BH ainda dificulta a sua apreensão enquanto totalidade, embora haja tentativas para superar esse problema.

É evidente que todas as definições apresentadas estão imersas em contextos históricos e paradigmáticos algumas vezes distintos. Contudo, não foi possível vislumbrar nenhum

elemento que contraponha a mesclagem das concepções para gerar uma mais complexa, nem mesmo aquela que parte do princípio de que a BH é um território, como apresentam Torres e Vianna (2008), Wani e Garg (2009) e Gaspari *et al.* (2013). Nessa linha de pensamento, todas as qualificações podem ser combinadas e aplicadas sob o enfoque sistêmico, o qual integra todas as dimensões conhecidas (naturais e sociais) dos seus objetos de estudo.

A partir das definições do quadro 1, sugere-se que a BH seja entendida como um sistema aberto, multidimensional e dinâmico, passível de delimitação espacial a partir de critérios sociais, geológicos e geomorfológicos integradamente. Dada a sua multidimensionalidade, pode ser concebida também como um hidroterritório ou território, uma paisagem, um sistema ambiental, um geossistema ou como uma bacia de drenagem conforme a natureza do estudo a ser desenvolvido.

Portanto, a BH, quando envolve intervenções sociais, é uma célula de análise que representa um *locus* transformado pelas forças de trabalho humano, que é dotada de representações culturais que criam a identidade e o sentimento de pertencimento nos seus habitantes. Estes exercem relações de poder, gestão nesse sistema passível de transformações ambientais e subdivisões hierárquicas para fins de sua compreensão holística e eficiência do seu uso e ocupação.

Cabe frisar que os limites de uma BH frequentemente são os seus divisores de águas, onde surgem as nascentes dos riachos que confluem para um rio principal, o qual drena água, sedimentos clásticos e iônicos, energia e informação para um ponto de saída comum, o exutório, ligado a outro sistema ambiental mais complexo.

3.3 Sub-bacia hidrográfica: aspectos qualitativos e quantitativos

A sub-bacia hidrográfica tem sido outra terminologia atribuída às BHs com o intuito de indicar uma hierarquização de seu sistema de drenagem conforme seu nível de complexidade, quantidade de áreas drenadas, ordens dos rios e relações direta que exerce com o rio principal da rede hidrográfica que a engloba. Morfologicamente, é formado pelo prefixo sub- justaposto ao substantivo bacia, modificado pelo adjetivo hidrográfica. Semanticamente, o primeiro designa algo que está abaixo, é inferior ou menor hierarquicamente, enquanto o segundo designa um sistema espacial multidimensional cujas dimensões hidrogeomorfológicas costumam ser seus atributos mais destacados. Portanto, a sub-bacia hidrográfica é entendida como uma BH menos complexa e tributária de outra rede de drenagem que é a principal.

Apesar de os termos sub-bacia e microbacia hidrográfica estarem incorporados na literatura técnico-científica, eles não possuem a mesma convergência conceitual apresentada para BH (TEODORO *et al.*, 2007), porque, além das questões demonstradas, há divergências expressivas quanto às suas áreas ideais, às ordens fluviais que seus rios devem ter, à hipótese de as BHs precisarem confluir diretamente ou não para o rio principal, à possibilidade de elas poderem ou não ser uma célula de análise viável para estudos hidrossedimentológicos, assim como uma unidade de planejamento ou hidroterritório. Desta maneira, estudar os conceitos postos é fundamental para desnaturalizar e romper as alienações presentes no meio técnico-científico.

Assim, o quadro 2 contém os principais conceitos empregados para designar o que é uma sub-bacia hidrográfica. Ao analisar tal quadro, verifica-se que os autores não se preocupam mais em discorrer sobre as características geomorfológicas da BH ou acerca de suas funções ambientais (físico-naturais e sociais), pois entendem que a sub-bacia é uma BH, porém menor, menos complexa e desprovida de propriedades emergentes que um sistema maior detém. Logo, eles focam as distinções qualitativa e quantitativa desta em relação à totalidade do sistema de drenagem.

Ao observarem-se as definições presentes no quadro 2, nota-se que dois critérios básicos são utilizados para diferenciar a sub-bacia de uma microbacia ou de uma BH.

O primeiro é o critério quantitativo, isto é, os pesquisadores atribuem dimensões espaciais arbitrárias para tal fim. Contudo, percebe-se que tais arbitrações são propostas a partir de exemplos empíricos pontuais, por isso não compreendem todas as sub-bacias que podem fugir aos parâmetros numéricos exigidos e reduzem a sub-bacia ao seu tamanho espacial.

O problema de usar a quantificação para definir uma sub-bacia reside no fato de não haver sequer o consenso sobre o tamanho da supracitada entre os autores, como pode ser visto nos conceitos de Faustino (1996), Rocha (1997) e Vélez, Núñez e Trujano (2003), por exemplo. Tal problema também é observado por outros autores, como Teodoro *et al.* (2007, p. 138), o qual informa que “[...] as sub-bacias são áreas de drenagem dos tributários do curso d’água principal. Para definir sua área os autores utilizam-se de diferentes unidades de medida”.

Autor(es)	Conceitos e características de uma sub-bacia hidrográfica
Faustino (1996) <i>apud</i> Teodoro (2007)	São BHs com áreas superiores a 100 km ² e inferiores a 700 km ² .

Autor(es)	Conceitos e características de uma sub-bacia hidrográfica
Rocha (1997)	A sub-bacia hidrográfica é a área que drena a água das chuvas por meio de rios e ravinas para um rio principal que pode desaguar no mar, em um lago ou em outro rio. Assim, tal sistema tem áreas entre 20.000 há a 300.000 há, contudo estas variam conforme a sua localização geográfica no país.
Vélez, Núñez e Trujano (2003)	É uma BH com tamanho entre 5.000 há a 50.000 ha.
Gangbazo (2004)	Entende como uma BH que alimenta uma bacia maior.
Teodoro <i>et al.</i> (2007)	As sub-bacias são áreas de drenagem dos tributários do curso d'água principal.
Guatemala (2009)	Território drenado por um rio principal de uma BH formado por um grupo de microbacias.
Gálvez (2011)	A sub-bacia é um conjunto de microbacias cujas drenagens convergem para um canal com fluxo flutuante, mas permanente.
Machado e Torres (2012)	É a BH de um tributário de um rio principal.

Quadro 2 – Conceitos de sub-bacias hidrográficas presentes na literatura científica e técnica

Atualmente, a quantificação de uma sub-bacia não favorece a aplicação geral do conceito para todas as outras devido à diversidade de BH e a suas características intrínsecas. Soma-se a isso a dificuldade de entendimento e de comunicação global que o termo designa; desta maneira, cria uma insegurança conceitual, o uso indiscriminado do aludido termo e a necessidade de defini-lo sempre que for empregado.

No âmbito do critério qualitativo, os conceitos em apreço mostram-se mais eficientes, pois permitem a maleabilidade nos critérios de definição de uma sub-bacia, possibilitando sua aplicação geral, não obstante os critérios adotados devem pautar-se em características gerais presentes em todas as sub-bacias e não podem criar ambivalências com outras classes hierárquicas.

Ao examinarem-se os conceitos de cunho qualitativo, como os de Gangbazo (2004), Teodoro *et al.* (2007), Guatemala (2009), Gálvez (2011), Machado e Torres (2012), constata-se que apresentam fragilidades vinculadas às delimitações conceituais, causando ambiguidades ou sobreposições com outros níveis hierárquicos de uma BH.

Assim, o conceito de Gangbazo (2004), que entende a sub-bacia como uma BH que alimenta uma bacia maior, é impreciso porque uma BH ou uma microbacia também apresentam essa característica, logo isso não se configura como um atributo que a distingue das demais, mas como um elo entre elas.

Já a perspectiva de Teodoro *et al.* (2007) também apresenta fragilidade e limitações, pois compreende as sub-bacias como áreas de drenagem dos tributários do curso d'água principal. Essa afirmação está parcialmente correta, porque elas, frequentemente, deságuam em um rio principal, mas esquecem que o curso principal de um rio também recebe esporadicamente contribuições de microbacias hidrográficas de primeira e segunda ordens de pequenas dimensões espaciais. Essa condição cria também uma ambivalência conceitual, isto é, uma sub-bacia poderá ser uma microbacia e vice-versa. Deste modo, pensa-se que a conceituação dessa categoria deve ir além do fato de contribuir com o rio principal.

A fragilidade presente na definição de Guatemala (2009) assemelha-se à dos demais, porque concebe a sub-bacia como um território drenado por um rio principal de uma BH composto por um grupo de microbacias. Nessa afirmação, o autor não considerou que, dependendo da dimensão da BH analisada e do escopo do estudo, uma sub-bacia pode receber aportes de outras análogas.

Exemplificando o caso anterior, destaca-se a rede de drenagem do rio Japurá, com área de drenagem de 255.700 km², e o seu rio principal tem cerca 2.816 km. Essa é uma sub-bacia do rio Solimões, que, por sua vez, é uma sub-bacia do rio Amazonas. Com isso, constata-se a natureza do problema citado, logo nem toda sub-bacia recebe contribuições somente de microbacias, tampouco a primeira pode ser entendida como uma pequena bacia, logo as críticas feitas valem principalmente para os conceitos apresentados por Gálvez (2011) e Machado e Torres (2012), por exemplo.

Com base nisso, percebe-se que os conceitos com escopo qualitativo também apresentam limitações consideráveis, contudo oferecem elementos relevantes para o aperfeiçoamento conceitual, realista e flexível. Ademais, nota-se que é imperativa a proposição de uma conceituação e sistematização elaboradas no âmbito da hierarquia das BHs para facilitar a comunicação e o entendimento universal da diferença entre BH, sub-bacia e microbacia.

Segundo Botelho (2009), este fenômeno pode estar vinculado à falta de uma conceituação da BH e consenso sobre tal termo e sua função; com isso, as definições de sub-bacia e microbacia hidrográficas não são bem definidas por estar subordinadas à de BH.

A partir dos conceitos apresentados pelo quadro 2, verifica-se não ser salutar dimensionar quantitativamente o tamanho de uma sub-bacia devido à variabilidade de sistemas de drenagens presentes na Terra. Contudo, propõe-se que a categoria exposta seja entendida como um fragmento multidimensional do sistema fluvial composto essencialmente por outras

sub-bacias e/ou microbacias hidrográficas, que apresentam padrões de drenagem endorreica e são tributárias de uma BH mais complexa.

3.4 Microbacia hidrográfica: características gerais que compõem o conceito

Entre os conceitos analisados, o mais controverso é o de microbacia hidrográfica, por conta da variabilidade de definições, atributos utilizados para sua delimitação e pela sua semântica. Contraditoriamente, é também um dos termos mais empregados nos trabalhos acadêmicos nacionais e internacionais recentes, notadamente aqueles que versam sobre unidade de planejamento rural ou urbana, avaliação hidrossedimentar, manejo de BH e célula de análise para zoneamento ambiental.

O termo microbacia é formado pelo prefixo micro-, denotando o que é muito pequeno ou espaço de um milionésimo (10^{-6}) no Sistema Internacional de Unidades, acrescido do substantivo bacia, que teve sua conceituação demonstrada nas seções anteriores.

Seu emprego ocorre porque vários autores entendem a microbacia como a menor área possível do ecossistema ou do sistema fluvial que favorece a compreensão de parte das características ecológicas e socioeconômicas de uma BH que é tributária (ATTANASIO, 2004; BERTONI e LOMBARDI NETO, 2008; LIMA, 2008). Portanto, é uma célula de análise propícia para a obtenção de dados e informações detalhadas dos elementos ambientais e socioeconômicos, viabilizando a proposição de planos de manejo e sua gestão territorial.

Entretanto, Botelho e Silva (2004) indicam que há uma certa resistência de uma parcela da comunidade científica em adotar a microbacia como célula de análise, pois há casos em que os pesquisadores optam pelo termo sub-bacia hidrográfica, mesmo que isso incorra em um erro semântico, porque, independentemente de suas dimensões, pressupõe não somente sua inclusão em outra bacia maior, como também seu vínculo com ela no estudo abordado, logo, perante as distinções apresentadas na seção anterior, não é salutar criar uma ambivalência terminológica entre os conceitos analisados.

Autor(es)	Conceitos e características de uma microbacia hidrográfica
Vélez, Núñez e	É uma BH cuja área é de 3.000 há a 5.000 há, porém, quando as condições orográficas permitem, podem ser menores.

Autor(es)	Conceitos e características de uma microbacia hidrográfica
Trujano (2003)	
Attanasio (2004)	A microbacia constitui a manifestação de um sistema ambiental aberto, podendo ser entendida como uma unidade ecossistêmica da paisagem, em termos da integração dos ciclos naturais de energia, de nutrientes e da água. Além disso, a sensibilidade às chuvas intensas (curta duração), as variações de uso do solo e as alterações qualitativo-quantitativas da água de deflúvios são detectadas com maior facilidade do que em BHs grandes.
Bahamonde e Gaetes (2002)	São aquelas formadas por redes de drenagem de primeira e segunda ordem, com uma área de drenagem que varia de 1 há a 100 ha.
Bertoni e Lombardi Neto (2008)	A microbacia hidrográfica é uma unidade básica das atividades sociais, sendo uma área fisiográfica drenada por um ou mais rios conectados e convergentes, direta ou indiretamente, para um leito ou espelho de água. É uma unidade ideal para o planejamento integrado, manejo dos recursos naturais e do ambiente por ela delimitado.
Lima (2008)	A "microbacia" é uma área tão pequena que a sensibilidade às chuvas de alta intensidade e as diferenças de uso do solo não são suprimidas pelas características da rede de drenagem. Além disso, a área de uma microbacia pode variar de pouco menos de 1 ha até 40 ha, podendo atingir, em algumas situações, 100 ha ou mais.
Guatemala (2009)	É o território cujas águas são drenadas para um curso principal de uma sub-bacia. Assim, a bacia se divide em sub-bacias que, por sua vez, são compartimentadas em microbacias hidrográficas.
Gálvez (2011)	Uma microbacia hidrográfica é toda área em que sua drenagem converge para um rio principal de uma sub-bacia, portanto esta é composta por diversas microbacias.
Machado e Torres (2012)	É a drenagem que conflui em um tributário do rio principal.
Holanda <i>et al.</i> (2015)	As microbacias hidrográficas são unidades naturais propícias para o gerenciamento dos recursos naturais, implementação de políticas públicas conservacionistas e ambientais, pois contêm processos vinculados ao escoamento hídrico, a atividades sociais e florestais, com destaque para as inter-relações e impactos sobre os recursos naturais.
Echevarría e Montoya (2015)	É uma parte da sub-bacia hidrográfica.

Autor(es)	Conceitos e características de uma microbacia hidrográfica
FAO (2018)	A microbacia é uma área que pode ser planificada mediante a utilização dos recursos locais e um número de famílias que pode ser abordado como um núcleo social que compartilha interesses comuns (água, serviços básicos, infraestrutura, organização, entre outros). Além disso, acrescenta que, em El Salvador, uma microbacia não deve ter mais de 700 ha e conter 100 famílias dada as condições do terreno, porém pontua que o tamanho ideal é de 250 ha a 350 ha, nele devem habitar de 50 a 70 famílias.

Quadro 3 - Conceitos de microbacia hidrográfica presentes na literatura científica

Adicionalmente, notou-se que, na maioria dos trabalhos consultados, não existe a preocupação em definir o que se entende como microbacia hidrográfica, mas simplesmente é informado que suas BHs com as características que apresentam são microbacias. Deste modo, “o uso dos termos bacia, sub-bacia e microbacia hidrográficas parecem obedecer a uma certa escala espacial, entretanto não há um consenso entre a comunidade científica quanto as suas definições” (MOSCA, 2003 p. 5).

A ausência de um consenso resulta também da dificuldade de enquadrar objetos complexos em uma hierarquização e em definições simplistas. Além disso, houve a naturalização do conceito posto devido à sua vasta utilização e à objetividade exigida nos trabalhos científicos que, esporadicamente, podem subsidiar alienações por não exigirem delimitações claras do que se aborda.

Além disso, detectou-se que não há concordância sobre a dimensão espacial, tamanho do rio principal, as ordens dos rios, a densidade de drenagem ou outro atributo que indique uma delimitação segura de uma microbacia. Tal afirmação pode ser fundamentada a partir dos conceitos apresentados pelo quadro 3, onde é possível ver sugestões de áreas que oscilam de 1 ha a 5.000 ha, por exemplo.

Ao examinarem-se as definições expostas no quadro 3, averigua-se que há uma heterogeneidade conceitual quanto ao objeto discutido. Ademais, constata-se a presença de qualitativos simplistas ou complexos, comumente imprecisos no âmbito conceitual estudado. Em consonância com isso, as conceituações de Vélez, Núñez e Trujano (2003), Gálvez (2011), Machado e Torres (2012) e Echevarría e Montoya (2015) são as mais simples, pois se limitam a informar que a microbacia hidrográfica é uma drenagem integrante de uma sub-bacia, que conflui para um rio principal ou que tem uma determinada área espacial.

Já as definições de Attanasio (2004), Bertoni e Lombardi Neto (2008), Lima (2008), FAO (2018) e Hollanda *et al.* (2015) são mais complexas em relação às primeiras por trazer mais elementos na caracterização e discretização de uma microbacia hidrográfica. Contudo, ainda oferecem atributos vagos ou difíceis de ser obtidos, complicando o estudo e o enquadramento do objeto analisado.

A definição de Vélez, Núñez e Trujano (2003) reduz a microbacia a uma área espacial arbitrária, logo aquelas maiores ou menores do que os parâmetros estabelecidos tendem a ser desconsideradas. Já Gálvez (2011) não considera a possibilidade de uma microbacia desaguar em um rio principal de uma BH sem passar por uma sub-bacia, sendo esta a sua maior limitação conceitual.

Com relação à definição de Machado e Torres (2012), esta cria ambivalências com os outros conceitos tratados e não oferece subsídios para uma delimitação clara do objeto por não ter elementos que a distingam das demais categorias de BH. Por fim, Echevarría e Montoya (2015) reduzem a microbacia a um elemento de uma sub-bacia, o que nem sempre é uma realidade, pelos motivos já indicados nas seções anteriores. Portanto, os autores mencionados escolheram aspectos controversos como características principais para qualificar e delimitar uma microbacia das demais classes.

Não obstante as abordagens mais complexas do termo tratado também apresentarem imprecisões, o conceito de Attanasio (2004), inicialmente, é restrito porque emprega características que as demais categorias de BH têm. Tanto o autor citado quanto Lima (2008) não indicam quais as técnicas e os intervalos dos parâmetros adequados para mensurar a sensibilidade de uma BH às chuvas intensas. Assim, quais os graus e as variações do uso do solo e da água de deflúvios devem ser considerados para identificar uma microbacia hidrográfica? A ausência disso demonstra as imprecisões dos conceitos adotados, embora tenham mais elementos qualitativos que os demais examinados.

Bahamondes e Gaete (2002) restringem-se a qualificar uma microbacia a partir das ordens dos canais fluviais da rede hidrográfica e de sua área espacial. Contudo, esses atributos não são substanciais para ser aplicados em todas as BHs da Terra, pois, dependendo da escala de mapeamento da rede hidrográfica, um rio de primeira ordem pode ser um sulco erosivo efêmero, enquanto um rio de segunda ordem pode ser um pequeno riacho sem expressividade espacial ou mesmo um grande rio cuja área de drenagem supera facilmente 100 ha. Casos dessa

natureza geralmente ocorrem em BH com padrões de drenagem em treliças ou paralelos. Desta maneira, o conceito peca por não poder ser aplicado a todas as microbacias.

A definição dada por Bertoni e Lombardi Neto (2008) está mais alinhada com o conceito de BH do que com o de microbacia. Ademais, trata mais das funções de uma determinada categoria de BH do que seus atributos para discretizá-las das demais. O entendimento de Guatemala (2009) e Gálvez (2011) reduz a microbacia a um mero tributário de uma sub-bacia, menosprezando a possibilidade de a referida ter uma elevada área espacial ou mesmo ser uma sub-bacia de outra BH.

O entendimento da FAO (2018) também apresenta fragilidades dada a sua falta de precisão, afinal muitas sub-bacias podem ser planejadas com recursos locais, assim como permitem que um determinado número de famílias seja abordado como um núcleo social que compartilha interesses comuns. As áreas espaciais e o número de famílias que, em tese, devem habitá-las são relativos e arbitrários, pois não são demonstrados os critérios para tal indicação.

Por fim, o entendimento de Hollanda *et al.* (2015) também não auxilia robustamente na delimitação conceitual de uma microbacia, pois ampara-se em aspectos igualmente presentes nas outras categorias hierárquicas de BH como, por exemplo, a possibilidade de gerenciar recursos naturais, a implementação de políticas conservacionistas.

Portanto, nota-se que o conceito em apreço é impreciso, pois suas qualidades variam conforme a sua aplicação, dificultando a sua compreensão universal e as comparações entre trabalhos que o utilizam. Os autores citados no quadro 3 tentaram empregar características qualitativas e quantitativas para diferenciar microbacia de sub-bacia e BH, porém nota-se que a problemática ainda se encontra sem solução, pois os conceitos apresentados demonstram falhas em suas qualificações e quantificações decorrentes do caráter complexo da célula analisada.

Além disso, assim como ocorre nas adjetivações das categorias postas, ainda há detalhes sem consenso como a área de uma unidade de planejamento. Afinal, o critério para sua delimitação é político-administrativo. Outra questão é o fato de restringir um determinado plano econômico ou de desenvolvimento a um espaço físico pequeno e desconexo do seu entorno, pois as atividades socioeconômicas e culturais estendem-se para dimensões maiores. Com efeito, o planejamento e a gestão de uma microbacia também devem prezar pela matriz onde está inserida.

Logo, a partir dos antecedentes, constata-se que a microbacia hidrográfica apresenta partes das qualidades de uma BH, ou seja, é um hidroterritório, uma unidade de paisagem, uma unidade de planejamento, um ecossistema, assim como é um sistema ambiental aberto, não obstante apresenta especificidades próprias por ser menor espacialmente, por conter rios menos caudalosos e por ser menos complexa que a primeira, não contendo, assim, as propriedades emergentes inerentes a uma BH hierarquicamente maior.

Sendo assim, concebe-se a microbacia hidrográfica como a menor categoria hierárquica de uma BH, que habitualmente é representada por drenagens de primeira e segunda ordens (podendo abranger um rio de terceira ordem, caso um ou mais de seus antecedentes sejam canais efêmeros) que confluem para uma sub-bacia ou para a BH mais complexa do sistema fluvial. Ademais, trata-se de uma unidade multidimensional, é formada por um conjunto de elementos naturais, socioeconômicos e culturais que estabelecem inter-relações dinâmicas e funcionais por meio dos fluxos de energia, informações e ciclagem de matéria.

3.5 Considerações finais

Apesar de a temática de hierarquização de BH ser muito utilizada, não foi encontrada, até o momento, nenhuma metodologia ou esboço teórico que apresente uma tipologia robusta sobre a hierarquização de BH, sub-bacia e microbacia hidrográfica e cujas conceituações não detenham as limitações discutidas, porém detectou-se que há esforços para tal feito, mas estes ainda são ineficientes para a resolução do problema globalmente.

Atestou-se que os conceitos abordados passaram por adaptações ao longo do tempo, para ser ajustados aos interesses e às escalas dos diversos trabalhos técnico-científicos que os criaram e aplicaram. Em razão disso, tais trabalhos apresentam diversas definições.

Notou-se que o atual sistema hierárquico de BH, formado por três categorias (BH, sub-bacia e microbacia), é permeado por problemas relacionados à imprecisão de seus conceitos, por fragmentar um sistema fluvial complexo somente em três segmentos.

No que tange às limitações conceituais, estas se iniciam no âmbito semântico dos termos de sub-bacia e microbacia. No primeiro caso, o prefixo sub- designa algo que está abaixo, é inferior ou se aproxima de algo (FERREIRA, 2014), portanto a sub-bacia é uma categoria inferior multidimensionalmente em relação à BH da qual é tributária. Geralmente, o sub- é utilizado em uma lógica dualística, tendo o sobre- (superioridade e acima de) como o seu prefixo oposto.

Contudo, há a possibilidade da utilização do prefixo mes(o) - (meio, ponto médio e entre os extremos), tendo em vista que habitualmente há uma categoria mediana entre oposições. Correntemente, na prática, essa dimensão é representada pela sub-bacia, porque o sistema hierárquico de BH em vigor considera apenas três categorias. Assim, o prefixo sub-poderá indicar que tal bacia é a de menor nível de um sistema, substituindo a microbacia.

Já o termo microbacia também apresenta fragilidades, pois, segundo Ferreira (2014), micro- significa muito pequeno ou, de acordo com o Sistema Internacional de Unidades, representa objetos com dimensões de um milionésimo (10^{-6}), neste caso não condizendo com tamanhos de uma BH, mesmo que pequena.

Com isso, observa-se que o sistema hierárquico de BH em vigor aglutinou classes oriundas de classificações semânticas distintas, isto é, criou-se a sub-bacia a partir do prefixo sub, tendo o sobre e o mes(o) como ordens afins. Já no caso da microbacia, aplicou-se o micro, que parte de uma grandeza métrica ou de níveis como muito grande, grande, médio, pequeno e muito pequeno para diferenciar as BH por tamanho, complexidade e função.

A área espacial e a ordem fluvial oferecem limitações para a diferenciação de sub-bacia e microbacia, pois a maioria dos trabalhos consultados consideram como microbacias as redes que contêm rios até de terceira ordem, conforme a metodologia do Strahler (1957). Não obstante há sub-bacias cuja rede de drenagem é composta por rios de terceira ordem também. Deste modo, o emprego de conceitos balizados puramente em aspectos quantitativos não se mostrou eficiente em razão da sua arbitrariedade e da ausência de parâmetros universais e por possibilitar a ocorrência de ambivalências conceituais.

Acredita-se que tal panorama somente poderá ser revertido a partir do desenvolvimento de mais estudos que possam indicar intervalos espaciais gerais para as classes hierárquicas tratadas. Além disso, notou-se que definições baseadas em aspectos qualitativos são mais adequadas para delimitar globalmente as categorias analisadas, pois são flexíveis perante a complexidade e diversidade de BH terrestres.

Observou-se que há uma banalização no uso das categorias hierárquicas de uma BH, especialmente o de microbacia hidrográfica, mas grande parte dos trabalhos acadêmicos estudados não explicam o motivo pelo qual usam o termo microbacia hidrográfica em vez de sub-bacia ou BH. Soma-se a isso a ausência de explicações do que os pesquisadores entendem ser uma microbacia, logo a delimitação dessa classe está relacionada a sua função ambiental, à subjetividade dos pesquisadores e à natureza do objeto tratado.

De todas as categorias, a BH é a que apresenta maior nível de complexidade e mais definições, afinal é a categoria que permite um maior nível de abstração. A sub-bacia possui definições com falhas nas suas delimitações, contudo elas permitem uma compreensão superficial das suas características gerais sem complicações, o que não ocorre à microbacia.

Apesar da larga utilização do conceito de microbacia hidrográfica, detectou-se que não há um consenso ou uma delimitação conceitual uniforme que facilite um entendimento global ou que permita a realização de comparações de obras que utilizam tal conceito, porque sua qualificação e/ou quantificação têm sido vinculadas à natureza empírica e subjetiva de cada contexto em que é empregado.

Cabe frisar que, embora essa célula de análise seja multidimensional, à medida que sua complexidade e tamanho são reduzidos, ela tende a perder dimensões; por exemplo, se um sulco erosivo for entendido como uma microbacia, aquele não pode ser entendido como uma unidade de planejamento e gestão, por conta do seu tamanho e menor complexidade.

4 INTERPRETAÇÕES DAS INTERAÇÕES DOS ELEMENTOS PAISAGÍSTICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SANTA CRUZ (SERTÕES DE CRATEÚS, CE/BRASIL)

4.1 Introdução

A bacia hidrográfica (BH), enquanto uma forma de relevo, é produto de ações combinadas e contraditórias entre o tectonismo, o intemperismo e a erosão, que são condicionados pelos aspectos litológicos, climáticos, hidrológicos, pedológicos, faunísticos, vegetacionais e sociais de cada porção espacial da Terra. Isto posto, suas fisionomias e funções ecológicas variam conforme os arranjos dos seus elementos, suas funções e propriedades emergentes.

A bacia hidrográfica (BH) é um sistema ambiental multidimensional utilizado como uma unidade de gestão e planejamento territorial, por possibilitar uma análise integrada de todos os seus componentes e por possuir interflúvios, que delineiam sua dimensão espacialmente natural (GOMES; BIANCHI; OLIVEIRA, 2021). Assim, tem sido uma célula de análise utilizada por pesquisas voltadas para o entendimento dos aspectos socioambientais das paisagens e dos territórios (LIMA, 2005; TORRES; VIANNA, 2008; SOUZA; SANTOS; OLIVEIRA, 2012; GOMES, 2015; OLIVEIRA; SILVA FILHO; NOGUEIRA NETO, 2018).

Dada a sua complexidade, essa categoria de estudo pode ser examinada sob diferentes enfoques analíticos ou integrados, conforme as especificidades e objetivos das pesquisas científicas. Geralmente, os trabalhos focam nos atributos morfométricos e nos arranjos de seus elementos paisagísticos da BH (QUEIROZ *et al.*, 2017; SILVA; MAIA, 2017; SILVA; FURRIER; 2019; SOUZA *et al.*, 2020), por serem dados e informações iniciais para a confecção de uma pesquisa científica ou técnica. Com isso, pode-se entender as interrelações funcionais existentes entre os componentes da BH, bem como detectar suas propriedades emergentes.

A apreensão do panorama fisiográfico de uma bacia hidrográfica (BH) é uma ação essencial para subsidiar a construção de seu planejamento ambiental e gestão participativa, com intuito de compatibilizar as ações sociais com a capacidade de carga ecológica de suas paisagens. Sem isso, as atividades antrópicas tendem a explorar insustentavelmente os recursos naturais da BH, produzindo alterações paisagísticas negativas para o seu funcionamento habitual.

Desse modo, este trabalho objetiva descrever e analisar as relações entre os principais elementos naturais constituintes da BH do rio Santa Cruz nos Sertões de Crateús, CE/BR, com

o intuito de identificar e compreender as inter-relações entre os elementos paisagísticos e suas disposições espaciais.

A escolha da BH do rio Santa Cruz, justifica-se no fato desta drenar cerca de 42,87% do território municipal de Independência-CE e ser alvo de diversas intervenções antrópicas seculares, sobretudo devido aos agrossistemas existentes, em função da construção do açude Barra Velha que abastece a sede municipal.

Além disso, almeja-se o aprofundamento no entendimento do quadro ambiental posto, para oferecer informações que possam subsidiar proposições de políticas públicas e o manejo conservacionista da terra para o desenvolvimento das regiões semiáridas, como o Nordeste do Brasil, onde há uma ampla diversidade de BH, sob distintos tipos de uso.

4.2 Metodologia

Elegeram-se como método de abordagem, o sistêmico, proposto por Bertalanffy (1977), porque permite a compreensão integrada das inter-relações funcionais estabelecidas entre os fenômenos naturais e sociais. Portanto, viabiliza o entendimento da realidade como um todo indissociável e dotado de características próprias.

Partindo do pressuposto de que um sistema é um conjunto de elementos inter-relacionados, geralmente para desenvolverem uma ou mais funções (BERTALANFFY, 1977), a paisagem pode ser vista como um sistema ambiental. Isto, porque, segundo Bertrand (1969, p.141), a referida é “[...] uma determinada porção do espaço, resultado da combinação dinâmica, portanto instável, de elementos físicos, biológicos e antrópicos que, reagindo dialeticamente uns sobre os outros, fazem da paisagem um único e indissociável, em perpétua evolução”.

Com relação aos procedimentos estabelecidos, este foi segmentado em várias etapas. Inicialmente, foram feitos sucessivos levantamentos bibliográficos, geocartográficos e de artigos científicos na rede mundial de computadores que versam sobre a temática posta. *A priori*, trabalhos como Brasil (1973), Christofletti (1979; 1981), Ceará (1997; 2017), Ferreira e Mello (2005), Pinéo *et al.* (2020), Santos *et al.* (2013), Santos *et al.* (2018), Gomes, Zanella e Oliveira (2017) e Gomes, Paiva e Oliveira (2017) foram obras preliminarmente importantes para o levantamento de dados e informações do local estudado e como bases para a composição da cartografia temática.

Para a modelagem geométrica da BH do rio Santa Cruz, selecionou-se imagens do sensor *Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar* (PALSAR) a bordo do satélite

Alos, com pixel de 12,5m, disponibilizados pelo *Alaska Explore*. Em seguida, utilizou-se o *software TerraViewHidro 0.4.5* para preencher possíveis vazios de dados (oriundos do procedimento de obtenção das imagens), delimitar a área da BH, extrair e classificar o sistema de drenagem segundo Strahler (1957) e estimar os seus parâmetros morfométricos principais: área, comprimento do rio principal, perímetro, eixo axial e número de rios.

No Qgis 3.14, foi gerada a cartografia temática, o modelo de elevação digital (MDE), o mapa hipsométrico e a declividade da BH, onde subdividiu-se as inclinações expressas em porcentagens em classes de acordo com Embrapa (1979). A partir do mapa geológico, adaptado de Pinéo *et al.* (2020), do hipsométrico, de declividade e trabalhos de campo, foram identificadas as principais formas de relevos da área.

Com relação à série pluviométrica utilizada para fins de caracterização climática da BH, empregou-se a série entre 1974 a 2019, do posto pluviométrico localizado na sede municipal de Independência e pertencente a Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos - FUNCEME. Os dados foram tabulados e analisados para que assim fosse criado o climograma que não contém as temperaturas por não serem registradas pelo posto referido ou por outro no mesmo contexto.

As informações fitoecológicas foram extraídas majoritariamente de Ceará (1997), Gomes (2015) e Maia (2004) que serviu como guia para identificação de algumas espécies vegetais durante os trabalhos de campo.

As informações e dados pedológicos foram extraídas de Brasil (1973), que foi reclassificado conforme Santos *et al.* (2018). Ademais, em campo foram analisados morfologicamente cortes de estradas que permitiram atualizar as informações morfológicas dos solos.

Ademais, utilizou-se as informações dos tipos de cobertura e uso da terra provenientes dos mapas com formatos matriciais com resolução 30x30 m do projeto Mapbiomas v.5.0 que forneceram dados de uma série história de 35 anos (1985-2019) e está em contínua evolução. Destaca-se que sua escala é de 1:250.000, portanto sua utilização é recomendada para trabalhos que empreguem escalas menores ou iguais a 1:100:000. Presentemente, sua tipologia abrange de 19 a 21 classes, as quais foram elegidas e adaptadas conforme as características da BH em apreço.

Após a aquisição dos dados, esses foram exportados para o Qgis 3.14, onde foram identificadas as classes empregadas para a BH do rio Santa Cruz: a) afloramento rochoso; b) formação campestre; c) formação florestal; d) formação savânica; e) mosaico de agricultura e

pastagem; f) outras áreas não vegetadas; g) pastagens; e h) rio, lago e oceano. Com isso, adaptou-se as classes segundo a realidade estudada, pois algumas não designavam adequadamente a condição representada.

Tratando-se das adaptações, as cores foram alteradas para evitar a poluição cartográfica e a formação florestal foi renomeada para floresta caducifólia espinhosa que também abrangeu a mata ciliar por suas similaridades. A nomenclatura formação savânica foi alterada para caatinga arbustiva aberta, posteriormente, aglutinou-se a classe intitulada formação campestre em campos de pastagem, visto que a área não possui campos naturais, somente áreas desmatadas para a agricultura e pecuária.

Já a categoria outras áreas não vegetadas foi renomeada para zona urbana e outras construções por corresponder, sobretudo a espaços edificados, embora haja algumas áreas, como campos agrícolas ou áreas alagadas, que foram considerados nessa classe por possuírem a mesma assinatura espectral das construções.

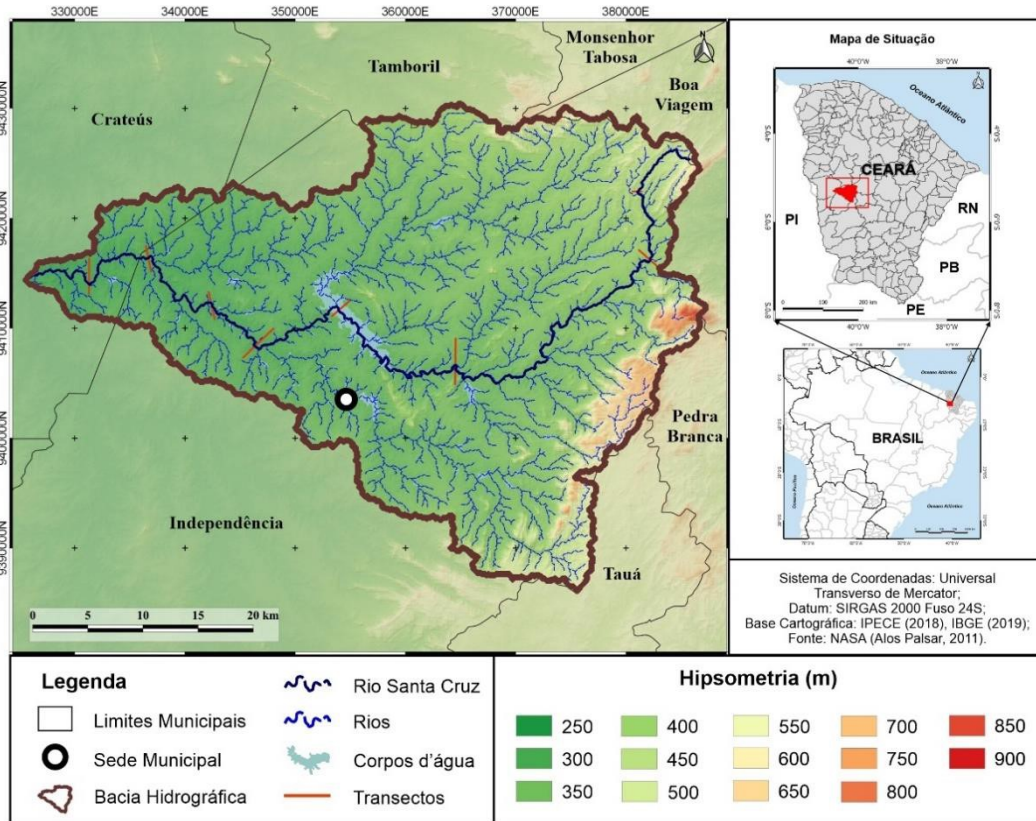
4.3 A BH do rio Santa Cruz

4.3.1 Localização, morfometria e geologia da BH do rio Santa Cruz

A BH do rio Santa Cruz (figura 1) localiza-se no Centro-Oeste do Ceará, na microrregião de planejamento intitulada Sertões de Crateús, portanto sendo tributária da BH do rio Poti (mapa 2). Sua nascente encontra-se a 522 m de altitude sobre a serra do Salgado, em Boa Viagem/CE, entre as localidades de Balança e Aniceto, e sua foz está na fazenda Lagoa dos Pintos – Crateús/CE, na confluência com o rio Jucás, a 278 m de altitude.

Quanto aos espaços da BH, esta detém 1.473,521km², com perímetro de 292,845 km e o com comprimento axial de 61,02 km. Sendo assim, sua rede de drenagem está concentrada no município de Independência (93,75%) e em Crateús (5,45%), visto que as demais partes estão nos limiares dos municípios de Boa Viagem, Tamboril, Tauá, Pedra Branca e Monsenhor Tabosa.

Hidrograficamente, a BH do rio Santa Cruz é constituída por 996 rios e riachos efêmeros e intermitentes. Conforme a classificação de Strahler (1957), 736 riachos são de primeira ordem, correspondendo também ao número aproximado de nascentes; 189 são de segunda ordem; 53 são de terceira ordem; 13 são de quarta ordem; 4 são de quinta ordem; apenas 1 de sexta ordem. Este último, corresponde ao rio principal que possui cerca de 114,679 km. Porém, o comprimento médio dos rios é de 1,465 km.



Mapa 2 - Localização e hipsometria da BH do rio Santa Cruz- Sertões de Crateús/CE-Brasil.



Figura 1 - Vista panorâmica a partir do médio curso da BH do rio Santa Cruz em Independência/CE retratando, ao fundo, todos os seus interflúvios leste e norte.

A rede de drenagem está intimamente correlacionada com os aspectos climáticos e litológicos da BH. Neste âmbito, a drenagem está encaixada em rochas cristalinas (Mapa 2), com exceção dos delgados sedimentos arenoquartzosos ou argilosos presentes nos canais (depressões e soleiras) e nas planícies fluviais. As rochas cristalinas implicam na extensão, densidades e tropia dos rios, bem como na morfologia de todo o sistema fluvial, pois suas

estruturas e resistências diferenciadas à erosão criam circunstâncias diferenciadas que condicionam a rede de drenagem e seus constituintes paisagísticos.

O Mapa 2 demonstra o recorte das informações do trabalho de Pinéo *et al.*, (2020), que expõem as principais características da litoestrutura da área analisada. Desse modo, verifica-se que BH está totalmente inserida na Província da Borborema Setentrional, particularmente, no Sistema de Dobramentos rio Curú-Independência integrante do Domínio Tectônico (FORGIARINI; BRAGA, 2011).

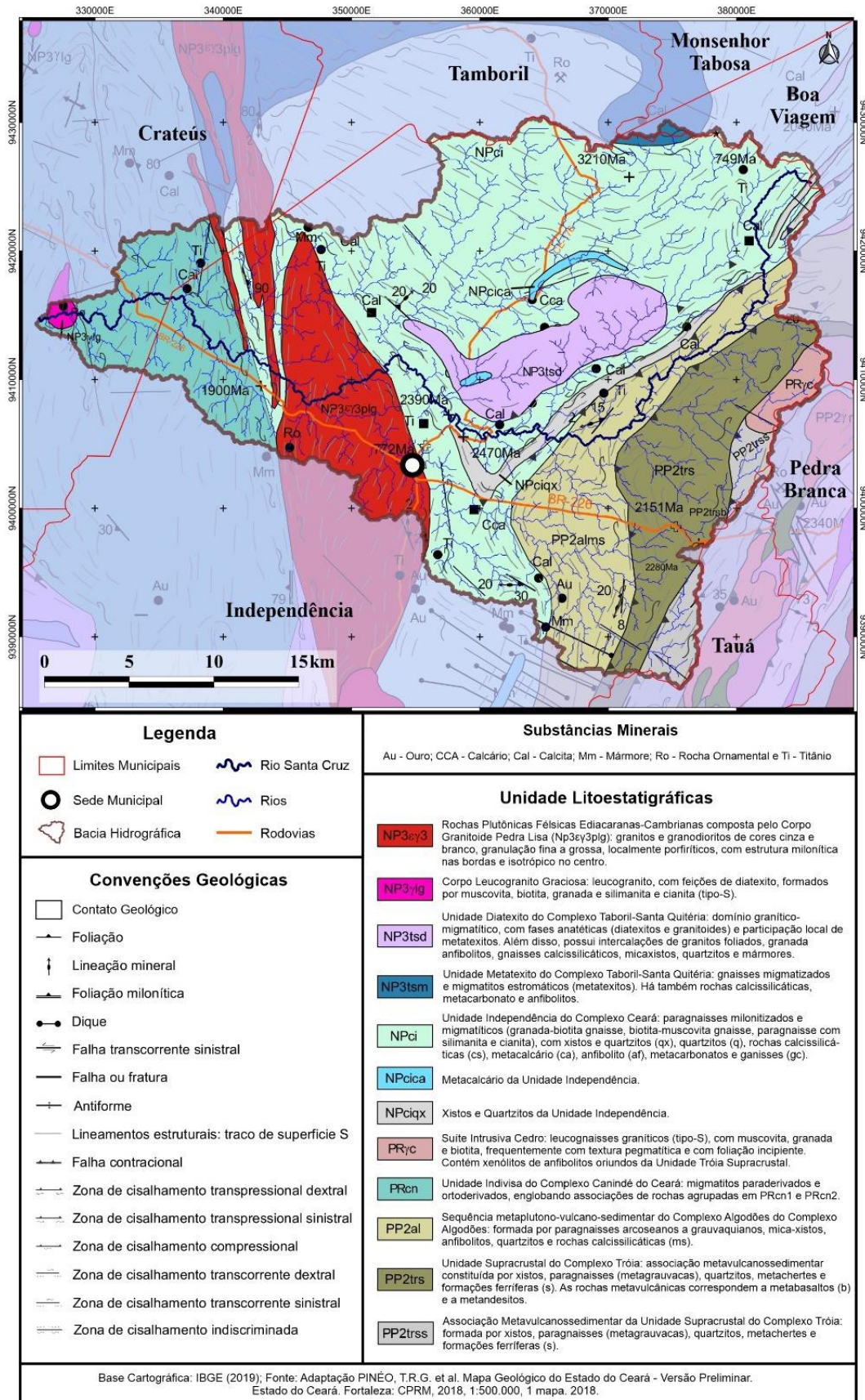
A BH é formada por rochas ígneas, sobretudo metamórficas pré-cambrianas (milonitos, migmatitos, granitóides, gnaisses, xistos e quartzitos), com destaque para as neoproterozóicas que apresentam uma série de estruturas com disposições NE-SO, NO-SE e N-S, resultantes do ciclo orogênico transbrasiliano que auxiliou na condição geológica da área e na morfoestrutura da paisagem atual.

Tratando disso, examinando o mapa 3, verifica-se que o rio principal diseca diretamente seis unidades litológicas de rochas ígneas e metamórficas (NPciqx, NPci, PP2alms, NP3εγ3, NP3tsm e NP3γlg) que apresentam foliações, resistências variadas frente à erosão, disposições e estruturas que implicam diretamente na orientação do perfil longitudinal e transversal do rio Santa Cruz.

Embora as litologias sejam cristalinas e relativamente impermeáveis, suas resistências diferenciadas à erosão são evidentes porque há maiores concentrações de drenagens nas porções sudeste e centro-norte da BH em decorrência dos micaxistos, migmatitos, gnaisses, gnaisses das unidades NPci e PP2al e de suas estruturas. As menores resistências dessas ao intemperismo ocorre em razão das suas composições mineralógicas apresentarem minerais máficos e por serem anisotrópicas, facilitando as ações intempéricas e a erosão das rochas.

A rede de drenagem habitualmente exhibe inflexões com ângulos de 90° e detém significativas sinuosidades ao longo do seu trajeto, demonstrando que o condicionamento estrutural da morfoestrutura e do sistema fluvial. Assim sendo, viabiliza a existência dos padrões de drenagens variados, a superimposição parcial dos rios à litoestrutura e repercutindo nas características longitudinais e transversais dos perfis dos rios.

A inter-relação do clima tropical quente semiárido com as rochas cristalinas com deformações estruturais, influenciam no sistema de drenagem e evidenciam diversas anomalias e padrões morfológicos distintos, como o subparalelo (sul, centro-nordeste e leste), dendrítico (norte e centro-oeste) e em treliça (sudeste).



Mapa 3 - Composição litoestrutural da BH do rio Santa Cruz, Sertões de Crateús-CE/BR Fonte: Pinéo *et al.* (2018).

Na extremidade sudeste da BH, há o padrão treliça que se desenvolveu sobre um maciço elevado oriundo de dobramentos e sistemas distensivos sobre as unidades PP2alms, PP2trs, especialmente, sobre PP2trss. O padrão dendrítico está estabelecido nos pediplanos, nas porções norte e centro-oeste, sobretudo nas unidades NPci e NP3εγ3plg, em virtude da relativa homogeneidade litológica, resistências similares ao intemperismo e erosão e menores influências de falhas ou de dobras.

O padrão paralelo está vinculado aos sistemas distensivos, zonas de transcorrências e áreas com antiformas sobre pediplanos e as seguintes unidades litológicas PP2alms, PP2trs, NP3tsd, NPciqx e NP3tsm, por exemplo. Apesar das estruturas citadas, a área é tectonicamente estável, embora manifestações de sismos tenham sido documentadas nas proximidades da BH, porém não estão vinculados às zonas ativas, mas à acomodação dos maciços intraplaca.

4.3.2 Inter-relações do clima com os elementos da BH do Rio Santa Cruz

No tocante ao clima, o climograma com os totais pluviométricos anuais ao longo de 17 anos (gráfico 1), demonstra uma significativa variabilidade pluviométrica inter-anual que é uma das características climáticas que repercute na fisionomia das paisagens semiáridas da BH, visto que se inter-relaciona com os demais elementos ambientais.

Os anos com maiores precipitações foram 1974 (1145,3 mm), 1975 (970,6 mm), 1984 (930,7 mm), 1985 (1136,8 mm), 1989 (944,5 mm), 1996 (900,3 mm) e 2009 (962,4 mm), pois os sistemas atmosféricos causadores de chuvas na área de pesquisa foram influenciados pela *La Niña*. Quanto aos anos estios, identificou-se 1982 (248,2mm), 1983 (311,8 mm), 1990 (311,3 mm), 1993 (195,5 mm), 2012 (74,4 mm) e 2013 (305,4 mm) e suas causas atrelam-se ao *El Niño* porque sofreram suas ações ou representam anos neutros precedidos pelo evento referido.

Acredita-se que os anos de 2012, com média de 74,4 mm, seguido pelo ano de 1998 com 195,5 mm representam episódios pontuais por sinalizarem possíveis falhas nas estações meteorológicas em razão das médias serem demasiadamente baixas, visto que costumam chover mais de 200 mm anuais.

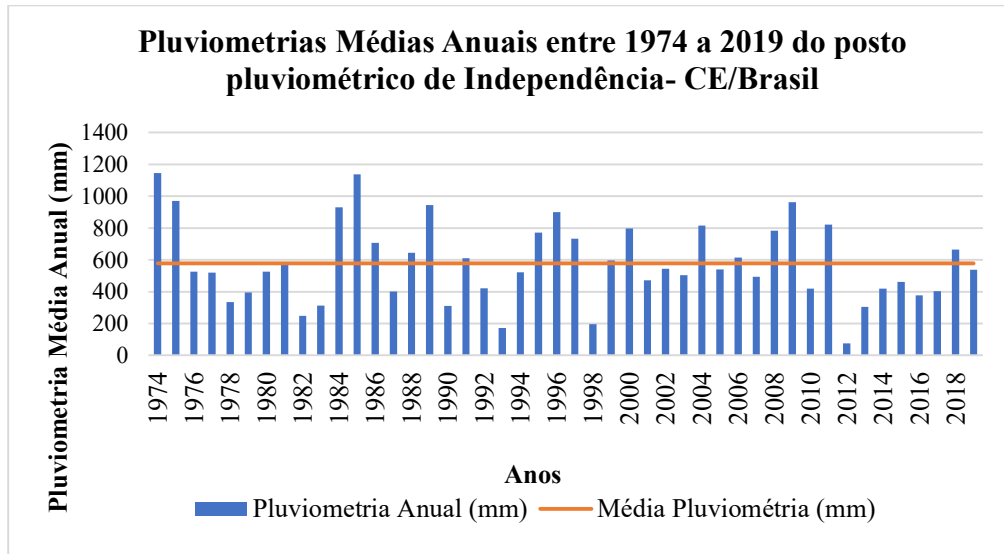


Gráfico 1 – Série histórica das médias anuais dos totais pluviométricos ocorrentes na BH do rio Santa Cruz entre 1974 a 2019.

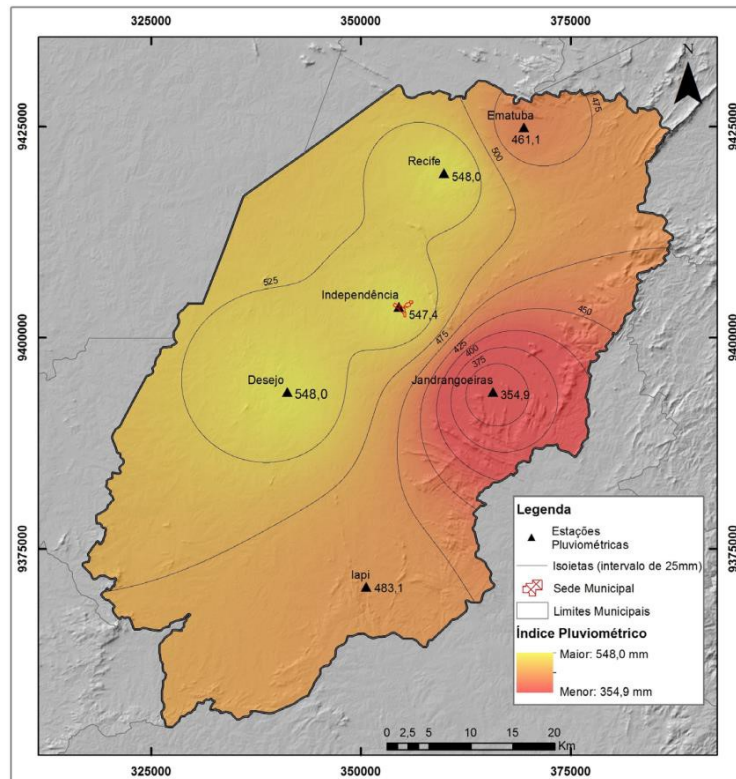
A média pluviométrica dos anos da série histórica considerada foi de 577,7 mm anuais, elencando tal variável às temperaturas médias entre 26° a 28°, a mais de 2000 horas de insolação anuais (CEARÁ, 2017), à altas taxas de evapotranspiração e às chuvas torrenciais temporoespacialmente irregulares concentradas entre fevereiro a abril, o clima passa a ser classificado como tropical quente semiárido.

Essa configuração climática é promovida pelas atuações de diversos sistemas atmosféricos, como: *El Niño*, *La Niña*, Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN), Complexo Convectivo de Mesoescalas (CCMs) (FERREIRA; MELLO, 2005; GOMES; ZANELLA, OLIVEIRA, 2017). Além, desses, influem a Temperatura da Superfície do Mar (TSM), Ventos Alísios de Sudeste e Nordeste e a Pressão ao Nível do Mar (SILVA; OLIVEIRA, 2018).

Esses são os sistemas responsáveis pelas precipitações pluviais na área de pesquisa, assim dependendo dos seus arranjos e intensidades, as chuvas torrenciais podem ser abundantes ou escassas. A ausência desses sistemas e a atuação da Massa Equatorial Atlântica (MEA) ocasionam a estiagem que se manifesta, a partir do mês de junho estendendo-se até meados de dezembro ou janeiro.

No mapa 4, que considera as precipitações em todo o município de Independência-CE (série 2001 a 2015), repara-se que os espaços imediatamente situados a sotavento dos interflúvios leste e norte do território possuem menos precipitações anuais em razão da orografia, fato constatado por Silva e Oliveira (2018). Nesta perspectiva, verifica-se que as

distribuições pluviométricas irregulares também estão presentes na BH do rio Santa Cruz, afinal cerca de 93,7% de seus espaços estão neste município.



Mapa 4 – Distribuição pluviométrica no município de Independência-CE/Brasil. Fonte: Silva e Oliveira (2018).

Embora ocorra relevos elevados na área em apreço, não há enclaves úmidos pela distância do território da costa, por estarem na vertente sotavento e ausência de sistemas úmidos para aportarem umidade nos maciços. A partir do mapa, percebe-se que as rochas mais erodidas e aplainadas da BH estão presentes onde há maiores índices pluviométricos, enquanto as menos dissecadas estão nos espaços estios por influência climática, mas também por corresponderem deformações crustais (dobras).

Essas características climáticas imprimem suas expressões na paisagem visto que condicionam os principais fluxos de matéria e energia nos sistemas. Por isso, alterações na temperatura e umidade repercutem sobre os demais elementos paisagísticos, alterando seus aspectos, estruturas e funções. Afinal, a baixa pluviosidade e a variação térmica auxiliam na termoclastia, na baixa dissolução dos minerais, na regressão lateral dos relevos, na formação de solos rasos e pedregosos e seleção florística e faunística da área.

Ademais, como o sistema pluviométrico é irregular, as chuvas torrenciais criam enchentes que geram pulsos episódicos e catastróficos no sistema fluvial, por ativar a erosão dos solos nas elevações e pediplanos e possibilitar a injeção de significativa quantidade de

matéria e energia no sistema fluvial. Diante disso, dificultando o estabelecimento do equilíbrio dinâmico dos rios e das planícies fluviais, criando sistemas com alterações hidrossedimentares e morfológicas complexas.

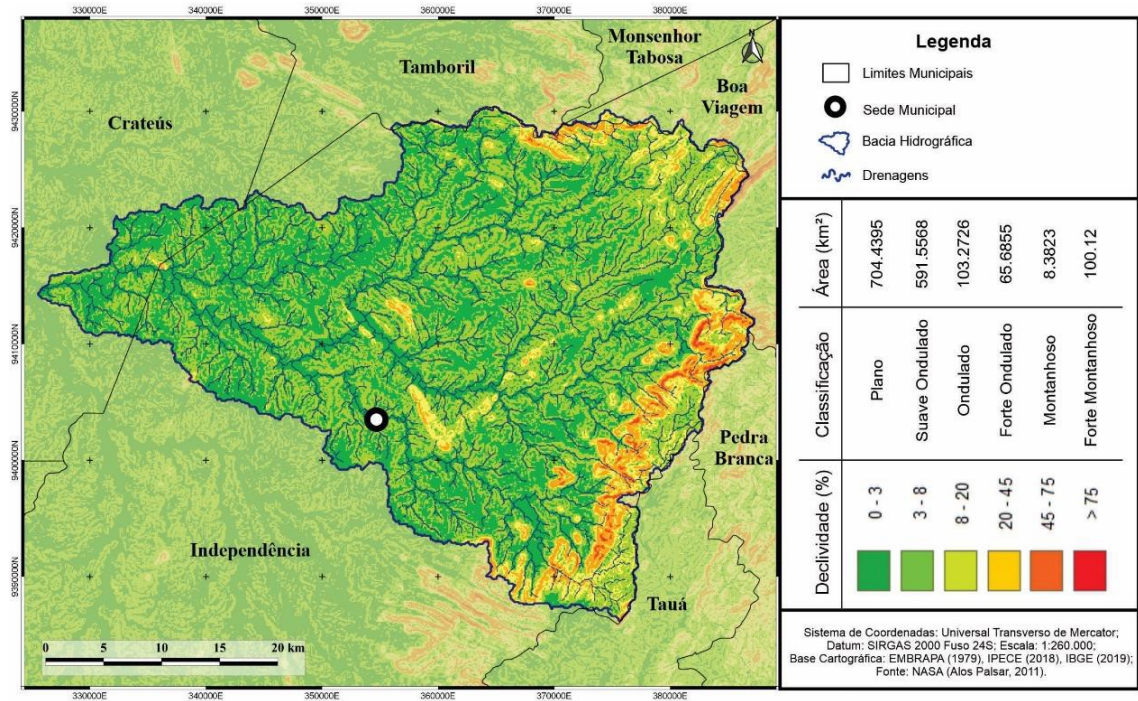
4.3.3 Unidades de relevo da BH do Rio Santa Cruz e seus condicionantes paisagísticos

Diante do panorama altimétrico da BH (mapa 1), é possível observar que essa tem um caimento topográfico geral de lestes para oeste, sendo o primeiro o mais elevado, com cotas que chegam a 900 m de altitude, e o segundo rebaixado, com cotas inferiores a 286 m por representar o exutório do vale.

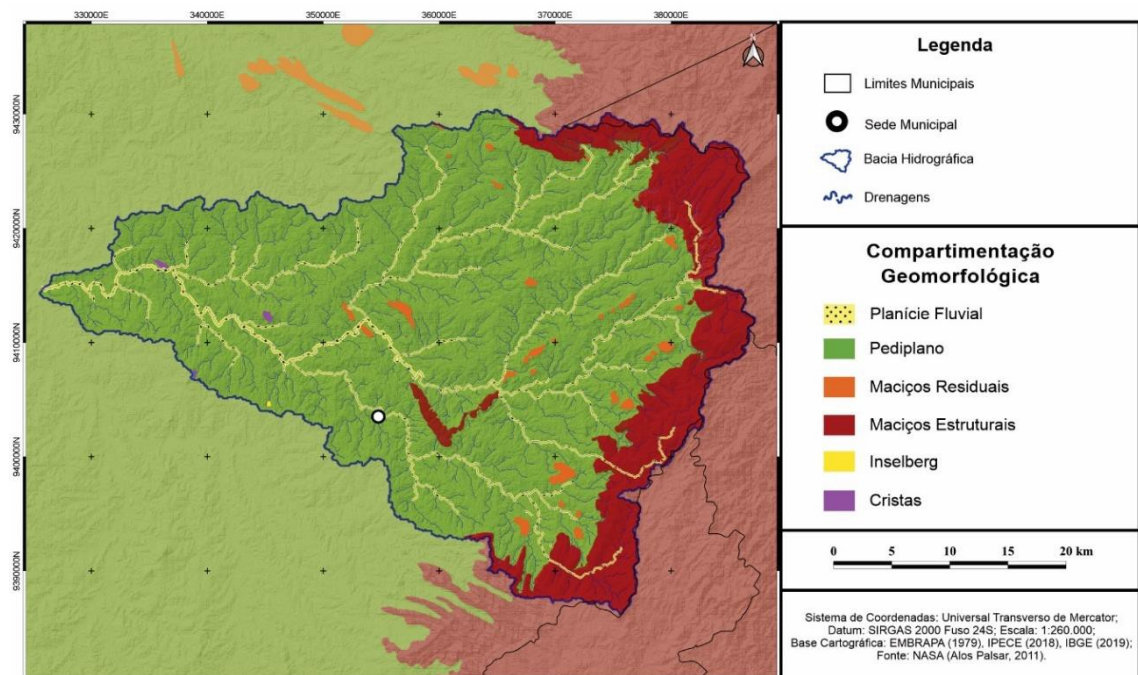
A diferença altimétrica ocorre porque as extremidades leste e norte são as bordas da subunidade tectônica Sistema de Dobramentos Rio Curú-Independência, que se limitam com outras subunidades dobradas, falhadas e topograficamente elevadas do Domínio do Ceará Central (FORGIARINI; BRAGA, 2011). Assim, abrangem parcialmente o complexo montanhosos de Pedra Branca e da Serra das Matas, que contém a Serra Branca que é o pico mais elevado do Ceará.

Os intervalos com as cotas dominantes espacialmente na BH, são os de 300 a 400 m, seguidos por 400 a 500 m, que abrange os pediplanos desenvolvidos pelas ações do clima semiárido, por meio da erosão paralela e fluvial, sobre rochas relativamente menos resistentes e/ou que não foram soerguidas. As áreas mais rebaixadas estão nos fundos dos vales, por isso a menor cota identificada, 278 m, está no exutório da BH devido ao condicionamento estrutural e ao declive para o fundo do vale do rio Poti.

Com base no mapa 4, detectou-se que 44,76% do relevo da BH é plano, 37,59% é suave ondulado, 6,56% é ondulado, 4,17% é fortemente ondulado, 0,53% é montanhoso e 6,36% fortemente montanhoso. Tais declividades centram-se em lugares particulares visto que as áreas planas e suaves onduladas vigoram nos fundos dos vales e nos pediplanos, enquanto as demais estão associadas aos interflúvios que são as áreas mais elevadas resistentes a erosão diferencial, como maciços residuais e estruturais, bem como cristas e *inselbergs*.



Mapa 5 – Distribuição das classes de declividade do relevo da BH do rio Santa Cruz, Sertões de Crateús/CE-BR.



Mapa 6 – Tipos de relevos presentes na BH do rio Santa Cruz, Sertões de Crateús-CE/Brasil.

A BH detém relevos distintos decorrentes da variabilidade (paleo) climáticas, de rochas cristalinas, de deformações crustais, da exumação e da pediplanação da superfície ao longo do tempo. A compreensão desta dimensão da paisagem depende do entendimento alguns

aspectos litoestruturais (mapa 2), climáticos e geomorfológicos, como a altimetria (mapa 1) e a declividade (mapa 5), para subsidiarem as interpretações dos agentes e processos construtores do modelado atual ou pretérito. Isto posto, identificou-se seis formas de relevos (mapa 6) que são apresentados e descritos a seguir.

Planície Fluvial – relevos planos e lineares existentes nos fundos de vales onde há o predomínio dos processos de agradação fluvial sobre o de erosão (figura 6). Estão presentes sobre quase todas as cotas altimétricas, porém surgem em relevos com declividades que possibilitem a deposição de sedimentos fluviais nas bordas dos rios e riachos (0 a 8%). Apresentam dimensões (largura, comprimento e espessuras) e geometrias variadas segundo as especificidades do canal fluvial, material sedimentar, posição do relevo que ocupa e do fluxo hidrossedimentológico do rio.

Pediplanos – superfícies planas ou suave onduladas desenvolvidas entre cotas de 286 e 450 metros de altitude e com declividades variantes entre 0 a 8% (figuras 2, 3, 4 e 5). São produtos das coalescências de pedimentos gerados pelo recuo paralelo das vertentes em climas áridos ou semiáridos e, habitualmente, comportam *inselbergs* e lajedos ou são intercalados ou circundam os maciços residuais e estruturais.

Maciços Residuais – elevações de rochas do cristalino provenientes de dobramentos ou falhamentos. São relevos dissecados e que sofreram, significativamente, com o recuo paralelo de suas vertentes sob clima secos e parte de sua altitude sob climas úmidos pretéritos (figuras 2 e 4). Estabelecem-se entre 450 a 600 m de altitude com topos convexados e encostas convexas, côncavas ou escarpadas, frequentemente, possuem caos de blocos em suas vertentes e topos. Detêm declividades que variam de sua base ao topo (8% a mais de 75%) e exibem características morfológicas que denotam sua residualidade, como fragmentação de suas estruturas e dissecações diferenciadas.

Maciços Estruturais – são altos topográficos de rochas cristalinas estabelecidas entre 450 a 900 m de altitude inseridas no pediplano e apresentam declividades entre 8% a mais de 75%, conforme a sua altura e modelado. Destacam-se por serem relevos com topos convexos ou planos e alongados; e com vertentes côncavas ou escarpadas, em razão de falhas, diques e fraturas em sua litoestrutura (figuras 3 e 4). Tais relevos têm sido esculpturados por ações erosivas dada às altas declividades que possui e há atuação do recuo paralelo de suas vertentes que criam depósitos coluvionais delgados em sua base, mas mantém sua altitude.

Cristas – relevos topograficamente positivos e lineares gerados pelas ações de falhamentos, diques de rochas ácidas, resistentes ao intemperismo, sob influência de erosão em clima árido e semiárido (figuras 5 e 8). Emergem como elevações lineares no pediplano, exibindo topos rochosos e encostas côncavas com presença de depósitos coluvionais na base, causados pelo recuo paralelo das suas vertentes. Ocorrem sobretudo na cota altimétrica de 300 a 350 metros, com aclives superiores de 20% na sua base e superiores a 75% no seu topo.

Inselbergs – elevações monolíticas graníticas dispostas de N-S, provenientes da erosão diferencial de monogranitos da intrusão plutônica estabelecida na ZCT (figura 7). Apresentam-se em cota altimétrica de 350 metros, declividades superiores a 45% e com superfície modelada pela fragmentação e pela dissolução, sobretudo, nas intrusões máficas.



Figura 2 – Sede do Município de Independência assentada sobre o pediplano e bordejada por planícies fluviais.
Fonte: Marcela Torres Teixeira (2012).



Figura 3 – Pediplano e os maciços estruturais do leste da BH do rio Santa Cruz, Sertões de Crateús-CE/Brasil.
Fonte: Marcela Torres Teixeira (2012).



Figura 4 - Vista panorâmica sobre o açude Barra Velha, visualizando a inundação de toda a planície fluvial deste setor, e apresentando o pediplano e os maciços residuais e estruturais. Fonte: Marcela Torres Teixeira (2012).



Figura 5 -Visão de parte do pediplano do médio e baixo curso da BH, ao fundo, uma crista quartzítica.



Figura 6 - Planície fluvial do médio curso degradada e manejada para a agricultura de sequeiro (2019).



Figura 7 - Pedra Lisa: *inselberg* granítico que desponta em meio ao pediplano (2019).



Figura 8 – Crista condicionada por falha no baixo curso do rio Santa Cruz, Sertões de Crateús-CE/Brasil (2020).

Analisando-se os mapas 1, 4 e 5, percebe-se que as hipsometrias e as declividades demonstram os recuos das vertentes ou descontinuidade de relevos elevados que anteriormente contíguos, em razão das atuações de processos erosivos, e sob influência de tectônicas ruptural (fraturas e falhas), geraram os maciços residuais que exibem feições morfoesculturais (aflorentamentos rochosos, pavimento detrítico, caos de blocos e outros) relacionadas ao clima semiárido.

A maior cota altimétrica presente na BH se encontra na extremidade leste (Serra do Belém) e a menor altitude está na foz, a 60,05 km, em linha reta. Ambas estão quase no mesmo alinhamento, sugerindo a possibilidade das influências de sistemas distensivos nessa formatação e na geração de vales incisivos na extremidade leste, onde há as serras do Belém e do Tecelão.

Notou-se que tanto a hipsometria quanto as declividades são inferiores, a partir da intrusão granítica da ZCT, porque é uma área condicionada significativamente, por falhas e fraturas que favorecem uma maior dissecação do relevo. Neste âmbito, as áreas com influências das estruturas dúcteis, constituídas por granitos despontam em meio ao pediplano como colinas ou *inselbergs*, uma vez que são mais resistentes aos processos denudacionais.

Os mapas 1, 2 e o 4 também auxiliam no entendimento da organização da rede de drenagem que detém vários padrões e dos percursos que os rios fazem na BH. Quanto a isso, o rio Santa Cruz desenvolve várias inflexões na sua rede de drenagem, pois ao longo de todo o seu curso segue trechos com direção ora sudeste, ora nordeste ou leste condicionados pela maior ou menor resistência do material litológico (maciços residuais) e estruturas tectônicas do terreno.

Tais mudanças de direções deve-se às ações de fraturas, falhas e da ZCT que criaram altos topográficos geralmente lineares com topos convexos que orientaram a calha fluvial. Reintegra-se que parte destes relevos sofreram ações dissecativas, alguns foram desmembrados e sofreram também com os recuos paralelos das vertentes, portanto, formando maciços residuais poucos elevados (menores de 100 metros).

Vale destacar que a maioria dos cursos fluviais de 3^o ordem que drenam 2/3 (da parte central a norte) da BH estão orientados para o sudoeste em razão das elevações presentes a nordeste e leste da aludida. Os rios que dissecam as paisagens limiars sul e sudeste da BH estão orientados de SE-NO, por estarem condicionados pelos sistemas distensivos que possuem conformação análoga as dos supracitados.

A vegetação é um elemento a ser considerado na estabilidade e no modelado dos relevos semiáridos, visto que as chuvas torrenciais ativam a morfogênese, via deflúvio, especialmente nas porções declivosas que costumam estar pouco vegetadas e com solos desprotegidos. Assim sendo, as áreas descobertas ou fitodesestabilizadas, possuem afloramentos rochosos expostos ou susceptíveis às ações fluviais ou de encostas que atuam na sua esculturação e na geração de sedimentos com diferentes granulações.

4.3.4 Características vegetacionais e suas vinculações paisagísticas

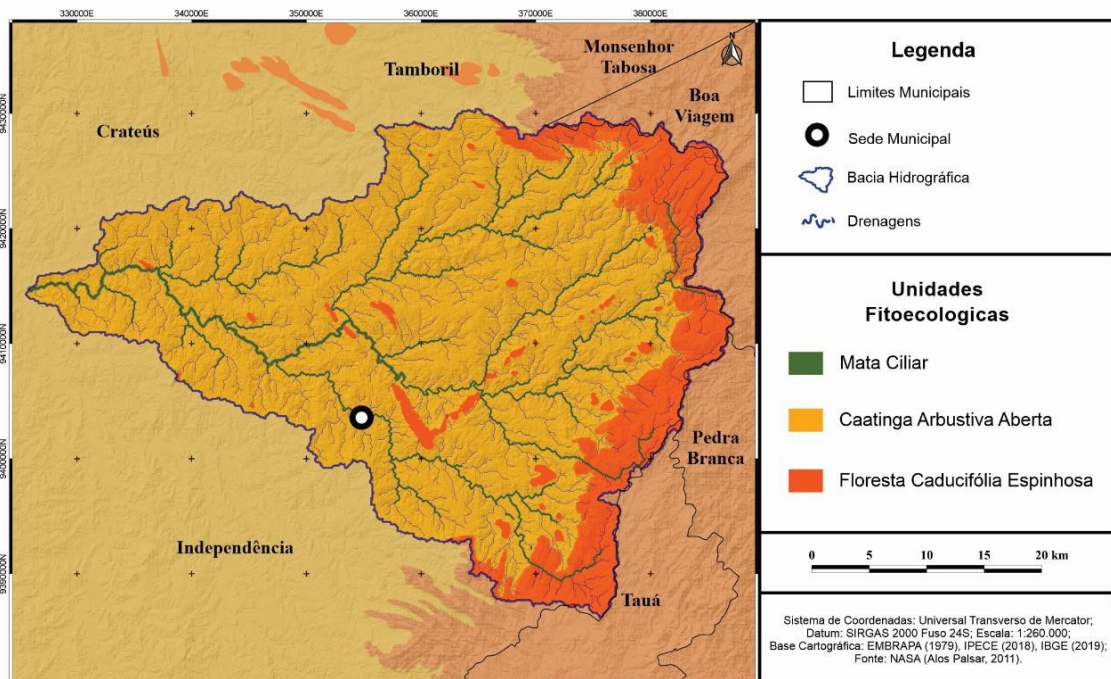
Com relação à vegetação da BH do rio Santa Cruz, é classificada como Caatinga, que é a vegetação dominante no Nordeste brasileiro, em virtude da ocorrência do clima, preponderantemente, tropical quente semiárido, que condiciona os demais componentes das paisagens nordestinas. O termo Caatinga é oriundo da língua indígena tupi (LOIOLA; ROQUE;

OLIVEIRA, 2012), significando *Ka'a* (mata) e *Tinga* (branca), sendo entendido como mata branca.

As espécies vegetais são caducifólias, algumas espinhosas, com caules e galhos com colorações claras para aumentar seu albedo, diminuindo assim a sua temperatura e evapotranspiração. As folhas geralmente são pequenas ou médias para evitarem perdas hídricas, o aquecimento do vegetal e proteger-se das ações eólicas no período estio (MAIA, 2010, GOMES, 2015). Tais condições são indispensáveis para habitarem as regiões semiáridas e subúmidas secas, sobretudo nos longos meses de estios do ano.

Ceará (1997) é a obra com a melhor representatividade de espacialização das unidades fitoecológicas cearenses. Com base nesta obra, a BH discutida comporta três classes, demonstradas no mapa 6: a) mata ciliar; b) caatinga arbustiva e aberta; e c) floresta caducifólia espinhosa (mapa 7).

A mata ciliar localiza-se ao longo dos rios desenvolvendo em suas planícies fluviais. Caracteriza-se por ser uma mata de maior porte (até 10 m de altura) do que a presente em suas adjacências (4 a 6 m de altura), abrigando espécies arbustivas caducifólias e arbóreas subperenifólias a perenifólias. É responsável pela fixação e formação dos Neossolos Flúvicos oriundos dos sedimentos fluviais numa morfodinâmica ativa na planície fluvial.



Mapa 7 – Unidades fitoecológicas presentes na BH do rio Santa Cruz, Sertões de Crateús-CE/Brasil (2020).
Fonte: Adaptado de Ceará (1997).

Tal mata é composta por espécies vegetais ocorrentes nas demais porções da BH, contudo abriga algumas específicas como: a oiticica (*Licania rígida* Benth), jaramataia (*Vitex gardneriana* Schauer) e muquém (*Albizia inundata* (Mart.) Barneby & Grimes). Em suma, é uma unidade fitoecológica que depende diretamente das características fluviais (solos, umidade e ventos) para sobreviver e se desenvolver em meio ao semiárido cearense.

A caatinga arbustiva aberta ocorre sobre os pediplanos da BH do rio Santa Cruz. Diferencia-se por ser uma unidade composta por espécies, majoritariamente, (sub)caducifólia e de portes arbustivos (menores que 4 m de altura), ou seja, raramente há vegetais arbóreos nesta formação vegetal.

Destaca-se que esse tipo de vegetação é o mais disseminado atualmente e ainda se discute até que ponto é inteiramente natural ou induzida pelo homem (PRADO, 1981; OLIVEIRA, 2002). Mas, há outros autores que justificam sua presença à limitação de desenvolvimento por diversas condições ecológicas como solos rasos, pedregosos, baixa e irregular distribuição pluviométrica (PRADO, 2003).

As principais espécies que compõem essa unidade fitoecológica são: pereiro (*Aspidosperma pyriforme* Mart.), mandacaru (*Cereus jamacaru* DC.), xique-xique (*Pilosocereus gounellei* (F.A.C. Weber) Byles & Rowley), mofumbo (*Combretum leprosum* Mart.), Peão-bravo (*Jatropha mollissima* (Pohl) Baill.), canafistula (*Senna spectabilis* var. *excelsa* (Schrad.) H. S. Irwin & Barneby), sabiá (*Mimosa Caesalpiniiifolia* Benth.), jurema preta (*Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir) e jurema branca (*Piptadenia stipulacea* (Benth) Ducke).

A floresta caducifólia espinhosa unidade florística situada nas áreas mais elevadas da BH (maciços), cujo porte florestal é o arbóreo (maior que 4 m, alcançando facilmente 8 m), sendo representada por árvores (sub)caducifólias e por uma perenifólia (juazeiro - *Ziziphus joazeiro* Mart.) com troncos lenhosos e claros.

Situam-se nas porções mais elevadas das paisagens em razão da maior umidade relativa e por estas possuem algumas manchas de solos mais espessos e propícios para o seu desenvolvimento. Ademais, são áreas em que o ser humano tem limitações para degradar em função das declividades do terreno e acessos, mas, quando alcança, a degradação se manifesta em fisionomia arbustiva-arbórea espaçada.

As principais espécies arbóreas oriundas da floresta caducifólia espinhosa são: embiratanha (*Pseudobombax marginata* A. St. - Hil.), faveleiro (*Cnidocolus quercifolius* Pohl), emburana de espinho (*Commiphora leptophloeos* (Mart.) J. B. Gillet), ipê (*Tabebuia*

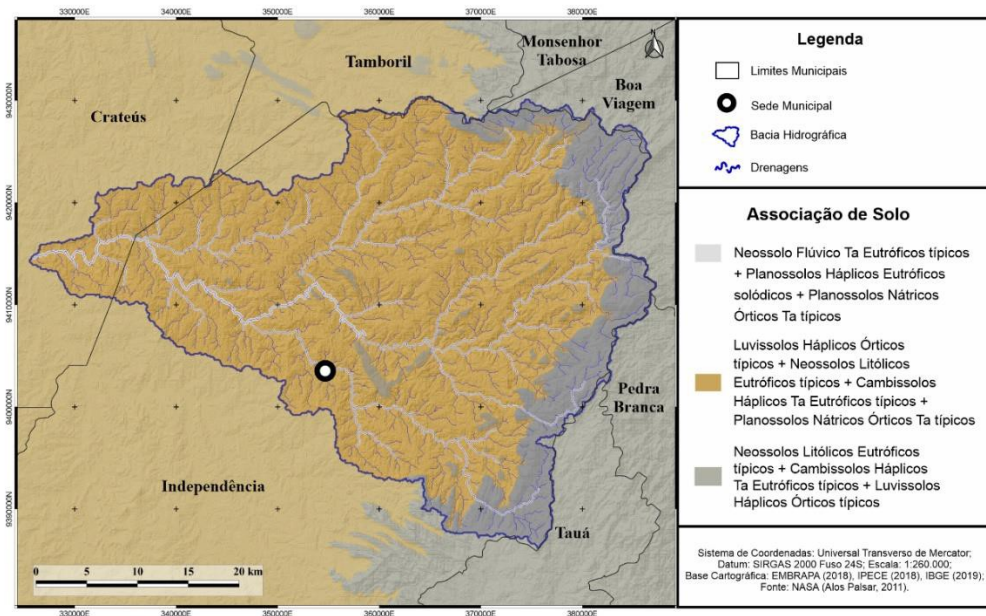
Sp.), aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Allemão), ameixa (*Ximenia americana* L.) e juazeiro (*Ziziphus joazeiro* Mart.).

4.3.5 O Sistema Pedológico das Paisagens da BH do rio Santa Cruz

O sistema pedológico, dada à dimensão da BH do rio Santa Cruz, varia conforme as unidades de paisagem que coincidem com as geomorfológicas, ou seja, há uma variação de totalidades cujo arranjos de seus elementos ambientais são diferenciados e expressam-se sua fisionomia. Sendo assim, os solos, enquanto elemento paisagístico, respondem as tais diferenciações.

Embora haja a complexidade citada, os aspectos pedológicos da BH examinada ainda não são plenamente conhecidos. O trabalho com maiores informações é Brasil (1973) que, embora utilize uma escala de 1:600.000, oferece subsídios para uma nova reclassificação, a partir de Santos *et al.*, (2018) e adaptação de suas informações e dados. Cabe mencionar, que os solos encontrados na BH do rio Santa Cruz estão em associações, devido à escala do levantamento pedológico (mapa 8).

Um dos tipos de solos encontrados na BH analisada são os Neossolos Flúvicos Eutróficos típicos que estão nas adjacências dos rios (planícies fluviais). São solos profundos (espessuras superiores a 2 metros), eutróficos, com textura arenosa ou franco arenosa, com estruturas em blocos angulares e subangulares, alta porosidade total, densidade partícula próxima a 2,65 que reflete a sua constituição, primordialmente, arenoquartzosa (BRASIL, 1973). São, geralmente, formados por horizonte Ap e camadas C1, 2C2, 3C3, 4C4 e 5C5. Não descartando a possibilidade de horizontes transicionais nos casos em que houve intensa atividade pedoturbadora. Além disso, habitualmente estão associados aos Planossolos Háplicos ou Nátricos.



Mapa 8 – Associações de Solos na BH do rio Santa Cruz-CE/Brasil.

A associação de Luvisolos Háplicos Órticos típicos, Neossolos Litólicos Eutróficos típicos, Cambissolos Háplicos Ta Eutróficos típicos e Planossolos Nátricos Órticos Ta típicos abrange todo o pediplano presente na área de estudo. Tais solos estão associados no espaço e suas ocorrências dependem dos arranjos dos elementos naturais em cada contexto. Os Neossolos Litólicos e os Cambissolos Háplicos costumam ser rasos (menores que 50 cm de espessura), enquanto os demais atingem facilmente 1 m de espessura, moderadamente espessos a profundos (BRASIL, 1973).

Todos os solos citados são eutróficos, porém, no caso dos Planossolos Nátricos, habitualmente, possuem uma quantidade significativa de sais, despontando como uma limitação química dos referidos. A macroporosidade não costuma ser acentuada, mas a microporosidade é mais elevada em razão dos horizontes iluviais (BRASIL, 1973).

As densidades de partículas estão próximas a 2,65, indicando a expressividade do quartzo neste solo. Esses solos são sujeitos à erosão hídrica, por conta do horizonte iluvial (Bt) que reduz a infiltração ao longo do perfil, favorecendo o escoamento superficial em caso de chuvas torrenciais fortes.

A outra associação de solos é constituída por Neossolos Litólicos Eutróficos típicos, Cambissolos Háplicos Ta Eutróficos típicos e Luvisolos Háplicos Órticos típicos. A diferença com relação à associação anterior é a maior ocorrência dos Neossolos Litólicos que se associam com os afloramentos rochosos nos pediplanos e nas escarpas dos relevos dissecados. Logo, seus

atributos físico-químicos são relativamente similares e, portanto, não descritos, a fim de evitar prolixidade informativa, visto que já foi discorrido.

Em suma, a maioria dos solos presentes na BH apresentam entre 50 a 110 cm de espessura, muitos minerais primários, pavimento detrítico, resultante da erosão laminar e deflações do material fino (silte e argilas). Isto, resulta em uma superfície difícil de ser labutada, oferecendo limitações físicas à agropecuária. Além disso, a pouca espessura desses solos repercute diretamente sobre a sua capacidade de armazenamento de água, que logo é perdida por conta das altas taxas de evapotranspiração, conseqüentemente, os vegetais tendem a murchar e perderem suas folhas.

4.3.6 Classes de cobertura e evolução espaço-temporal dos usos da terra (1985-2019)

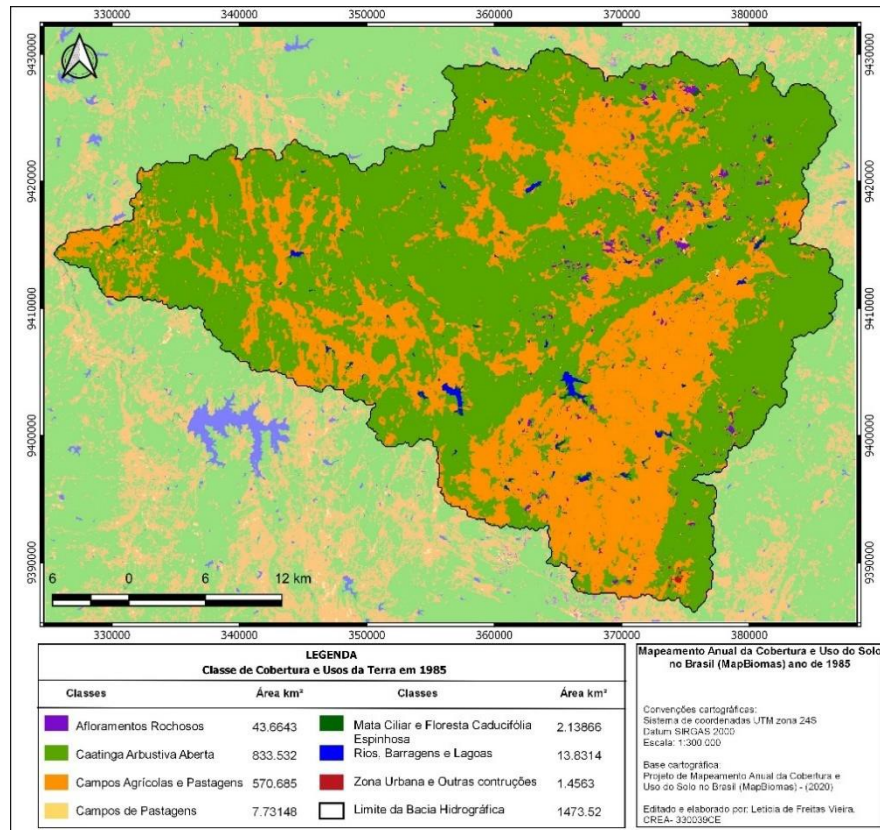
A ocupação do território analisado principiou-se após o século XVII (IBGE, 1959; MOTTA, 1987), ocupando inicialmente os fundos dos vales da BH, pelas condições biofísicas favoráveis (água, solos, mata, microclima e acessibilidade) e nos pediplanos em razão de terrenos planos ou suave ondulados com potenciais agrícolas e para pastagens, como também por sua contiguidade com as planícies fluviais.

As áreas elevadas foram menos ocupadas se comparadas com as demais unidades de paisagens por oferecerem limitações (declividade acentuadas, afloramentos rochosos, dificuldade de acesso e mobilidade de pessoas, bens e serviços) para o desenvolvimento agrícola e para a criação de gado. Mesmo assim, houve o uso exaustivo de seus recursos naturais, com destaque para a sua vegetação e seus solos.

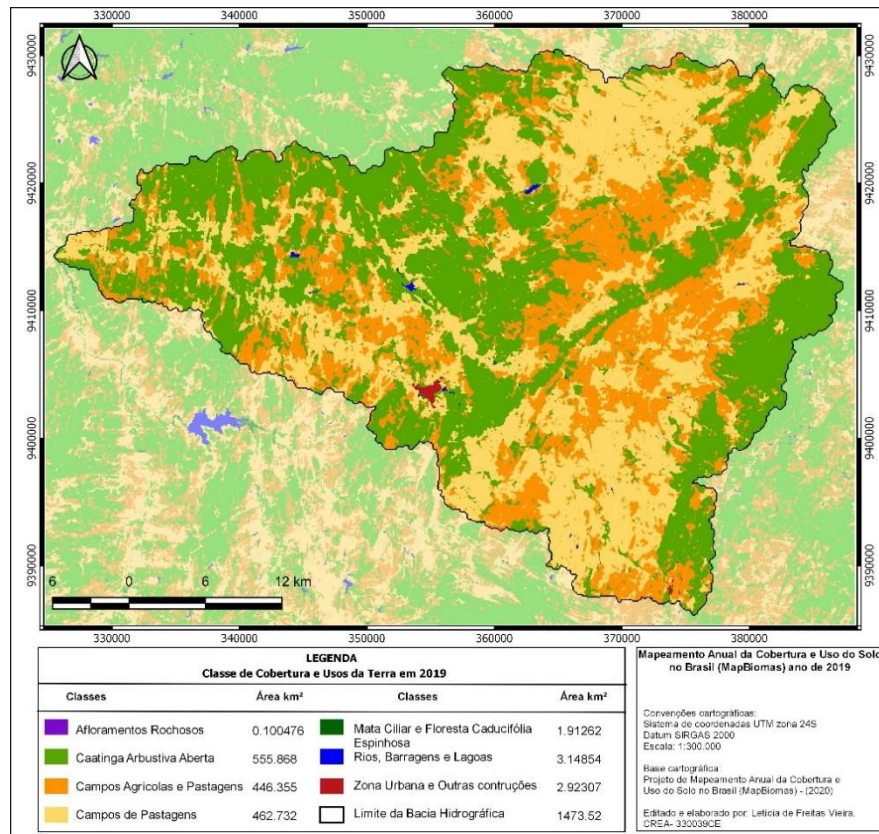
Por séculos, a distribuição fundiária na área de pesquisa era concentrada nas mãos de senhores de escravos e, posteriormente, por coronéis. Tal característica deixou implicações socioambientais visíveis até o presente, ilustrado pela concentração das terras sob famílias específicas, na formação do núcleo urbano e das vilas distritais, bem como na distribuição das áreas mais ou menos usadas/ocupadas da BH.

Sobre a BH estão assentes os distritos de Ematuba, Independência e Jandrangoeira que surgiram e evoluíram a partir de fazendas de gado. Isto posto, de acordo com os mapas 9 e 10, percebe-se que os espaços mais utilizados são os de Jandrangoeira e de Independência (polígonos amarelo e alaranjado próximos as bordas leste e sudeste da BH), por serem áreas secularmente concentradas nas mãos de três famílias. Estas terras foram e são ocupadas para fins agrícolas e para a criação de gado. Além disso, o potencial ecológico, acessibilidade e proximidades com o centro urbano também corroboraram para essa ocupação.

Com o transcorrer dos anos, as famílias foram aumentando e segmentando-se, repercutindo na distribuição fundiária. Atualmente, o módulo fiscal do município de Independência é de 80 ha e a BH contém majoritariamente pequenas e médias propriedades, segundo a classificação da Lei 8.629, de 25 de fevereiro de 1993.



Mapa 9 – Classes de Cobertura e Usos da Terra da BH Santa Cruz em 1985.



Mapa 10 – Classes de Cobertura e Usos da Terra da BH Santa Cruz em 2019.

Com base nos mapas 9 e 10 e nos trabalhos de campo, detectou-se que os espaços das planícies fluviais ou perpendicularmente às estradas e/ou paralelamente as elevações foram e são os mais explorados. As vias pavimentadas ou carroçais são atualmente os principais vetores para a ocupação do território, por isso há os acréscimos de espaços usados nos setores norte e oeste da BH, onde é possível identificar faixas amarelas e alaranjadas que indicam campos agrícolas e de pastagens.

Os mapas 9 e 10 demonstram que houve uma vasta expansão do uso no centro-norte da BH, notadamente para fins de pastagem. Isso ocorreu porque essas áreas possuem planícies fluviais estreitas e com maior potencial para pastagens em virtude dos solos rasos e afloramentos rochosos. Portanto, diferindo da situação da porção centro-oeste da BH.

Ao analisar, especificamente, as classes de cobertura e os usos da terra, entre 1985 e 2019 (mapas 9 e 10) e com base nos trabalhos de campo, identificou-se que alguns afloramentos rochosos foram considerados em espaços onde há manchas pedológicas com assinaturas espectrais e cores semelhantes aos afloramentos, portanto implicando no superdimensionamento das suas áreas espaciais em 1985, porém houve seu decréscimo em 2019 em razão do aperfeiçoamento das imagens de satélites e de suas análises.

Embora as áreas dos afloramentos rochosos tenham diminuído de 43.6643 km² para 0.1004 km², entre 1985 e 2019, na realidade houve o aumento dessas em decorrência dos desmatamentos e ao manejo irregular da terra que desencadearam a expansão da erosão sobre os solos rasos e a consequente exumação das rochas. Os dados não atestam isso por conta da resolução espacial das imagens que empregam e porque há indícios de falhas na classificação, apesar de ter sido aprimorada.

A caatinga arbustiva aberta é a vegetação dominante na área pesquisada e, em 1985, abrangia um espaço aproximado de 833.532 km², porém foi degradada para a criação de campos agrícolas, pastagens, construção de estradas, barramentos e das habitações. Nessa perspectiva, em 2019, sua representatividade caiu para 555.868 km², sinalizando o alargamento das atividades produtivas, caráter exploratório e insustentável de seus recursos naturais perante a ausência de manejo florestal conservacionista.

Os campos agrícolas e pastagens diminuíram de 570.685 km² para 446.355 km², pois os espaços agrícolas foram degradados e/ou abandonados devido às dificuldades logísticas, às secas e ao êxodo rural, tornando-se campos de pastagens para pecuária, caprinocultura e ovinocultura extensiva de corte. Tal dado, desperta a preocupação relacionada à degradação ambiental e à ausência de políticas públicas que fomentem a produção e o manejo sustentável desses espaços semiáridos.

Afinal, o abandono de campos agrícolas e sua conversão em pastagem geralmente indica perda do potencial produtivo da paisagem que geram prejuízos socioambientais, comprometendo a soberania alimentar, a elevação da pobreza, a migração populacional da zona rural para a urbana, a ativação de uma série de problemas sociais e entre outros.

Os campos de pastagens especializavam-se por 7.7314 km² em 1985, contudo sofreram um incremento substancial para 462.732 km² em 2019. Acredita-se que o valor inicial foi subestimado, tendo em vista que a área foi secularmente ocupada para fins da criação de gado, sendo que as primeiras fazendas desenvolviam essa atividade conjuntamente com a agricultura de subsistência. Apesar do manejo pecuarista ser extensivo, não demandava necessariamente desmatamentos das matas porque o gado vivia em meio a caatinga.

Quanto à elevação da área de campos de pastagens em 2019, há consonância com a realidade porque antigas áreas com matas foram suprimidas e os campos agrícolas foram abandonados pela sua degradação e/ou dificuldade de exercer a agricultura tradicional no semiárido. Ademais, há atração que o centro urbano exerce sobre as populações rurais que

visam melhores condições de bem-estar (alimentação, saúde, renda, segurança, educação, boas condições de trabalho e entretenimento). Porém, acredita-se que parte de seus espaços agreguem campos agrícolas também pela limitação da técnica.

A mata ciliar e floresta caducifolia espinhosa teve uma retração de 2.1386 km² para 1.9126 km² durante os anos analisados. Com os trabalhos de campo, verificou-se que inicialmente ocupava uma vasta área englobando partes dos topos dos maciços estruturais e todas planícies fluviais. Entretanto, em razão do seu potencial madeireiro e por ocuparem espaços adequados para a agricultura temporária ou anual, foi desmatada e seus espaços convertidos em campos agrícolas e pastagens ao longo de toda a ocupação da BH.

Nesses termos, sua representatividade em 1985 não representa sua totalidade, mas seu fragmento que continua sendo degradado até o presente. Destaca-se que a classe examinada congrega, sobretudo, porções das matas ciliares, pois a fração presente nas elevações foi destruída, restando algumas espécies arbóreas que sinalizam a transformação paisagística.

A classe rios, barragens e lagoas teve uma retração apreciável de 13.8314 km² para 3.1485 km². Contudo, esses valores estão subestimados porque foram construídas o açude Barra Velha (99.500.000 m³) e diversos microbarramentos, em razão da política de açudagem cearense e da expansão da ocupação da BH a partir de 1980. Desse modo, houve o crescimento dos espaços utilizados para as construções de microbarramentos que são as principais fontes hídricas dos sertanejos que habitam difusamente o território. Ademais, considerando a escala do mapeamento e a resolução das imagens de satélites, percebe-se que a maioria dos rios/riachos e algumas lagoas não foram devidamente apreciadas, logo não repercutindo diretamente para o incremento da área da classe.

Tratando da categoria zona urbana e outras construções, observou-se a elevação de seus espaços que passou 1.4563 km² para 2.9230 km². A adição da classe está relacionada à expansão urbana da sede de Independência, de sedes distritais e da exposição de manchas de solos com assinaturas espectrais similares as das telhas das casas. Por isso, há manchas desde 1985 na extremidade sudeste da BH, onde não há zona urbana, vila ou aglomerado de construções, mas habitats difusos em meio ao semiárido. Não obstante, é uma classe que, ao somar-se com as demais, sinaliza a expansão do uso da terra de modo acentuado e desordenado.

4.4 Considerações finais

Nas análises realizadas, verificou-se que a BH está majoritariamente situada no território de Independência-CE, concentrando um percentual de 93,75% da sua rede de

drenagem. Esta se encaixa nos substratos do embasamentos pré-cambrianos que implica na quantidade de nascentes (cerca de 736), nos padrões de drenagens (paralelo, dendrítico e em treliça), na morfologia do perfil longitudinal e transversal.

A BH está orientada de leste para oeste devido à tectônica ruptural (falhas, fraturas e cisalhamentos) que geraram o vale do rio Poti. O quadro geológico do espaço da BH possui diversas deformações atreladas ao Ciclo Orogenético Brasileiro que foi o maior evento deformacional registrado até o momento na área. Por isso, há o predomínio de granitóides, migmatitos, gnaisses, xistos e várias estruturas rúpteis e dúcteis em seu espaço, expostas na superfície devido aos processos denudacionais.

A complexidade paisagística da área deve-se parcialmente às ocorrências de vários processos geológicos vinculados a agradação, erosão, dobramentos, distensão, tensão, cisalhamentos, intrusão de magma e outros ao longo de sua formação que remonta ao Pré-Cambriano que criaram a distribuição dos litotipos na BH, evoluindo-se até o Holoceno.

O clima tropical quente semiárido presente na BH é caracterizado por chuvas torrenciais, têmporo-espacialmente irregulares e temperaturas médias anuais elevadas. As atuações dos sistemas atmosféricos criam paisagens semiáridas com morfologias específicas e condicionam as características dos demais elementos naturais, como o modelado, os solos e vegetações que, por sua vez repercutem sobre o sistema de drenagem e seus constituintes.

O regime pluviométrico é influenciado pelo efeito orográfico dos maciços residuais e estruturais porque, em suas adjacências, há menores valores de precipitações médias anuais. O clima atual favorece a dominância da termoclastia e recuo lateral dos relevos, embora há evidências de dissolução nas rochas e no modelado que denota herança de clima pretérito mais úmido.

Evidenciou-se que o modelado da área de estudo é influenciado pelas estruturas litológicas que foram exumadas e esculpturadas ao longo do tempo geológico. Presentemente, suas morfologias são derivadas das inter-relações entre as ações climáticas e o substrato rochoso, criando distintas formas de relevos como: os maciços residuais, estruturais e *inselbergs* ou as áreas rebaixadas, os pediplanos e planícies fluviais que evidenciam as ações esculpturais do clima semiárido sobre litotipos variegados.

As hipsometrias e as declividades sugerem que as rochas cristalinas presentes nos pediplanos apresentaram poucas diferenciações de resistências frente à pediplanação, visto que não há mudanças bruscas na topografia que é basicamente plana a suave ondulado. As maiores

elevações estão relacionadas as ações de falhas de cavalgamentos presentes na extremidade leste e na porção central da BH. Os vales fluviais são habitualmente largos e sem encostas declivosas que reforça a perspectiva de que é um modelado que sofreu aplainamento expressivo.

Os solos são eutróficos, rasos, pedregosos e com rochósidades e distribuem-se segundo as unidades de paisagem da BH em razão das complexas inter-relações dos elementos e processos paisagísticos. A ocorrência de rochas ígneas e metamórficas ricas em minerais primários submetidos ao clima atual e com as atuações dos organismos viabilizam as características pedológicas citadas.

Os solos mais desenvolvidos são aqueles presentes nas planícies fluviais, Neossolos Flúvicos e Planossolos Háplicos, por estarem em setores com constantes agradações fluviais, e também os Luvisolos Crômicos e Háplicos por sua vinculação com rochas metamórficas com significativa quantidade de minerais primários máficos. Esses são susceptíveis a oxidação e liberam os óxidos que conferem as cores vermelho-amareladas nos solos.

Já os Cambissolos e os Neossolos Litólicos distribuem-se sobretudo sobre os setores mais secos e com rochas isotrópicas com constituições mineralógicas félsicas (plagioclásios, quartzos e moscovitas). Por isso, frequentemente exibem colorações cremes e estão associados aos afloramentos rochosos graníticos ou de outros granitóides. Ademais, ocorrem massivamente em meio aos calhaus e matações presentes nas encostas das elevações, como os maciços referidos.

No âmbito vegetacional, além das três unidades fitoecológicas, notou-se que há a vegetação hiperxerófila nas paisagens saprolíticas e/ou onde os solos são rasos e degradados. A distribuição da vegetação está orientada de acordo com os condicionamentos ambientais, por isso a floresta caducifólia espinhosa e as matas ciliares representam as unidades com espécies de porte arbóreo, mas que se localizam onde os solos são desenvolvidos e/ou nas áreas com maiores umidades.

A análise das classes e tipos de uso da terra de 1985 e 2019 indicaram alterações paisagísticas expressivas, notadamente no que tange aos aumentos dos desmatamentos para obtenção de recursos naturais e utilização de seus espaços para agricultura e pastagem que tende a ocupar quase todas a BH. A pastagem foi a classe e tipo de uso que mais cresceu devido à degradação das áreas agricultáveis associadas com as limitações da produção de sequeiro relacionadas às secas e falta de estímulos para o setor.

A floresta caducifolia espinhosa foi a vegetação mais degradada na área estudada e muitas de suas espécies foram conservadas nas matas ciliares. O acréscimo dos afloramentos rochosos e da zona urbana e outras construções estão vinculadas à elevação de suas áreas em razão da degradação dos solos rasos, ao crescimento urbano e de outras construções (fazendas, barragens, estradas etc.). Ademais, esboçam dados com imprecisões técnicas por considerarem áreas com exposições pedológicas como afloramentos rochosos ou como áreas onde há construções/zona urbana.

Verificou-se também a elevação na área ocupada pelos corpos hídricos, produtos da política de açudagem no Ceará desde 1980 e pela modificação da estrutura fundiária que dividiu as propriedades, viabilizando os usos de novas terras, com isso houve a construção generalizada de microbarramentos na BH.

5 ANÁLISE MORFOMÉTRICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SANTA CRUZ-SERTÕES DE CRATEÚS/CEARÁ-BRASIL

5.1 Introdução

O Nordeste do Brasil contém várias Bacias Hidrográfica (BH) com fisiografias diversificadas que implicam diretamente nas dinâmicas ecológicas e socioeconômicas da região. Assim, muitos estudos foram construídos com o objetivo de maximizar a compreensão dos aspectos fisiográficos das BH e suas influências nas atividades socioeconômicas (SOUSA; PAULA, 2016; QUEIROZ *et al.*, 2017; GOMES, 2015; SILVA; FURRIER, 2019). No entanto, a temática demanda por novas contribuições científicas, para acessar questões relacionadas a origem, morfologia, estrutura, evolução e uso das paisagens.

A multidimensionalidade de uma BH requer o desenvolvimento de pesquisas integradas associadas às abordagens qualitativas e quantitativas. Por meio deste último, o é realizado o estudo das características morfométricas que podem evidenciar a integração, a continuidade, a sinuosidade, a assimetria, os ângulos de junções e a tropia da rede de drenagem (SOUSA: OLIVEIRA, 2017). Com a análise qualitativa desses dados, é possível ampliar o entendimento da sua conformação espacial e das inter-relações funcionais estabelecidas entre seus elementos ambientais, especialmente, no que tange a sua evolução vinculada aos eventos (neo)tectônicos, intempéricos e erosivos,

Nesta perspectiva, a compreensão do panorama morfométrico das BH permite a reconstituição do arcabouço estrutural, evidenciando as influências de falhamentos, foliações, fraturas, dobras geradas ao longo da história geológica e de estruturas dificilmente identificadas em campo (ANDRADES FILHO; ROSSETTI, 2015). Desse modo, pesquisas quantitativas em BH são largamente empregadas por geomorfólogos, engenheiros hidráulicos e demais pesquisadores ligados às ciências ambientais.

Ademais, estes estudos podem ser utilizados por comitês de BH para gerir e planejar os usos múltiplos das águas e do território, de forma a contribuir para a eficiência da conservação ambiental, sustentabilidade das atividades sociais e ordenamento territorial. Portanto, configuram-se como subsídios estratégicos em prol do desenvolvimento sustentável e mitigação das situações de vulnerabilidade socioespacial, êxodo rural e entre outros.

Neste estudo, elegeu-se a BH do rio Santa Cruz, na Microrregião de planejamento intitulada Sertões de Crateús, no centro-oeste do Ceará, como objeto desta pesquisa. Esta escolha deu-se pela escassez de estudos na temática para a área, que apresenta elementos

paisagísticos representativos no âmbito semiárido nordestino e por deter uma complexa litoestrutura cristalina composta por lineamentos capazes de influenciar o modelado e sua rede de drenagem.

Portanto, este trabalho parte da hipótese de que a BH citada apresenta uma rede de drenagem com diversas características morfológicas influenciadas, sobretudo pela litoestrutura que, por sua vez, condicionou os processos erosivos na BH. Isto posto, objetivou-se realizar uma análise quali-quantitativa da rede de drenagem da BH do rio Santa Cruz para examinar as suas inter-relações com os elementos paisagísticos que atuaram na sua fisionomia e espacialização.

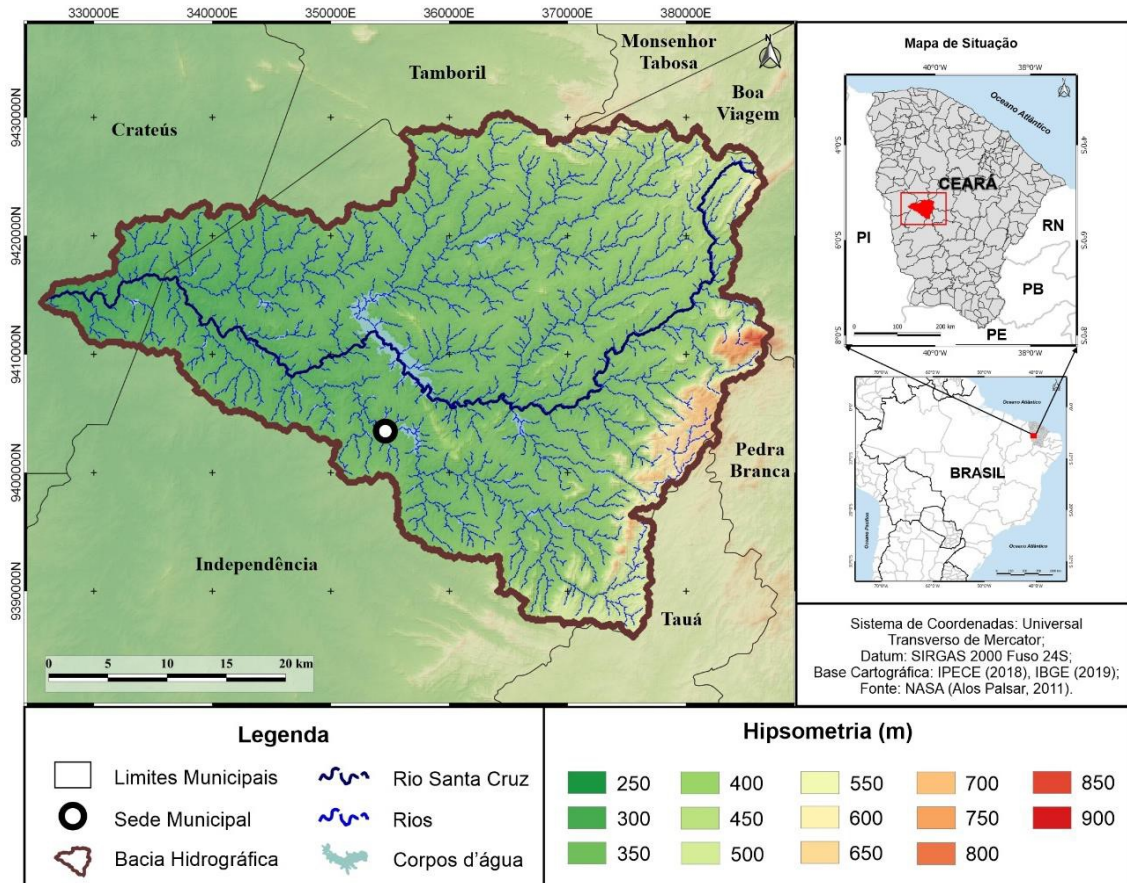
5.2 Metodologia

5.2.1 Localização e caracterização da BH do rio Santa Cruz-Sertões de Crateús, CE/Brasil

A BH do rio Santa Cruz está situada no centro-oeste do Ceará/Brasil, na Microrregião dos Sertões de Crateús (Mapa 1 e Figura 9). Trata-se de um tributário importante do alto curso da BH do rio Poti, que desagua no rio Parnaíba no Piauí/Brasil. Além disso, encontra-se na porção Setentrional da Província da Borborema, no Domínio do Ceará Central, composto pelos Sistemas de Dobramentos Rio Curu-Independência (FORGIARINI; BRAGA, 2011).



Figura 9 - Vista panorâmica da BH do rio Santa Cruz observada sobre o *inselberg* chamado Pedra Lisa em Independência/CE



Mapa 1 – Mapa de Localização e Hipsométrico da BH do rio Santa Cruz, Sertões de Crateús, CE/Brasil.

Geologicamente, o substrato rochoso é formado por um mosaico de 12 unidades litológicas com granitos, migmatitos, calcários, mármore, quartzitos, xistos, gnaisses pegmatitos, diabásios com cronologias que remetem ao Pré-Cambriano (PINÉO *et al.*, 2018). Essas rochas estão dispostas diferenciadamente no espaço, em razão dos seus fatores formativos e da dinâmica tectônica ao longo do tempo geológico.

O clima atuante na área é classificado como tropical quente semiárido, caracterizado por chuvas torrenciais com distribuição espaço-temporal irregulares e concentradas entre os meses de janeiro a abril. Sua média pluviométrica anual é de 608,4mm, temperaturas médias entre 26°C a 28°C, insolação anual superior a 2000 horas associada às altas taxas de evapotranspiração (IPECE, 2017; SILVA; OLIVEIRA, 2018), que contribui para a situação de estiagem durante oito meses do ano.

Os pediplanos com cotas altimétricas entre 300 a 278 metros são predominantes na configuração geomorfológica da BH do rio Santa Cruz, seguidos de maciços cristalinos estruturais e residuais que alçam até 900 metros, planícies fluviais, cristas e *inselbergs* - Pedra Lisa e Pedra do Mocó (MAIA; BEZERRA, 2014; GOMES; PAIVA; OLIVEIRA, 2017;

SILVA; OLIVEIRA, 2018). Desses relevos, os únicos com litologias sedimentares são as planícies, com cronologias Holocênicas, os demais são resíduos das ações intempéricas e erosivas sobre as rochas ígneas e metamórficas.

A vegetação é caducifólia ou xerófila, espinhosa e com portes variados, sendo representada pela caatinga arbustiva aberta, vive sobre os pediplanos; a floresta caducifólia espinhosa, recobre os maciços estruturais e residuais; a mata ciliar, que está presente nas planícies fluviais (CEARÁ, 1997; GOMES; PAIVA; OLIVEIRA, 2017); e a vegetação xerófila situa-se sobre os lajetos, cristas, campos de matacões e *inselbergs*.

A partir da reclassificação dos solos de Brasil (1973) empregando Santos *et al.* (2018), detecta-se que os solos variam conforme a diversidade paisagística da BH, por isso há: Neossolos Litólicos Eutróficos típicos; Cambissolos Háplicos Ta Eutróficos típicos; Luvisolos Háplicos Órticos típicos, Planossolos Nátricos Órticos Ta típicos; Planossolos Háplicos Órticos Ta típico e Neossolos Flúvicos Ta Eutróficos típicos.

A variabilidade de elementos paisagísticos implica nos múltiplos usos de seus recursos naturais. Dessa maneira, as principais atividades socioeconômicas desenvolvidas na BH são: a agricultura de sequeiro, pecuária extensiva de corte, caprinocultura, ovinocultura, extração vegetal e argilominerais, extração de rochas ornamentais e rochas para calçamentos (IPECE, 2017). Além disso, são construídas barragens ao longo dos rios, chamadas, respectivamente de barreiros e açudes, os quais são os principais reservatórios hídricos em meio a semiaridez. Vale frisar que atividades socioeconômicas indicadas não são realizadas empregando práticas de manejo conservacionista, o que compromete a eficiência dos serviços ecossistêmicos e a manutenção das paisagens.

5.2.2 Métodos procedimentais

Para fins da compreensão espacial e modelagem geométrica da BH do rio Santa Cruz, inicialmente foram selecionadas imagens obtidas pelo sensor *Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar* (PALSAR) a bordo do satélite Alos, com pixel de 12,5m, disponibilizados pelo *Alaska Explore*. Em seguida, empregou-se o *software TerraViewHidro 0.4.5* para preencher possíveis vazios de dados (oriundos do procedimento de obtenção das imagens), delimitação da área da BH e extração dos rios.

As direções das drenagens da BH também foram examinadas integradamente com as densidades de lineamentos derivados de estruturas rúpteis e dúcteis da área, para tanto esses foram identificados e delimitados, manualmente, a partir dos procedimentos de Rodrigues e

Maia (2019). Com isso, foram feitos o Modelo Digital de Elevação – MDE e os sombreamentos das oitos angulações azimutais principais da imagem citada (0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270° e 315°) com iluminação entre 30° a 45°.

Todos os dados vetoriais foram exportados para o SPRING 5.5.2, no qual subdividiu-se as densidades de lineamentos em cinco classes: baixa (0 até 0,01), baixa moderada (0,02 até 0,83), média (0,84 até 1,65), alta moderada (1,66 até 2,46) e alta (2,47 até 3,28). Estimou-se também as frequências absolutas e as orientações dos rios, que foram agrupados em *trends* direcionais apresentados no diagrama de roseta segundo orientações de Silva e Maia (2017) e Rodrigues e Maia (2019). Já as informações litoestruturais da área de pesquisa são oriundas de Forgiarini e Braga, (2011) e Pinéo *et al.* (2018).

Posteriormente, foram analisadas imagens óticas do *Google Earth* dos últimos três anos com o intuito de analisar as morfologias dos rios e riachos, suas distribuições e identificar estruturas litológicas locais e regionais para aumentar a eficiência dos trabalhos de campo e conferir se os dados e informações geradas nesta pesquisa estavam aproximadas com a realidade terrestre.

A partir disso, foram selecionados, aplicados e estimados os índices morfométricos, abaixo, através do acesso às características da paisagem dentro do *software QGis* 3.14. Esses índices foram sugeridos por Horton (1945); Schumm (1956, 1963), Strahler (1957), Christofolletti (1979; 1981; 1999) e Queiroz *et al.* (2017), em virtude de serem eficazes nos seus propósitos e vastamente utilizados e consolidados na literatura científica e técnica.

Isto posto, foram eleitos e usados os seguintes indicadores morfométricos que descrevem as características geométricas, do relevo e da rede de drenagem da BH do rio Santa Cruz:

- a) **Área (Abh)** – É projeção horizontal da BH definida após ser estabelecido seu perímetro, isto é, toda a área ocupada pela rede de drenagem;
- b) **Áreas Laterais da BH** – Aferida dos cálculos das áreas de dois polígonos criados a partir da divisão da BH em duas partes, esquerda e direita do rio principal;
- c) **Perímetro (P)** – Corresponde ao comprimento da linha que envolve o limite da BH;
- d) **Eixo axial (L)** – Segmento linear de maior extensão entre a foz e o ponto mais longínquo da BH;

- e) **Hierarquização fluvial** - Strahler (1957) determina um modelo de classificação hierárquica dos canais fluviais de uma rede de drenagem, este procedimento está implementado no *QGis*;
- f) **Número de canais** – Quantidade de canais fluviais identificados de uma BH;
- g) **Comprimento total dos canais** – Somatório dos comprimentos de todos os rios e riachos;
- h) **Comprimento médio dos canais (Lmc)** – É a média aritmética obtida a partir da razão entre os somatórios dos comprimentos de todos os rios (ΣL) e do número total de rios da BH (ΣNn), expresso na seguinte fórmula: $Lmc = \frac{\Sigma L}{\Sigma Nn}$;
- i) **Comprimento do rio principal** – Trata-se do comprimento com origem na nascente até a foz do rio principal de uma BH;
- j) **Densidade de drenagem (Dd)** – Correlaciona os comprimentos totais dos rios com a área da BH, sendo expressa em km/km^2 pela seguinte equação: $Dd = \frac{\Sigma L}{Abh}$, onde ΣL é o somatório dos comprimentos totais dos rios e Abh é a área da BH. Carvalho e Silva (2020) estabelecem os seguintes parâmetros: a) drenagem pobre – $Dd < 0,5$; b) drenagem regular – $0,5 \leq Dd < 1,5 \text{ km}/\text{km}^2$; c) drenagem boa – $1,5 \leq Dd < 2,5 \text{ km}/\text{km}^2$; d) drenagem muito boa – $2,5 \leq Dd < 3,5 \text{ km}/\text{km}^2$; e, e) excepcionalmente bem drenada – $Dd \geq 3,5 \text{ km}/\text{km}^2$;
- k) **Extensão do percurso superficial (Eps)** – É a distância média que um fluxo hídrico percorre para chegar a um canal fluvial, sendo calculado por meio de $Eps = \frac{0,5}{Dd}$;
- l) **Número de nascentes** – Corresponde ao número de rios de primeira ordem;
- m) **Densidade hidrográfica ou de rios (Dr)** - Índice que correlaciona o número de rios com a área da BH, cuja fórmula é $Dr = \frac{Nr}{Abh}$, onde Nr é o número de rios e Abh é a área da BH;
- n) **Índice de sinuosidade (Is)** – Trata-se da relação entre o comprimento do canal principal com a sua distância vetorial. Indica a curvatura do rio e subsidia o entendimento da velocidade do escoamento do canal analisado. A fórmula desse índice é: $Is = 100 \frac{(L-Lt)}{Lt}$, na qual L é o comprimento do rio principal e o Lt é o comprimento do talvegue (eixo em linha reta entre nascente e a foz do rio). Quando o valor é próximo de 1, significa que o canal é retilíneo, porém valores superiores a 2 denotam um canal tortuoso e os transicionais podem ser regulares ou irregulares (LANA; CASTRO; ALVES, 2001);
- o) **Índice de rugosidade** – Relação entre a amplitude altimétrica da BH com a sua densidade de drenagem. Calculado a partir de: $Ir = \Delta H.Dd$, na qual ΔH é a amplitude altimétrica entre a nascente.

- p) **Índice de compacidade ou Índice de Gravélius (Kc)** – Relaciona o perímetro da BH com outra de mesma área, mas com formato circular, representando um número adimensional. Deste modo, valores entre 1 a 1,25 sugere que a BH é relativamente circular e está susceptível a enchentes. A fórmula empregada para obtenção deste índice foi: $Kc = 0,28 \cdot \frac{P}{\sqrt{Abh}}$;
- q) **Índice de circularidade (Ic)** – Relaciona a área da BH com a área de um círculo com mesmo perímetro. É calculado a partir de: $Ic = 12,57 \cdot \frac{A}{p^2}$. Destaca-se que para Müller (1953) e Schumm, (1956), uma BH com índice de 0,51 possui nível moderado e não é propícia a inundações decorrentes de enchentes, já valores inferiores sugerem que a referida é alongada e possibilita um bom escoamento superficial, enquanto valores superiores ao citado indicam que a BH é circular e propensa aos efeitos de inundações e enchentes rápidas;
- r) **Coefficiente de manutenção (Cm)** – Indica a área mínima para manutenção de 0,001km de um canal de escoamento, calculado pela expressão: $Cm = \frac{1}{Dd} \cdot 1000$;
- s) **Fator Forma ou Índice de conformação (Ic)** – Demonstra a relação entre a área da BH com o seu comprimento axial. Utilizado para substanciar interpretações sobre a possibilidade de enchentes e inundações quando seu valor for próximo ou igual a 1 e sendo matematicamente expresso por: $Ic = \frac{Abh}{L^2}$;
- t) **Amplitude altimétrica (ΔH)** - Variação altimétrica entre a nascente e a foz do rio, expressa na seguinte fórmula: $\Delta H = H_{nas} - H_{foz}$, onde H_{nas} é a cota altimétrica da nascente do rio e H_{foz} é a cota altimétrica de sua foz;
- u) **Gradiente altimétrico, Relação Relevo ou Declividade (De)** – Mensura a inclinação média entre dois pontos ao longo de um rio e que subsidia a compreensão da velocidade do escoamento fluvial. $De = \frac{\Delta H}{L_{rio}}$, no qual L_{rio} é o comprimento em planta do curso fluvial;
- v) **Altitudes máxima e mínima do canal principal** – Cotas altimétricas máxima e mínima de um canal principal.

5.3 Resultados e discussões

A partir das análises, a nascente do rio Santa Cruz foi identificada na serra do Salgado, Boa Viagem/CE, entre as localidades de Balança e Aniceto a 522 m de altitude. Sua foz encontra-se na extremidade oeste da BH, na fazenda Lagoa dos Pintos – Crateús/CE, onde deságua no rio Jucás a 278 m, com 244 m amplitude topográfica.

No Mapa 1, é possível observar a considerável variação das cotas altimétricas entre os setores leste e oeste da BH, que compreenderem, respectivamente, os maciços estruturais e pediplanos. Essa configuração é refletida no perfil longitudinal do rio Santa Cruz, em que os seus primeiros 11,9 km (10,4%) dissecam relevos com 522 m a 400 m de elevação, contudo, o curso fluvial diseca majoritariamente pediplanos, 73,8 km (64,3%), com elevações entre 400 m a 300 m, enquanto cerca de 29,2 km (25,4%) do curso fluvial, diseca cotas entre 300 a 278 m. A seguir, é exposta a Tabela 1, com os resultados das estimativas e índices aplicados para fins de estudo da BH aludida.

Com base na delimitação e nos cálculos do perímetro, no comprimento axial e na área da BH do rio Santa Cruz (Tabela 1), detectou-se que o primeiro mede 292,84 km, o segundo tem de 61,02 km comprimento e seu sistema de fluvial drena uma área de 1.473,52 km², em que sua área lateral direita tem 784,05 km² e a esquerda 689,47 km². A BH supracitada abrange parcialmente os territórios dos Municípios de Independência (1.381,487 km²), Crateús (80,390 km²), Boa Viagem (6,666 km²), Tamboril (2,207 km²), Tauá (1,639 km²), Pedra Branca (1,132 km²) e Monsenhor Tabosa (0,001 km²).

Dados Morfométricos da Bacia Hidrográfica Sta. Cruz	
Índices Morfométricos	Resultados
Altitude Máxima	522 m
Altitude Mínima	278 m
Amplitude Altimétrica	244 m
Área da Bacia	1.473,521km ²
Área Lateral Direita da BH	784,050 km ²
Área Lateral Esquerda da BH	689,472 km ²
Perímetro	292,845 km
Ordem da Bacia Hidrográfica	6°
Comprimento Axial da Bacia	61,02 km
Fator Forma ou Coeficiente de Conformação da BH	0,395
Comprimento Total dos Canais	1.459,359 km
Comprimento do Canal Principal	114,679 km
Comprimento Médio dos Canais	1,465 km
Número de Canais	996

Número de Nascentes	736
Densidade de Drenagem	0,990 km/km ²
Gradiente do Canal Principal ou Relação do Relevo	2,13%
Extensão do Percurso Superficial	504 m
Densidade de Rios	0,67 canais/km ²
Índice de Sinuosidade	1,87 km/km ⁻¹
Índice de Rugosidade	241,63 m
Índice de Compacidade	2,136
Índice de Circularidade	0,215
Coefficiente de Manutenção	1009,79 m ² /m ⁻¹

Tabela 1 – Resultados dos índices morfométricos aplicados na BH do rio Santa Cruz, Sertões de Crateús-CE/Brasil.

Esses dados indicam que os espaços drenados pela BH estão concentrados nos Municípios de Independência e Crateús (Sertões de Crateús), que comportam os maiores comprimentos dos rios e a foz. O primeiro comporta 93,75% da área da BH, que drena 42,92% do seu território municipal, e o segundo possui 5,45% da supracitada, que ocupa 2,692% do território crateuense. A baixa expressão espacial da BH nos demais municípios deve-se ao fato desses estarem nas suas áreas limítrofes e concentrarem os interflúvios, locais em que predominam as nascentes dos rios, diferentemente dos demais expostos.

Com a hierarquização dos cursos da drenagem da BH estudada, segundo Strahler (1957), identificou-se 996 rios e riachos, dentre os quais 736 são de primeira ordem, 189 são de segunda, 53 são de terceira, 13 são de quarta, 4 são de quinta e 1 é de sexta ordem. Ressalta-se que o comprimento médio dos rios é de 1,465 km, logo os canais que possuem habitualmente essa métrica caracterizam os riachos de primeira ordem.

Os dados acima demonstram que o rio Santa Cruz, ao chegar à sexta ordem, representa 0,10% desse segmento, e os riachos de primeira e segunda ordens são os mais abundantes, representam respectivamente 73,89% e 18,97%, em um total de 92,87% dos canais fluviais identificados. Os dados também atestam uma situação natural e habitual, visto que as BH com padrões de drenagem dendrítica, como as existentes na região Nordeste do Brasil, apresentam elevados números de riachos de primeira e segunda ordens.

Isso ocorre porque são pequenos canais criados pela declividade da superfície, falhamentos, fraturamentos, foliações ou diques nas rochas cristalinas impermeáveis que

condicionam o escoamento superficial e as incisões erosivas locais. Essas são frequentemente formadas nos interflúvios ou nas suas proximidades, onde as vertentes são mais declivosas e acentuam a densidade de drenagem neste setor, portanto influenciando diretamente no elevado número de nascentes efêmeras ou intermitentes, 776, da BH.

Ao somar-se todas as extensões dos rios e riachos da BH, obteve-se como resultado 1.459,35 km, portanto o comprimento de todos os canais é 1.351,2% maior que o do rio principal. Tal resultado é importante para compreender a dimensão longitudinal total das interconexões da rede drenagem e serve para avaliar o quanto a rede fluvial ou os efeitos erosivos podem crescer em um determinado período temporal seja por uma evolução natural ou artificial.

Os rios e riachos pluviais são frequentemente efêmeros ou intermitentes e submetidos às enchentes sazonais, vinculadas às chuvas torrenciais típicas do clima atuante na área. Costumam ter suas margens entre 1 m a 20 m, e profundidade entre 0,50 m a 2,5 m, influenciados por características como: a) resistência que as rochas cristalina apresentam diante da corrosão fluvial; b) intensidades irregulares das vazões dos cursos hídricos; c) relevo ser majoritariamente plano, minimizando uma dissecação pronunciada do curso hídrico; e d) as águas que ocupam as planícies fluviais chegam a criar novos canais e diminuem a corrosão hídrica no canal principal durante as enchentes.

Com base na hidrografia, constatou-se que os canais fluviais possuem morfologias variadas ao longo de seus trajetos, o que pode resultar em segmentos retilíneos, irregulares, curvilíneos ou características análogas as dos rios anastomosados. Essas estão relacionadas às especificidades da litoestrutura, às vazões fluviais, à dinâmica hidrossedimentológica do sistema fluvial, à presença ou ausência de vegetação ou mesmo intervenções antrópicas nos canais e/ou em suas planícies de inundações.

A maior parte do relevo condiciona as gerações de fluxos de escoamento fluviais laminares, porém devido às enchentes, às profundidades dos rios e riachos, à existência de blocos rochosos e de vegetação dentro ou nas margens dos canais, ocorrem fluxos turbulentos em diversos setores dos cursos hídricos. Os obstáculos citados repercutem ainda na sedimentação do leito fluvial, ao influenciar a formação de sistemas de deposição em depressão e soleiras (*pool-riffle*) e na formação de barras arenosas e rudáceas (*braid bars*) orientados conforme a direção do fluxo.

Com as expedições de campo, aferiu-se que os sedimentos dos canais fluviais são granodrecrescentes ascendentes, constituídos pelas frações arenosas (grãos de quartzos, moscovita, feldspatos e restos de materiais orgânicos), rudáceos (fragmentos de granitos, gnaisses, migmatitos ou quartzos). Isto ocorre em razão da disponibilidade de minerais ou rochas silicáticas na BH, além da atuação do intemperismo físico em escala regional e de torrentes hídricas com energia cinética suficiente para transportar esses sedimentos por arraste e saltação ao longo dos perfis longitudinais dos rios.

A fração coloidal é pouco expressiva, em relação aos demais citados, nos depósitos dos canais fluviais. Essa situação ocorre porque as argilas são transportadas em suspensão na água desses ambientes de alta energia, precipitando-se nos fundos dos cursos somente quando o escoamento desacelera e em áreas com acúmulo de água, como nas depressões e/ou barramentos artificiais. Em decorrência disso, as gretas de contrações/rachaduras apenas poderão ser observadas nessas áreas durante o período estio.

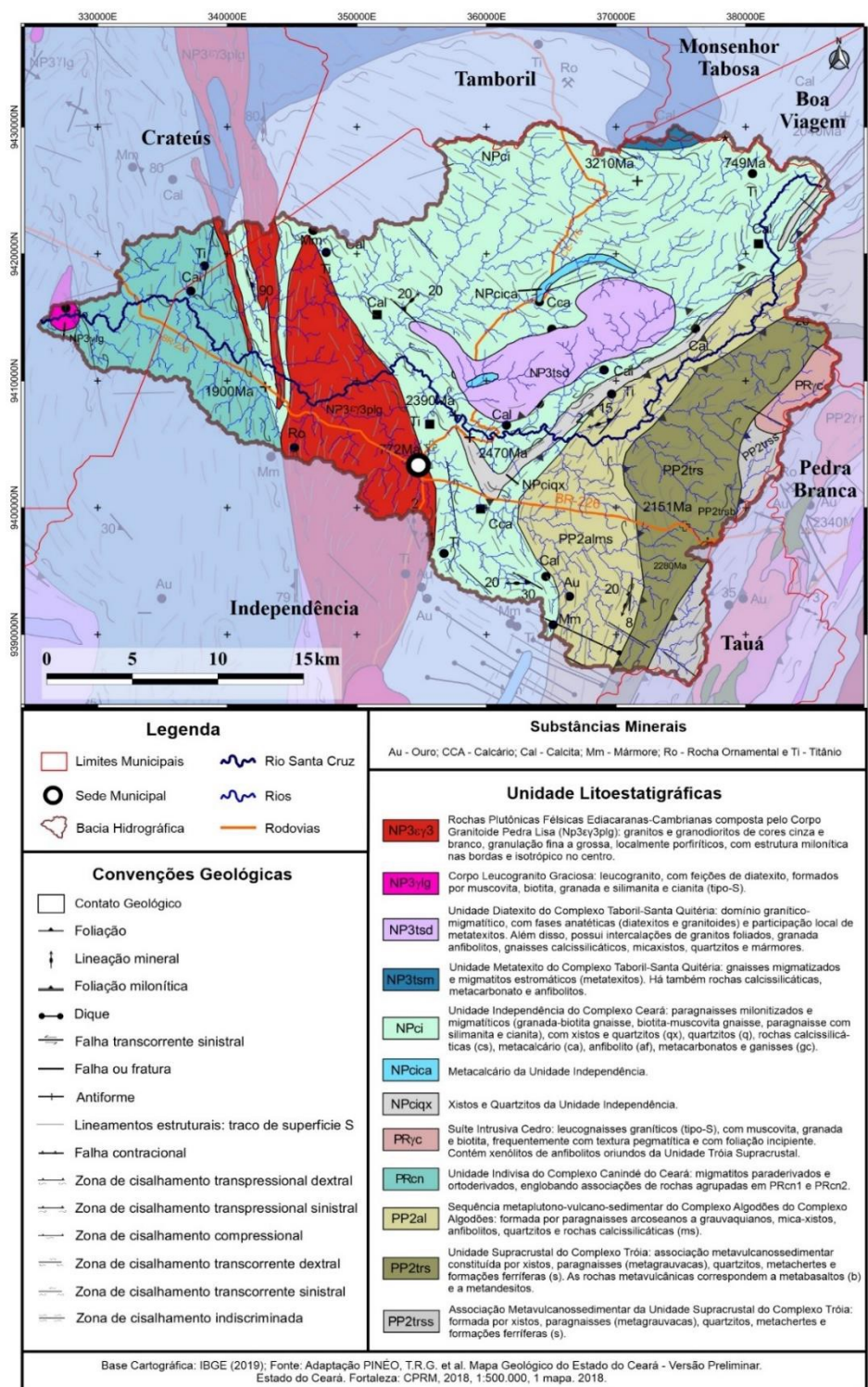
No que tange à morfometria do canal principal, constatou-se que esse mede, por meio da detecção automática, 114,679 km longitudinalmente, da sua nascente até sua foz endorreica no rio Jucá em Crateús-CE. Ao longo de sua extensão, o rio principal recebe várias denominações pelas localidades drenadas, a citar: riacho Batente, da Várzea da Cacimba, da Santa Cruz, Independência, do Juá, da Regalia, do Gado, do Adão e Cupim. Dessa maneira, adotou-se, para fins deste estudo, a denominação do rio principal como rio Santa Cruz, por esta ser a mais conhecida do curso fluvial tratado.

Embora alguns nomes façam referências a um riacho, ele é entendido como um rio, em virtude de suas qualidades morfométricas serem relativamente superiores aos dos demais. Nesses termos, pode ser considerado um riacho apenas nos seus primeiros quilômetros, próximos as suas nascentes, em que detém menos de 5 metros de largura e menos de 2 km de comprimento.

Ao analisar o trajeto longitudinal do rio principal, foram observadas inúmeras sinuosidades, dentre as quais há oito inflexões que reorientam o seu curso. Geralmente, as flexuosidades fluviais são decorrentes da combinação de vários elementos paisagísticos como o substrato geológico, o clima, o relevo, os solos, a vegetação e atividades faunísticas e sociais, todavia, no caso em apreço, são derivadas dos aspectos litoestruturais da BH examinada.

Isso é comprovado quando se examina o Mapa 2 e nota-se que as mudanças direções/inflexões ocorrem quando o rio está sobre ou próximo a fraturas, falhas, foliações ou

mudanças no substrato rochoso, dessa forma orientando-se segundo as disposições dos lineamentos. Diante disso, os demais elementos paisagísticos influenciam secundariamente ou pontualmente em determinados setores longitudinais e em alguns perfis transversais do rio.



Mapa 2 – Mapa Geológico da BH do Rio Santa Cruz – Sertões de Crateús/CE-Brasil. Adaptado de Pinéo *et al.* (2018).

Ao observar o gráfico 2, nota-se que o perfil longitudinal côncavo do rio indica que a área não possui *knick-points* apreciáveis ao longo do rio, sinalizando que possivelmente a área é tectonicamente estável e não exibindo vestígios morfológicos de reativações neotectônicas. Além disso, a superfície foi significativamente aplainada, denotando as influências dos agentes externos no modelado que atuaram na redução gradativa declividade ao longo do canal.

As litologias cristalinas apresentaram variações de resistências ao intemperismo e à erosão, afinal o gráfico 2 mostra que os primeiros 10 km, engloba o setor mais elevado e constituído por rochas migmatíticas, miloníticas, xistos e quartzíticas da unidade NPci submetidas às ações de falhas transcorrentes.

Posteriormente, a linha do perfil está abaixo da linha de tendência em razão do condicionamento do vale devido aos dobramentos (antiformes), foliações, efeitos das falhas cavalgantes, zonas transpressionais e da litologia menos resistentes (xistos, paragnaisse arcossianos, anfíbolitos e quartzitos) da unidade PP2al. Em seguida, as linhas do gráfico 2 intercedem-se sobre a suíte granítica da ZCT (NP3εγ3), onde cria largas planícies de inundações e uma relativa estabilidade no que tange à agradação e à erosão do canal.

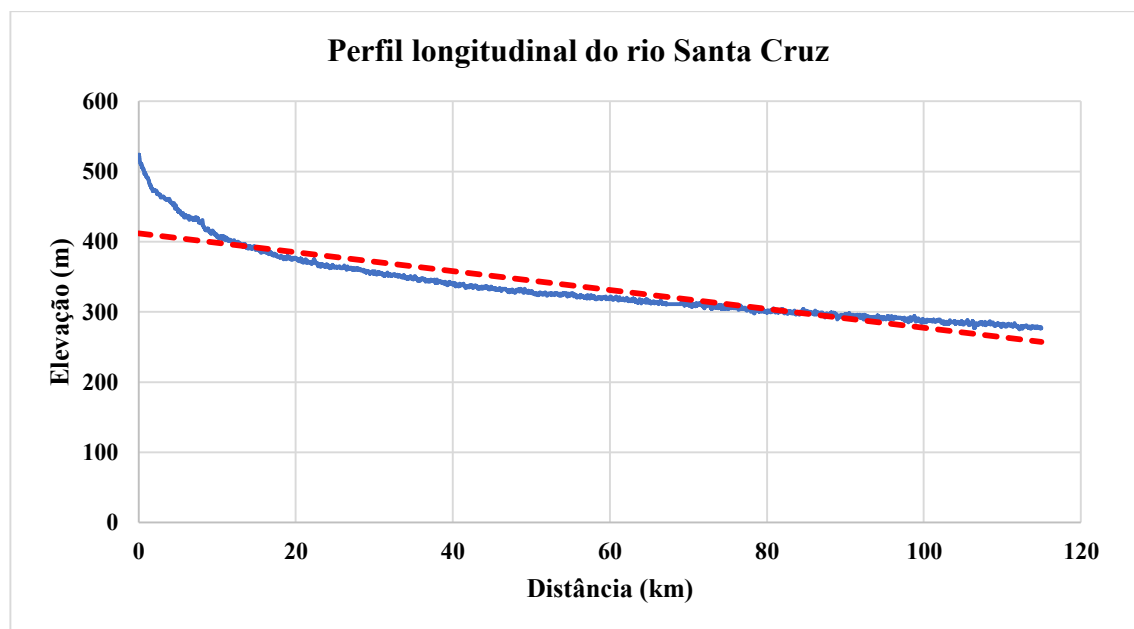
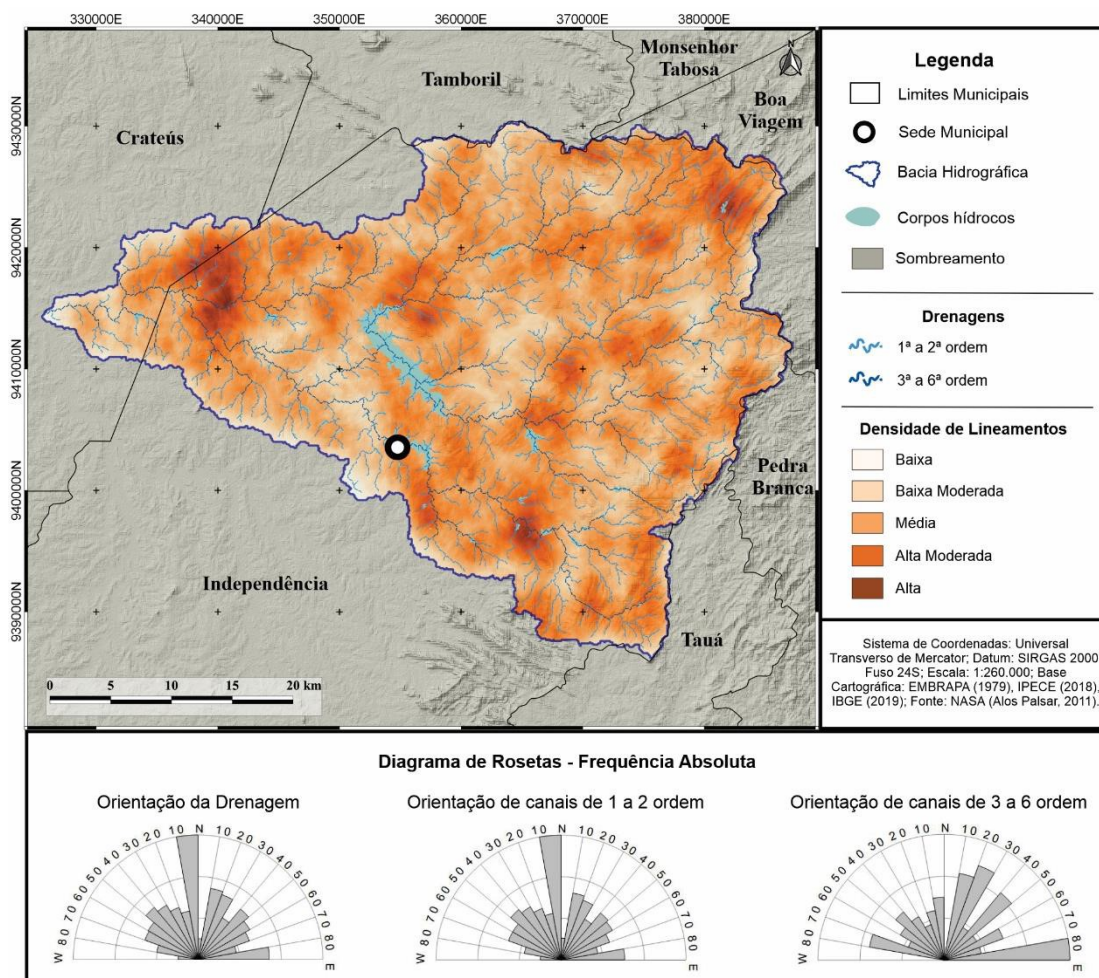


Gráfico 2 – Perfil Longitudinal do rio Santa Cruz (linha azul) e linha de tendência de melhor ajuste (linha pontilhada vermelha).

Após isso, a linha do rio situa-se sobre a da tendência porque nesta porção espacial há uma zona de falha que propiciou a formação de um dique ácido e, conseqüente, deformação

crustal, portanto, sendo uma área resistente à denudação e mais elevada do que a tendência apresenta.



Mapa 11– Mapa de densidade de lineamentos, das frequências absolutas e orientações das drenagens do BH do rio Santa Cruz, Sertões de Crateús, CE/Brasil.

O Mapa 11 exibe as áreas com maiores e menores densidades de lineamentos resultantes de estruturas dúcteis e rúpteis presente na área pesquisada. Observa-se que as áreas de maiores densidades possuem disposições específicas (N-S, NE-SO, NO-SE) e estão associadas às porções da paisagem onde há, sobretudo, influências dos lineamentos dúcteis ou dúcteis-rúpteis decorrentes de dobramentos, falhamentos e da Zona de Cisalhamento Tauá – ZCT. Por isso, compreende relevos relativamente elevados e que condicionam as maiores concentrações de nascentes, portanto canais de 1º e alguns riachos de 2º ordem. Já as áreas com menores densidades apresentam um relevo aplainado e uma menor presença de nascentes de rios.

Com base nos resultados expostos e nas análises de Araújo *et al.* (2014) e Rodrigues e Maia (2019), verifica-se que a litoestrutura e a morfoestrutura foram condicionados por eventos tectônicos Neoproterozóicos, tendo em vista que a colisão brasileira repercutiu expressivamente para o surgimento das estruturas dúcteis e rúpteis na litoestrutura, como pode ser verificado pela existência de diques ácidos, da intrusão magmática granítica na ZCT ou mesmo nos dobramentos geológicos presentes na extremidade leste da BH (mapa 2). Sob ações intempéricas e erosivas, as referidas são exumadas e apresentam fisionomias diferenciadas por sua forma e elevação na paisagem.

Ao examinar-se a frequência absoluta e as orientações das drenagens expressas no primeiro diagrama de roseta, nota-se que suas variáveis são correlatas com as apresentadas no diagrama que trata das orientações dos canais de primeira e segunda ordens. Este comportamento ocorre em virtude da quantidade de canais dessas ordens na BH, implicando diretamente no resultado geral e mascarando os dados dos canais de terceira e sextas ordens que são menos abundantes.

A partir das rosetas do mapa 11, constata-se que o *trend* N-S é o que detém maior expressividade, seguido pelo NE-SO, NO-SE e E-O. O primeiro *trend* é o mais frequente em razão dos números de canais de primeira e segunda ordens que a BH possui, do basculamento da margem direita da BH para o Sul, por ser bordejada por maciços estruturais elevados nas extremidades Leste e Norte, e devido às direções das foliações das rochas que condicionam os canais citados. Assim, esses fatores atuam decisivamente para determinar as frequências e as orientações preferenciais dos cursos de primeira e segunda ordens, conforme pode ser visto no diagrama de roseta no Mapa 11.

Já os *trends* NE-SO, NO-SE e E-O evidenciam o controle morfoestrutural e das drenagens diante da litoestrutura composta por dobras, falhas de cavalgamentos, pela ZCT e pelo cânion do rio Poti cuja expressividade dá-se no âmbito regional. Afinal, esses lineamentos foram desenvolvidos no final do Ciclo Brasileiro e habitualmente atuam no controle estrutural das drenagens do Nordeste brasileiro (MAIA; BEZERRA, 2011; MAIA; BEZERRA, 2014; ARAÚJO *et al.* 2014; SILVA; MAIA, 2017; RODRIGUES; MAIA, 2019).

O controle dessas estruturas é evidente em todos os diagramas de roseta, porém destaca-se no diagrama que apresenta a frequência e as orientações dos canais entre terceira e sextas ordens por serem mais frequentes nas orientações dos *trends* aludidos. Portanto, percebe-se que os lineamentos brasileiros são condicionantes especialmente dos rios acima da terceira

ordem e que os rios com ordens menores tendem a ser controlados pelo basculamento da BH e por algumas foliações.

Ao analisar o perfil longitudinal do rio Santa Cruz, verifica-se que os seus primeiros 9 km, estão orientados de NE-SO em razão da zona de cisalhamento transpressional dextral, contudo essa direção muda para NO-SE, ao longo de 8,12 km, em virtude de uma fratura que corta os lineamentos. Posteriormente, o referido vira o seu curso para NE-SO, por cerca de 23 km, devido ao encaixe entre as zonas de cisalhamentos transpressionais dextral e sinistral e as foliações das rochas. Em seguida, seu curso é reorientado de L-O, por 16,129 km de extensão, condicionado sobretudo pelos falhamentos das zonas de cisalhamentos expostas e por fraturas com estas disposições.

Sucessivamente, o traçado do canal sofre outra variação, com 13 km, para SE-NO devido a uma falha com esta direção e, depois seu trajeto muda para NE-SO, por 11,13 km, novamente devido a fraturas que cortam dois grupos geológicos. Nos 18,3 km seguintes, o rio tem a disposição de para SE-NO em consonância com um falhamento e, finalmente, os últimos 16 km do seu canal está alinhado de L-O em razão de fraturas com essa conformação.

As menores sinuosidades ocorrem devido a falhamentos, fraturas, foliações das rochas, resistência diferencial dessas à erosão, leitos rochosos, variações na declividade do rio, presença ou ausência de vegetações no leito ou nas planícies fluviais adjacentes. Afinal, esses são os principais fatores presentes na BH capazes de reorientar as direções dos cursos fluviais naturalmente.

O clima tropical quente semiárido e o relevo aplainado também influem indiretamente na geração das flexuosidades longitudinais dos rios e riachos, especialmente no rio Santa Cruz, uma vez que as chuvas torrenciais, criam enchentes com alta energia que alagam temporariamente vastas porções do relevo aplainado. Esse pulso altera o equilíbrio do balanço hidrossedimentológico do canal e das planícies fluviais, e pode viabilizar o surgimento de canais duplos, reconfigurar as morfologias dos perfis transversais e pontualmente reorientar as direções longitudinais dos canais existentes.

Apesar de diversidade geomorfológica presente na BH avaliada - pediplanos, maciços estruturais e residuais, planícies fluviais, cristas (IPECE, 2017; GOMES; PAIVA; OLIVEIRA, 2017; SILVA; OLIVEIRA, 2018), seu sistema fluvial está inserido majoritariamente sobre o pediplano. Essa situação repercute no gradiente do canal principal que foi de 2,13%, logo reforçando que o rio está assente sobre um modelado aplainado.

Essa característica auxilia na interpretação do perfil côncavo e na ausência de *knickpoints* acentuados e cachoeiras ao longo do rio principal. Tal característica geomorfológica age nos canais fluviais, por diminuir as ações dissecativas dos rios, possibilitar a ocorrência de sinuosidades, favorecer inundações nas planícies fluviais com baixos gradientes altimétricos (< 2 m) e corroborar para os seus desenvolvimentos.

O resultado da densidade de drenagem foi de $0,99$ km/km², demonstrando uma densidade regular em decorrência da extensão da área que a BH drena, além do número subestimado de canais de primeira ordem, visto que foram identificados somente os riachos acima de 100 metros. Nessa configuração, o valor da Extensão do Percurso Superficial demonstra que um fluxo hídrico percorre cerca de 504 m para chegar ao leito de um rio mais próximo, representando uma métrica aproximada razoável diante da realidade estudada.

Além disso, esse conjunto de informações sinaliza a eficiência da drenagem para o escoamento hídrico, visto que não há áreas pantanosas, apenas algumas pequenas e esparsas lagoas, e os efeitos das enchentes são concentrados ao longo dos canais iguais ou superiores a 4º ordem fluvial, com baixos gradientes altimétricos e declividades.

A densidade dos rios foi estimada em $0,67$ canais/km² o que reforça a condição regular da drenagem, exhibe que há menos de um canal fluvial para drenar um quilometro quadrado e evidencia parte do comportamento do deflúvio sobre no relevo com substrato cristalino e recoberto com solos rasos, como é o caso na área de estudo.

Todavia, é imperativo informar que esse valor é maior na realidade, porém foi subestimado devido a limitações operacionais, como a indisponibilidade de dados com resolução espacial adequados para detectar riachos menores que 100 metros e sem comprometer a ocorrência de ruídos. Logo, o dado demonstra uma aproximação da realidade da BH, compatível para a resolução espacial escolhida para análise.

O resultado de $1,87$ do índice de sinuosidade confirma que o rio principal é significativamente sinuoso, visto que se aproxima de 2. Este valor foi correlacionado também com as tipologias das classificações de Mansikkaniemi (1970) e de Rosgen (1994), enquadrando-se nas classes de muito tortuoso ou muito sinuoso.

Esse atributo é reflexo de um conjunto de fatores que condicionam o trajeto do rio principal, dentre os quais se destacam as fraturas, falhas, diferentes litotipos resistentes à erosão e a condição plana do relevo. Essa subsidia, pontualmente, que o rio desenvolva alguns trechos

curvilíneos ou mesmo um canal duplo nas planícies fluviais em virtude das enchentes e suas implicações na erosão de sedimentos friáveis.

Segundo o índice de manutenção, é necessário um espaço de $1.009,79 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-1}$ para manter um metro de um rio perene. Embora a BH estudada tenha seu substrato composto por rochas cristalinas que favorecem o escoamento superficial, este valor está conectado diretamente à baixa declividade e à sua densidade de drenagem mediana, por isso é preciso uma área de recarga considerável para os rios, assim como para fomentar a renovação e formação de novos canais fluviais.

As cotas altimétricas elevadas na extremidade leste BH interferiram no resultado do gradiente da elevação dessa e conseqüentemente no índice de rugosidade, 241,63 m. Este é expressivo e aponta que a BH tem vertentes longas inclinadas e dissecadas o que favorece o escoamento superficial e a erosão dos solos, embora grande parte do relevo da área seja rebaixado e aplainado (suave ondulado).

No âmbito da caracterização geométrica, auferiu-se o índice de compacidade de 2,136, sinalizando que a BH não é circular, mas alongada e com diminuta suscetibilidade às enchentes causadas por um evento pluviométrico torrencial atuante em toda a sua área e porque o deflúvio percorrerá uma trajetória mais longa até o exutório. O índice de circularidade de 0,215 e o fator forma de 0,395 reforçam a perspectiva anterior ao indicarem a forma alongada e a baixa propensão às enchentes e inundações que a BH dispõe.

Quanto à morfologia alongada da BH, sua disposição espacial está intimamente correlacionada com a configuração morfotectônica regional, pois se localiza quase totalmente na unidade intitulada Sistemas de Dobramentos Rio Curu-Independência do Domínio Ceará Central. Assim, os limites BH coincidem com os da unidade referida e com as demais adjacentes e integrantes do Domínio do Ceará Central. Para além disso, ressalta-se que estruturas regionais como falhas, fraturas, foliações e outros lineamentos também influenciaram na morfologia desta BH.

5.4 Considerações finais

Sabe-se que a delimitação automática, embora viável, é um procedimento que precisa ser aprimorado, como a resolução espacial e correções de ruídos das imagens, para detectar rios com maior acuidade, especialmente os riachos de primeira ordem e menores que 100 metros, que podem ser mascarados pela vegetação ou pela sua diminuta expressão espacial.

Os aperfeiçoamentos expostos são pré-requisitos também para otimizar o polígono da BH que, embora apresente uma qualidade confiável para a escala de análise utilizada, pode ser aperfeiçoado ao ponto do seu contorno ser menos arredado, mais sinuoso e realista, uma vez que as feições naturais são melhores representadas através de delimitações curvas.

Dado ao aplainamento dos pediplanos desta BH, a delimitação automática tende a representar os rios com vetores retilíneos e/ou arredados onde há curvas. Esta característica demanda atenção porque subsidia interpretações errôneas sobre as morfologias dos canais fluviais e, conseqüentemente, do padrão de drenagem da BH. Além do mais, indicam inflexões bruscas (ângulos iguais ou próximos a 90°) sem que esses existam na realidade. Por isso, é importante sobrepor a drenagem obtida em uma imagem de satélite de alta resolução espacial aliados à realização de trabalhos de campo para conferência das informações.

Neste estudo, o número de canais de primeira ordem, a densidade de drenagem e demais métricas vinculadas a estas variáveis foram subestimados, visto que somente riachos superiores a 100 metros foram detectados pelo *software* em razão de limitações intrínsecas às imagens de satélite utilizadas. Assim, as métricas produzidas esboçam uma situação aproximada da realidade, mas com a qualidade adequada para o escopo desta pesquisa.

Os indicadores utilizados subsidiam a inferência de que a BH em apreço não detém um potencial para causar alagamentos, contudo em razão da sua condição relativamente plana os rios podem gerar inundações, especialmente, no médio curso da BH, onde há condições de declividades, altimétricas e maior vazão fluvial para propiciar esses fenômenos.

Quando se observa as áreas do lado direito e esquerda da BH, constata-se que há uma simetria relativa, contudo isso não é nítido na realidade porque o lado direito da supracitada possui drenagens maiores e mais complexas do que o lado esquerdo, onde somente a sub-bacia do rio Cupim possui um tamanho expressivo.

Os elementos paisagísticos influem diretamente nas morfologias da rede fluvial, porém, com base nos antecedentes, constata-se que a litoestrutura e morfoestruturas são os fatores que mais influenciam na configuração dos padrões de drenagens em razão do condicionamento estrutural. Isso repercute também sobre o número de canais e nascentes, densidade de drenagem, densidade de rios, nas orientações do perfil longitudinal do rio Santa Cruz e nos índices de sinuosidade e manutenção, por exemplo.

O caimento topográfico da BH influi sobretudo nas direções N-S das drenagens de primeira e segunda ordens, enquanto os lineamentos brasileiros agem nas orientações NE-SO,

NO-SE. A orientação E-O do rio principal está condicionada as elevações dos blocos rochosos dos subdomínios tectônicos do Ceará Central e pelo falhamento que gerou o cânion do rio Poti.

As ações erosivas também atuaram e atuam na rede de drenagem, não obstante suas ações foram e são orientadas pelos processos tectônicos, fraquezas litológicas, pelos falhamentos e pelos relevos estruturais, portanto tendo um papel secundário no delineamento da rede de drenagem.

Os dados e informações produzidas são contundentes para a ampliação do conhecimento sobre a realidade estudada, pois apresenta uma análise detalhada dos resultados dos principais índices morfométricos e suas inter-relações com elementos paisagísticos da BH do rio Santa Cruz, logo subsidiando futuras propostas de planejamento, gestão e o ordenamento territorial do espaço tratado.

6 CONTROLE ESTRUTURAL E ANÁLISE DAS ANOMALIAS DE DRENAGEM NA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SANTA CRUZ-SERTÕES DE CRATEÚS/CEARÁ-BRASIL

6.1 Introdução

Tradicionalmente, a literatura científica indica que a região Nordeste do Brasil é relativamente estável do ponto de vista tectônico por situar-se no meio da placa Sul-Americana. Todavia, estudos recentes recomendam a necessidade de considerar os esforços compressivos, no centro dessa placa, derivados da sua colisão com a placa de Nazca, a oeste, e sua distensão com placa africana a leste (BRICALLI, 2016). A presença de sismos com magnitudes distintas nessa região e suas implicações espaciais, sobretudo nas proximidades das zonas de transcorrências, despertaram atenções e fundamentaram, por exemplo, a expansão da rede de monitoramento sismográfica na região.

Diante disso, pesquisas morfotectônicas ou tectonoestratigráficas estão sendo intensificadas para investigar, sobretudo ações (neo)tectônicas no Nordeste brasileiro (CORRÊA; FONSÊCA, 2010; MAIA; BEZZERRA, 2011; 2014; ANDRADE FILHO; ROSSETTI, 2015; BARBOSA; FURRIER, 2017; OLIVEIRA; SILVA FILHO; NOGUEIRA NETO, 2018; SILVA; FURRIER, 2019). Desse modo, ampliando os conhecimentos sobre a dinâmica tectônica e suas repercussões sobre os relevos, especialmente, das bacias hidrográficas (BH) porque suas morfologias e redes de drenagens estão intimamente condicionadas com os eventos deformacionais e erosivos da crosta continental.

Nesse enredo, desponta-se o Estado do Ceará/Brasil, onde a rede de monitoramento sismográfico tem registrado constantemente eventos sismogênicos de baixa intensidade como também o maior terremoto na região que ocorreu em Pacajus-CE, 20 de novembro de 1980, com magnitude de 5,2 graus na escala Richter (CEARÁ, 2020). Essa dinâmica deve-se à reativação de algumas falhas neoproterozóicas e ao acomodamento da crosta em razão dos esforços mantélicos intraplaca.

Geologicamente, o Ceará está localizado sobre o segmento setentrional do Nordeste, sobre as províncias geológicas Costeira, do Parnaíba e da Borborema que se destaca diante das demais por compreender a maior parte do Estado. Desse modo, o substrato litológico cristalino é abundante e complexo, apresentando várias estruturas rúpteis e dúcteis que viabilizam a compartimentação morfotectônica do território a partir dos sistemas de lineamentos Neoproterozóicos como, por exemplo, as falhas Sobral-Pedro II e a Senador Pompeu, constituintes dos lineamentos Transbrasiliano (PINÉO *et al.*, 2020).

A morfologia do território cearense exhibe uma série de relevos que foram condicionados por ações tectônicas e modelados pelas ações erosivas ao longo do tempo geológico, sendo escassos os trabalhos que realizaram análises pormenorizadas do ponto de vista das suas possíveis vinculações com eventos (neo)tectônicos (MAIA; BEZERRA, 2014; SILVA; MAIA, 2017; OLIVEIRA; SILVA FILHO; NOGUEIRA NETO, 2018). Neste quesito, as análises do modelado, da morfometria rede de drenagem e dos depósitos fluviais são ações relevantes para identificar possíveis anomalias causadas por ações tectônicas antigas ou recentes.

Afinal, a compreensão do panorama morfométrico de uma BH permite a reconstituição do arcabouço estrutural, evidenciando as influências de falhamentos, foliações, fraturas, dobras geradas ao longo da história geológica e de estruturas dificilmente identificadas em campo (ANDRADES FILHO; ROSSETTI, 2015; SOUZA *et al.*, 2020). Por isso, as pesquisas morfométricas em BH são largamente empregadas por geomorfólogos, engenheiros hidráulicos e demais pesquisadores ligados às ciências ambientais.

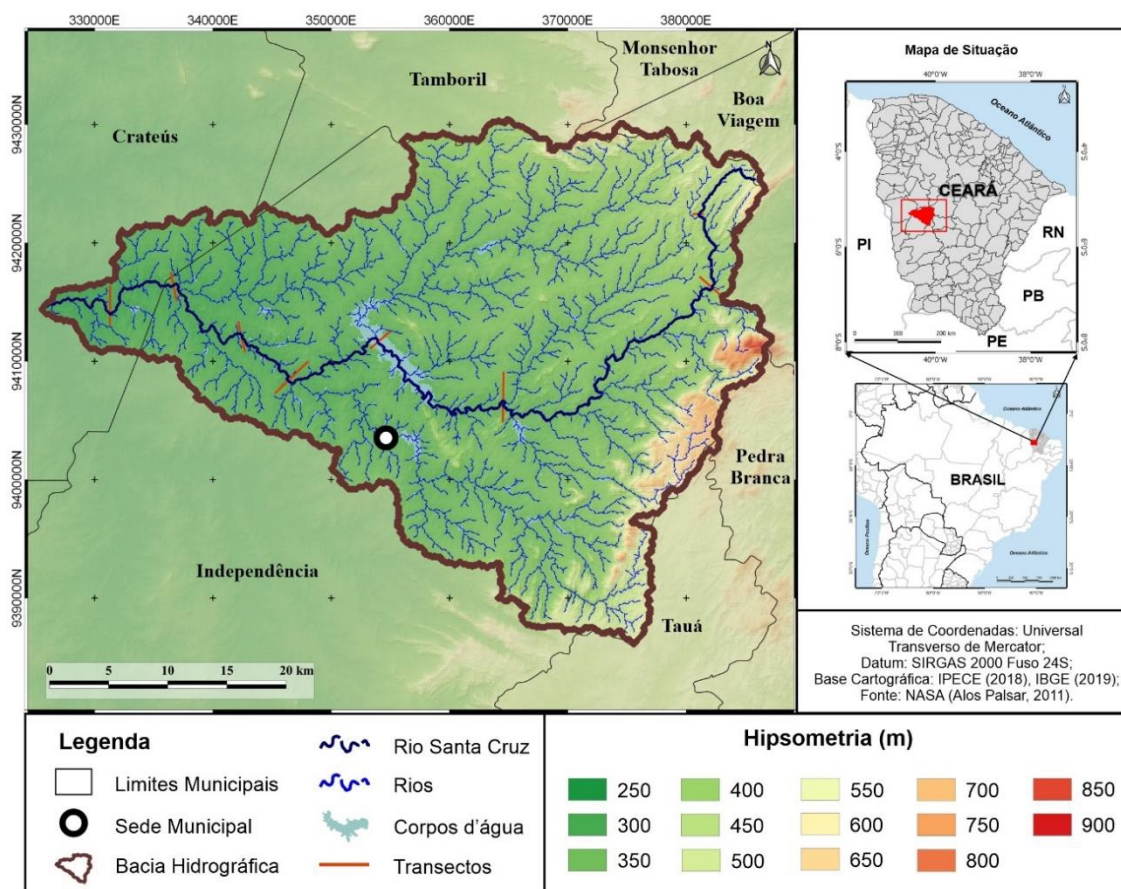
Diante disso, elegeu-se a BH do rio Santa Cruz, presente no alto curso do rio Poti, Centro-Oeste do Ceará, como objeto amostral por: a) estar situada em uma área geologicamente complexa no interior do Estado; b) estar sujeita a reativações de falhas devido a sua conformação e movimento flexural da placa; c) apresentar inflexões na sua rede de drenagem; d) estar em área que tem apresentado sismos recentes; e) e porque o rio principal tem erodido algumas das planícies fluviais sugerindo possíveis mudanças de base ou reorganizações fluviais derivadas de variações climáticas.

Portanto, parte-se da hipótese de que a rede de drenagem da BH está predominantemente condicionada à morfoestrutura neoproterozóica e as anomalias derivam sobretudo de ações tectônicas e do condicionamento das estruturas geológicas perante a erosão diferencial. Logo, objetivou-se investigar quali-quantitativamente se a rede de drenagem está condicionada aos lineamentos dúcteis e rúpteis, bem como se as principais anomalias do rio Santa Cruz são oriundas de eventos de reativações (neo)tectônicas.

6.2 Caracterização da BH do rio Santa Cruz - Sertões de Crateús, Ceará/Brasil

A BH do rio Santa Cruz situa-se na porção Centro-Oeste do Ceará e sua nascente principal está sobre a serra do Salgado, Boa Viagem/CE, entre as localidades de Balança e Aniceto, em uma cota altimétrica de 522m (mapa 1). Já sua foz endorreica encontra-se no limite oeste da BH, notadamente na fazenda Lagoa dos Pintos – Crateús/CE, onde conflui para o rio

Jucás sob a altitude 278 m, por isso rio principal drena uma área com a amplitude topográfica de 244 m.



Mapa 1- Localização e hipsimetria da BH do rio Santa Cruz nos Sertões de Crateús/CE-Brasil.

A BH possui uma área de 1.473,521km², um perímetro de 292,845 km e um comprimento axial de 61,02 km. Trata-se de uma drenagem com rios efêmeros e intermitentes que alça até a 6^o ordem da classificação de Strahler (1957) e o seu rio principal tem 114,679 km. Sua rede de drenagem apresenta padrões de drenagens variadas conformes as especificidades de cada porção da BH e seus condicionantes. Neste âmbito, vigora o padrão paralelo (centro-norte), seguido pelo dendrítico (sul) e em treliça (sudeste).

No âmbito político-administrativo, está na microrregião dos Sertões de Crateús, sendo é um tributário do o alto curso da BH rio Poti. Convém destacar que 93,75% da sua área de drenagem está inserida no município de Independência-CE e 5,45% no território crateuense, enquanto partes estão nos limites dos municípios de Boa Viagem, Tamboril, Tauá, Pedra Branca e Monsenhor Tabosa.

O substrato rochoso é composto por diversas unidades litológicas cristalinas pré-cambrianas (mapa 2), com destaque para as oriundas do Neoproterozóico. A área integra o

Domínio Ceará Central, pertencente a Zona Setentrional da Província da Borborema (ARTHAUD *et al.*, 2008), cuja história evolutiva crustal é complexa e marcada por formações de arcos magmáticos, amalgamento crustal e formação de zonas de cisalhamentos transcorrentes, como a falha de Tauá (N-S) ou as de NE-SSO (NEVES, 1989; 1991; ARAÚJO *et al.*, 2012; 2014; RODRIGUES; MAIA, 2019; PINÉO *et al.*, 2020).

A áreas também tem depósitos sedimentares argilosos e siliciclásticos que ocorrem em estreitas faixas fluviais, lacustres e coluvionais, sendo a primeira mais abundante dentre as demais devido ao tamanho do sistema fluvial (PINÉO *et al.*, 2020). Ao examinar a compartimentação tectônica do Estado do Ceará, percebeu-se que a BH está inserida no segmento setentrional da Província da Borborema, especificamente no Domínio do Ceará Central, nos espaços compreendidos pelos Sistemas de Dobramentos Rio Curú-Independência, formados sobretudo por pelitos-semipelitos migmatitos e granitóides (CPRM, 2011).

A partir de CPRM (2011), detectou-se que a BH tem suas fronteiras norte e leste estabelecidas por variações de subunidades do Domínio Ceará Central, por limitar-se, respectivamente, com o Arco Magmático Continental (diatexitito e granitóides) e com o Amalgama de Arcos (complexos metamórficos plutono-vulcanossedimentares). Com isso, constatou-se que há alterações nas características litológicas e tectônicas entre os maciços rochosos do domínio aludido e que os interflúvios nesses setores da BH coincidem com as zonas de contato entre essas subunidades.

Ademais, frisa-se que sua extremidade N, há o Arco Magmático Continental, que se destaca por ser mais montanhoso (figura 1), abrigando as Serra das Matas (conjunto de maciços cristalinos estruturais ou residuais), onde está o Pico Serra Branca (1.154,56) que é o mais elevado do Estado, localizado no município de Catunda-CE. Já o terceiro bloco, Amalgamo de Arco, no limite leste, embora contenha amplos pediplanos, possui relevos montanhosos (Serra das Pipocas, do Belém, do Cologi, do Gavião, do Salgado e outras) na sua borda com a BH estudada (figura 2).

Enquanto isso, a maior parte da superfície da BH, presente no Sistema de Dobramentos do rio Curú-Independência, é expressivamente composta por pediplanos intercalados pontualmente por cristas, maciços estruturais e residuais oriundos da erosão diferencial sobre estruturas neoproterozóicas que remanescem como elevações na paisagem aplainada atual e auxiliam na reorientação da drenagem.

Tratando da caracterização climática da BH, seu clima é o tropical quente semiárido, que apresenta temperaturas médias entre 26° a 28°C anuais, um regime pluviométrico concentrado entre janeiro a abril, com chuvas torrenciais têmporo-espacialmente irregular e secas sazonais que chegam a compreender oito meses do ano (CEARÁ, 2017). A média pluviométrica, considerando as chuvas entre os anos 1974 a 2019, é de 577,5 mm/anuais.

A taxa de insolação e o índice de aridez anuais são, respectivamente, superiores 2.515 horas/luz e a 0,31 (FUNCEME, 2015). E os principais sistemas atmosféricos causadores de chuvas na BH são os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN), a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e os Complexos Convectivos de Mesoescala (CCMs) (FERREIRA; MELLO, 2005; GOMES; OLIVEIRA; ZANELLA, 2017).

Geomorfologicamente, a BH corresponde majoritariamente por pediplanos com altitudes variantes entre 450 a 250 m influenciada por condicionantes litoestruturais que, por sua vez, repercutem na erosão diferencial da superfície (mapas 1 e 2). Isto pode ser visto quando se observa que seu modelado plano a suave ondulado costuma ser intercalado por *inselbergs* (NE-SO), nas porções com intrusões graníticas, por cristas (NO-SE) derivadas da exposição de diques ácidos ou por baixos maciços residuais resultantes de falhas de cavalgamento (figura 10).

Já suas bordas leste e norte apresentam maciços estruturais (figuras 10 e 11) que são os mais elevados da área (até 800 m), advindos de dobramentos e das zonas de transcorrências dextrais e sinistrais, evidenciando o nítido controle litoestrutural na formação do relevo diante das ações dissecativas dos agentes exógenos em meio ao clima tropical quente semiárido (MAIA; BEZERRA, 2014; GOMES; PAIVA; OLIVEIRA, 2017).

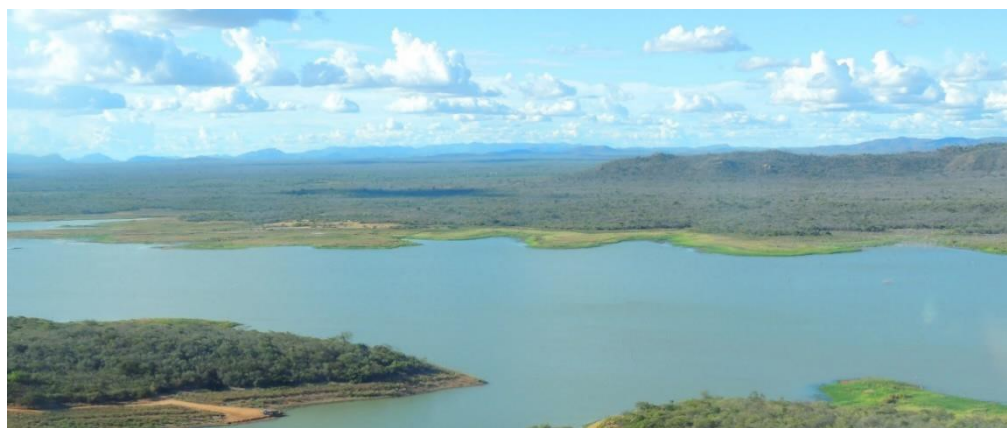


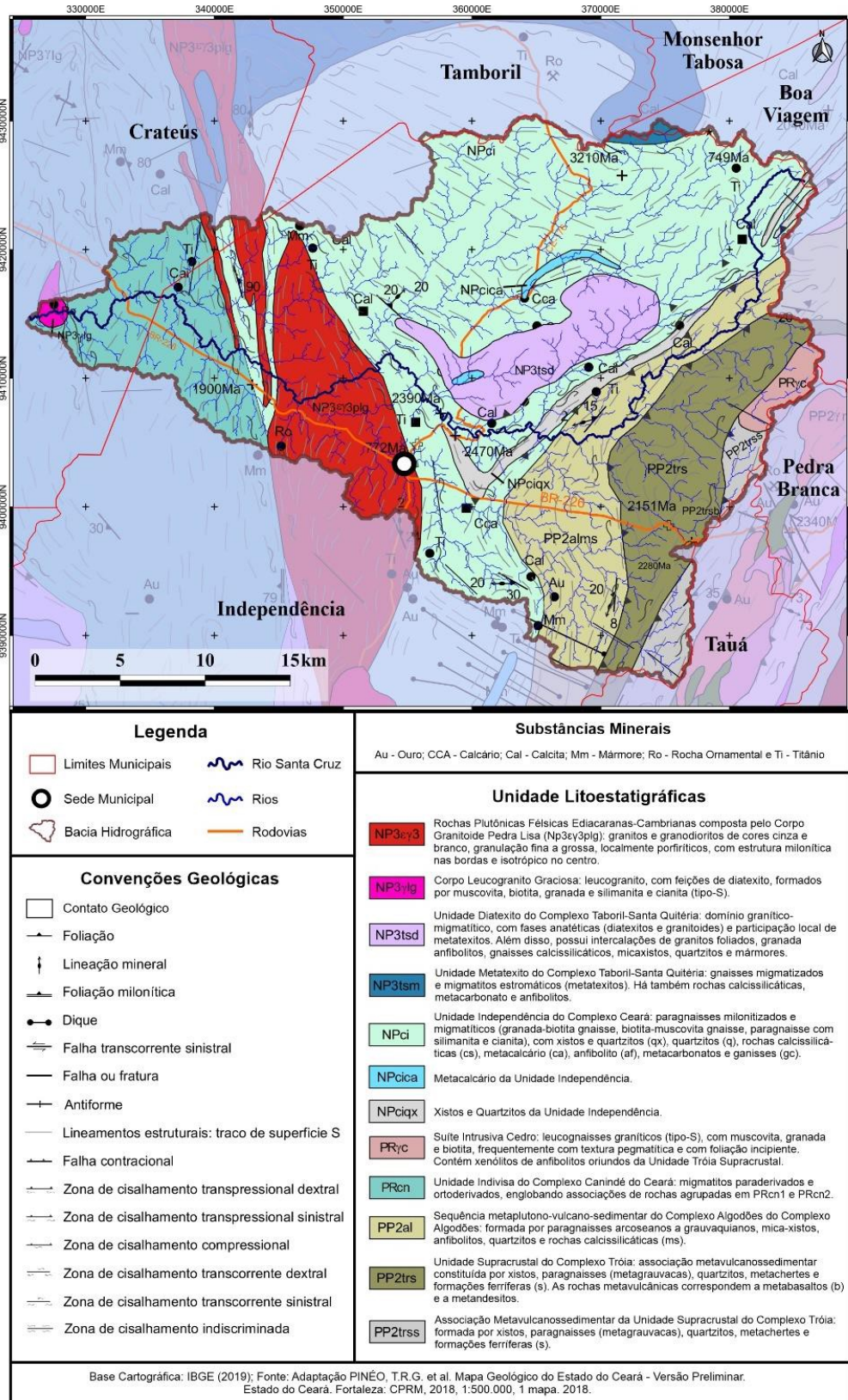
Figura 10 – Visão aérea dos interflúvios norte da BH Santa Cruz. Fonte: Marcela T. Teixeira (2013)



Figura 11 – Visão aérea dos interflúvios leste da BH Santa Cruz. Fonte: Marcela T. Teixeira (2013)



Figura 12 – Visão aérea dos interflúvios oeste e sul da BH Santa Cruz.



Mapa 2 – Mapa geológico da BH do rio Santa Cruz – Sertões de Crateús/CE-Brasil

A vegetação da BH é majoritariamente composta pela Caatinga, que se diferencia no espaço por conta das inter-relações paisagísticas. Assim, segundo Ceará (1997), há a caatinga

arbustiva aberta no pediplano, a Floresta Caducifolia Espinhosa nos maciços estruturais, as Matas Ciliares nas planícies fluviais e a vegetação xerófila sobre lajedos e inselbergs. Cabe frisar, que essas estão expressivamente degradadas atualmente em decorrências das mudanças espaciais antrópica e exploração florestal desordenada.

Em meio a essa configuração ambiental, a pedogênese é influenciada e conduz a formação de vários litotipos, como os Luvisolos Crômicos, Cambissolos Háplicos e Neossolos Litólicos, no pediplanos e nos maciços; Planossolos Solódicos e Neossolos Flúvicos nas planícies fluviais (BRASIL, 1973). Contudo, os primeiros são mais abundantes porque os pediplanos e os maciços são espacialmente mais representativos na BH.

6.3 Metodologia

Esta pesquisa empregou uma abordagem teórica integrativa dos elementos paisagísticos e dentre os procedimentos adotados para subsidiar a análise em apreço, optou-se por identificar os lineamentos rúpteis e dúcteis por fornecerem informações relevantes acerca do condicionamento litoestrutural sobre a configuração da BH do rio Santa Cruz. Afinal, a BH possui várias estruturas geológicas deformacionais neoproterozóicas capazes de influenciar a sua drenagem e também, conforme Corrêa e Fonsêca (2010), este procedimento é importante para a observação de eventos tectônicos antigos e recentes.

Os lineamentos são feições lineares presentes na morfoestrutura e na litoestrutura da paisagem, sendo observadas em campo, mas sobretudo em imagens de satélites, fotografias aéreas ou imagens tonais. Podem ser provenientes de estruturas dúcteis e rúpteis, sendo as primeiras representadas por dobramentos, cristas e foliações e, as segundas, por fraturas, juntas, canais fluviais retilíneos, falhas geológicas, por exemplo (CORRÊA, FÔNSECA, 2010; BRICALLI, 2016; RODRIGUES; MAIA, 2019).

Diante da resolução espacial do Modelo Digital de Elevação (DEM) obtido pelo sensor *Phased Array Type L-Band Synthetic Aperture Radar* (PALSAR) a bordo do satélite Alos, com pixel de 12,5m, e da dimensão da BH, executou-se a extração dos lineamentos iguais ou superiores a 1 km com a escala de 1: 60.000. Para tanto empregou-se a vetorização manual dos dados matriciais da imagem no Qgis 3.14, no qual analisou-se o *overlay*, vinculados às morfoestruturas e litoestruturas rúpteis e dúcteis seguindo os pressupostos de Amaro (1998).

A drenagem da BH, extraída automaticamente no *software TerraViewHidro* 0.4.5, e os dados foram exportados para o SPRING, no qual estimou-se as frequências absolutas e as

orientações dos lineamentos detectados, que foram agrupados em *trends* direcionais e apresentados no diagrama de roseta segundo a técnica de Rodrigues e Maia (2019).

Com isso, foram gerados dois *rasters*, um com a concentração, os tipos e os comprimentos dos lineamentos presentes na BH e o segundo apresenta densidades relacionadas ao comprimento por área (km/km^2) e à frequência dos lineamentos por km^2 , cujos resultados foram agrupados, qualitativamente, em cinco classes com intervalos iguais, indicando as áreas com densidades muito baixa ($\leq 0,01$), baixa ($\leq 0,83$), moderada ($\leq 1,65$), alta ($\leq 2,46$) e muito alta ($\leq 3,28$). Portanto, subsidiando a análise das correlações entre os efeitos deformacionais na crosta e o condicionamento do sistema fluvial na área de estudo.

Para identificar o condicionamento estrutural, a superimposição e as anomalias na drenagem com possíveis vinculações com eventos (neo)tectônicos, foram empregadas três técnicas complementares e amplamente utilizadas nos trabalhos que versam sobre a temática: 1) análise do modelado e inflexões fluviais por meio dos produtos desenvolvidos no ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG); 2) uso de indicadores morfométricos; e 3) identificação de indícios em campo (ETCHEBEHERE *et al.*, 2004; MAIA; BEZERRA, 2011; MARQUEZ NETO; PEREZ FILHO, 2013; FIRMINO, 2015; SILVA, 2017; SILVA; MAIA, 2017; SILVA; FURRIER, 2019).

Na primeira etapa, de posse do Modelo Digital de Elevação (MDE), da classificação dos relevos presentes na BH e da rede de drenagem, procedeu-se a identificação e as correlações dos lineamentos com as direções e tropia da rede fluvial, assim como buscou-se as anomalias nos canais fluviais, considerando canais retilíneos, fundos de vales estreitos ou alargados com planícies fluviais, canais represados naturalmente e inflexões pronunciadas (SILVA *et al.*, 2006; MAIA; BEZERRA, 2011; FIRMINO, 2015), visto que constituem deformações relacionadas a ações resultantes de possíveis atividades tectônicas em uma BH.

Posteriormente, investigou-se as anomalias na rede de drenagem, por meio indicadores morfométricos como o Fator Assimétrico (AF), da Relação Declividade-Extensão (RDE) total e parciais considerando 23 segmentos do rio, bem como a Razão Fundo/Altura do Vale (RFAV) aplicado em oito partes com maiores inflexões no rio principal.

O Fator de Assimetria (FA) é utilizado para detectar o basculamento de uma BH, indícios de falhamentos geológicos recentes e pouco expostos, assim como demonstrar a migração do rio perpendicularmente ao seu eixo, devido às ações tectônicas ou erosão diferencial (KELLER; PINTER, 2002). Desse modo, a equação empregada é $Fa = 100 \left(\frac{\Delta d}{\Delta t} \right)$, na qual Δd representa a área direita (no sentido nascente a jusante) da BH e Δt é área total da

BH. O cálculo foi aplicado somente no canal principal devido à quantidade de canais e às dificuldades geradas na subdivisão da BH, que apresenta várias microbacias conectadas diretamente no rio principal.

O resultado aferido foi computado em módulo ($|FA-50|$) e a supracitada foi classificada sob os seguintes graus assimétricos: baixa ($0 < |FA-50| \leq 7$), média ($7 < |FA-50| \leq 15$) e alta ($15 < |FA-50|$), conforme utilizado por Keller e Pinter (2002) e Andrades Filho e Rossetti (2015). Além disso, quando o valor de FA for igual ou próximo de 50, infere-se que a BH é pouco ou nada basculada, logo com poucas evidências das ações (neo)tectônicas. Entretanto, valores acima ou abaixo de 50 indicam o seu basculamento para a esquerda e direita respectivamente, expressando possíveis anomalias tectônicas ou da erosão diferencial (COUTO; FORTES; FERREIRA, 2013; SANTOS; MORAIS, 2017).

O Índice de Hack ou Relação Declividade-Extensão (RDE) é usado para avaliar e identificar anomalias remotamente ao longo de cursos fluviais em virtude de alterações decorrentes de mudanças litológicas, do tectonismo, do nível de energia da corrente e dos aportes de sedimentos (HACK, 1973; ETCHEBEHERE *et al.*, 2004; BARBOSA; FURRIER, 2011).

Seus resultados são sensíveis às variações de declividade e litológicas, sendo indicado para BH grandes e com substrato rochoso homogêneo, pois assim serve para evidenciar anomalias (neo)tectônicas com eficiência razoável. Entretanto, há aplicações deste índice em BH com litotipos diferenciados e esses trabalhos não indicaram imperfeições devido a este fato (ANDRADES FILHO; ROSSETTI, 2015).

O RDE pode ser aplicado para o rio inteiro (RDEtotal- RDEt) ou para segmentos desse (RDEsegmento - RDEs). A partir dos trabalhos de Hack (1973), Keller e Pinter (2002), Sarp e Düzgün (2003), Etchebehere *et al.* (2004), Vijith *et al.* (2017), Oliveira, Silva Filho e Nogueira Neto (2018) e Silva e Furrier (2019), constatou-se que tradicionalmente é usada a mesma fórmula para calcular o RDEt e o RDEs, isto é $RDE = \left(\frac{\Delta H}{\Delta L}\right)L$, sendo (ΔH) a diferença entre as cotas altimétricas inicial e final do segmento, (ΔL) é a extensão do trecho do rio e o (L) é a distância longitudinal entre a nascente do canal fluvial até a metade do segmento elegido.

Entretanto, Etchebehere *et al.* (2004), Couto, Fortes e Ferreira (2013) e Silva e Maia (2017), por exemplo, diferenciam as estimativas entre o RDEt e o RDEs, portanto desenvolvem o RDEt empregando o cálculo acima, mas em vez de usarem o (ΔL) - extensão total do rio, substituíram-na pelo logaritmo natural do tamanho do rio, alterando os resultados finais. Diante disso, optou-se por aplicar tanto RDEt quanto o RDEs com a mesma fórmula, isto é, com a

perspectiva tradicional por estar alinhada com os criadores e ser utilizada em vários trabalhos internacionais.

Isto posto, segmentou-se o rio principal em 23 segmentos com 4986 m e estimou-se o valor de RDE de cada parte. Quanto aos parâmetros, seguiu-se os sugeridos Andrades Filho e Rossetti (2015) que criaram uma classificação e distinção das anomalias em quatro classes, sendo que os valores iguais e superiores a 2 indicam possíveis ações tectônicas: sem anomalias ($RDE < 2$); moderadas ($2 \leq RDE < 4$); altas ($4 \leq RDE < 6$) e altíssimas ($6 \leq RDE$). Assim, os valores de RDE elevados podem estar vinculados às regiões com atividades (neo)tectônicas, com drenagens influenciadas pela litoestrutura ou com descontinuidade litológicas, enquanto resultados menores indicam áreas estáveis ou com drenagens condicionadas por zonas transcorrentes (KELLER; PINTER, 1996; EL HAMDOUNI *et al.*, 2008; OLIVEIRA; SILVA FILHO; NOGUEIRA NETO, 2018).

A Razão Fundo/Altura do Vale (RFAV) é o índice utilizado para espaços fluviais com o intuito de avaliar a intensidade das magnitudes de atividades (neo)tectônicas sobre a morfologia do vale e sua incisão. Deste modo, fundos de vales em “V” estreitos e com divisores de águas elevados sinalizam que o relevo pode estar sofrendo ou sofreu com atividades (neo)tectônicas, enquanto vales em “U” largos e com divisores rebaixados remetem à condição de ausência ou estabilidade (neo)tectônica da paisagem (BULL; MCFADDEN, 1977; BARBOSA; FURRIER, 2017), portanto sendo influenciada expressivamente pela dissecação.

O RFAV é estimado a partir das altitudes dos divisores de águas da direita (Add) e da esquerda (Ade) do vale, assim como a elevação (Efv) e largura do fundo do vale fluvial (Lfv), com base na fórmula a seguir: $RFAV = \frac{2Lfv}{(Ade - Efv) + (Add - Efv)}$. O valor de referência do RFAV empregado é 1, logo resultados abaixo desse sinalizam vales estreitos e uma probabilidade maior de ocorrência de ações (neo)tectônicas, sendo o contrário verdadeiro (BARBOSA; FURRIER, 2017; SILVA; FURRIER, 2019).

Convém frisar que há outros índices empregados para tal fins, como Fator de Simetria Topográfica Transversal, Integral Hipsométrica, Sinuosidade de Frente de Montanha, Forma da BH (alongamento da bacia), Compactação da BH (COUTO; FORTES; FERREIRA, 2013; FIRMINO, 2015; OLIVEIRA, SILVA FILHO; NOGUEIRA NETO, 2018). Não obstante, foram elegidos aqueles com fácil empregabilidade e amplamente testados no internacionalmente e nacionalmente (ETCHEBEHERE *et al.*, 2004; BARBOSA; FURRIER, 2017; VIJITH *et al.*, 2017) e por indicarem respostas relativamente aproximadas da realidade que descrevem.

6.4 Condicionamento estrutural e a superimposição da drenagem da BH do rio Santa Cruz

6.4.1 Condicionamento litoestrutural no Perfil Longitudinal e Transversal do rio Santa Cruz

Por meio da delimitação da BH, dos estudos dos mapas 1 e 2, detectou-se que a morfologia da BH do rio Santa Cruz detém um arranjo espacial relativamente triangular, sendo larga na sua extremidade leste e estreita na porção oeste, onde há a nascente e o seu exutório.

Os limites da rede de drenagem nessas porções não ocorrem somente devido à variabilidade rochoso, mas em razão dos soerguimentos e da erosão diferencial que criaram relevos com morfologias e altitudes distintas nos limiares N e S da BH (figuras 1 e 3), como as serras do Manoel Alves, do Bom Princípio, do Salgado, das Pipocas, do Cologi, do Tecelão e Chata.

Já os limites sul e oeste da BH não possuem elevações significativas e os interflúvios são áreas pediplanadas com relevos suaves ondulados ou colinosos. Ao examinar o mapa 2, acredita-se que esses interflúvios foram condicionados pelos sistemas distensivos (diques ácidos) localizados a SE da BH, visto que a variação litológica não fundamenta por si a estruturação desses interflúvios.

Desta maneira, infere-se que esses sistemas distensivos atuaram na deformação crustal em subsuperfície determinando a formação dos interflúvios e sua orientação de SE-NO conforme seu *trend* direcional. Com o exposto, acredita-se que a morfologia da BH está intimamente condicionada pela litoestrutura, tectônica e erosão que agiram em seus espaços ao longo tempo geológico.

O perfil longitudinal do rio possui 114,679 km da sua nascente principal até a sua foz endorreica. Segundo o gráfico 2, percebe-se que o perfil longitudinal do rio Santa Cruz é côncavo e sem evidências de *knick-points* significativos que indiquem variações altimétricas abruptas nas paisagens, portanto sugerindo uma possível estabilidade tectônica e a eficiência dos processos erosivos na BH, visto que o rio drena um espaço com baixas variabilidades altimétricas e declividades.

O gráfico 2, sugere que os litotipos do cristalino detém diferentes resistências ao intemperismo e à erosão porque as maiores modificações no perfil citado coincidem com alterações do substrato rochoso, como pode ser visto nos primeiros 10 km do rio, onde disseca migmatitos, miloníticas, xistos e quartzitos da unidade NPci, que apresentam falhamentos transcorrentes.

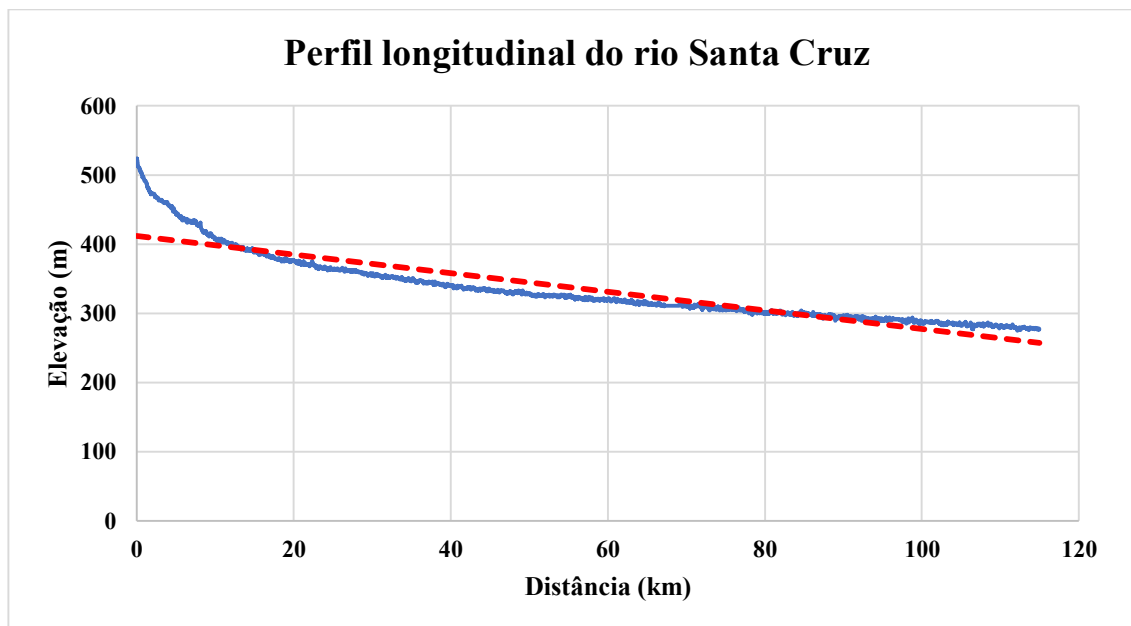


Gráfico 2 – Perfil Longitudinal do rio Santa Cruz (linha azul) e linha de tendência de melhor ajuste (linha pontilhada vermelha).

Assim, a mineralogia, a isotropia ou anisotropia das rochas associadas às estruturas rúpteis e dúcteis implicam no plano longitudinal e transversal do rio por facilitarem ou não as ações erosivas e construção do canal fluvial. Por isso, verifica-se pequenas ou grandes irregularidades no trajeto do perfil longitudinal do rio Santa Cruz.

A linha de tendência presente no gráfico 2 expõe que inicialmente o rio está acima da condição média por ser o setor que sofreu deformações dúcteis e por apresentar rochas mais resistentes e menos fraturadas. Em seguida, nota-se que o trajeto do rio se encaixa abaixo da linha citada em razão das rochas menos resistentes, por serem mais velhas, fraturas e falhadas, viabilizando uma maior dissecação da paisagem.

Quando o rio disseca a suíte granítica da ZCT (NP3εγ3), cerca de 70 km após a nascente, há a interseção entre o perfil longitudinal e a linha de tendência. Essa manifestação deve-se às rochas graníticas e milonitos que estão sutilmente elevados na paisagem por conta de suas maiores resistências a intemperismo e por serem mais jovens.

Após isso, aproximadamente a 85 km após a nascente, o rio projeta-se acima da linha de tendência sendo uma área com potencial erosivo, embora esteja no baixo curso da BH. Isso está atrelado às resistências das rochas, à presença de deformações crustais, relacionadas à ZCT e aos sistemas distensivos presentes na área e a baixa competência erosiva do rio neste setor.

Ao examinar o sistema de drenagem e o rio principal a partir dos mapas 1 e 2, são identificadas várias anomalias de drenagem no âmbito transversal condicionadas pela

morfoestrutura que é influenciada pela litoestrutura. Elegendo-se apenas as 8 maiores inflexões do rio Santa Cruz, nota-se que até 9 km da nascente, o rio diseca de NE-SO sob influência da zona de cisalhamento transpressional dextral. Em seguida, inflerte para NO-SE por cerca de 8,12 km porque é condicionado por uma fratura que transpassa os lineamentos.

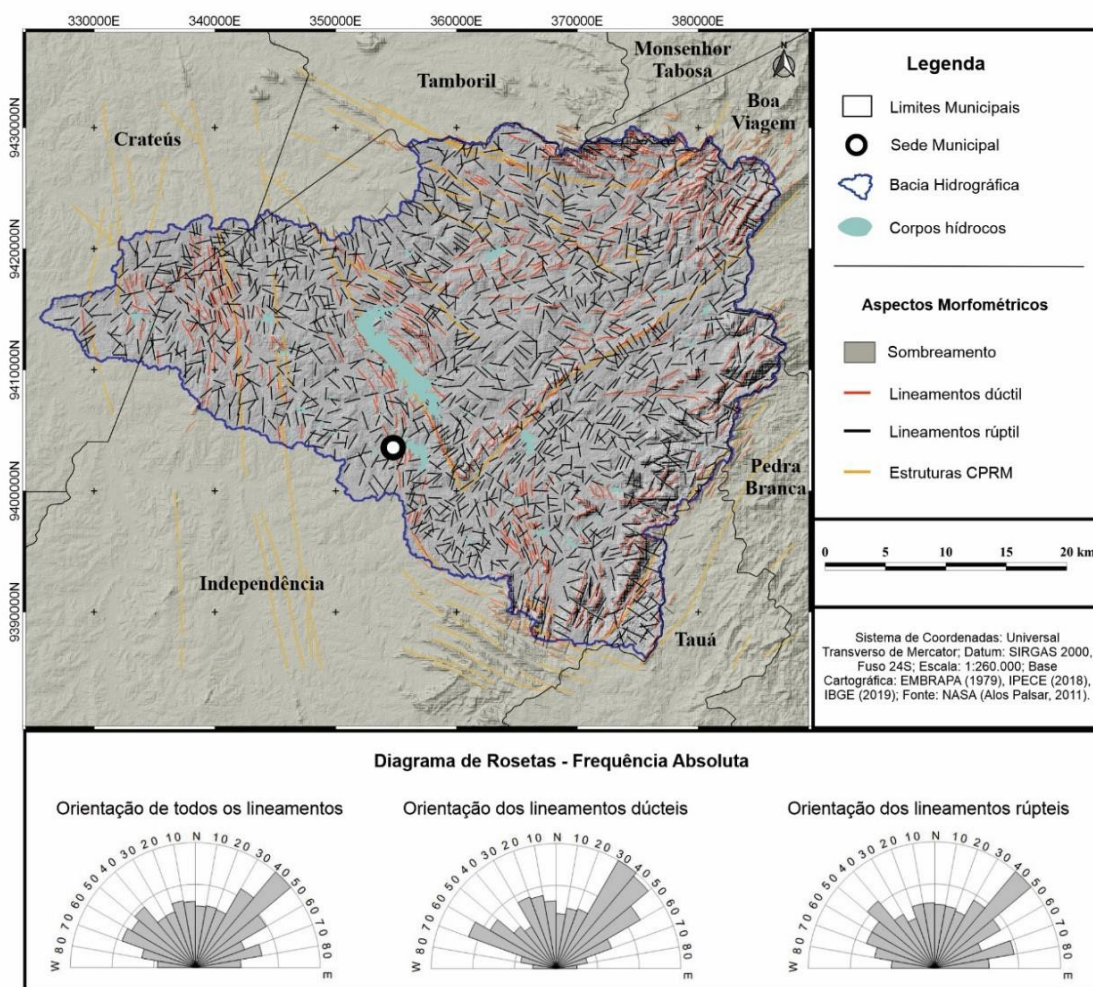
Após isso, reorienta seu curso para NE-SO e percorre 23 km, por estar controlado por zonas de cisalhamentos transpressionais dextral e sinistral e as foliações das rochas. Posteriormente, o curso é reorientado de L-O pelos próximos 16,129 km de extensão, controlados pelos falhamentos das zonas de cisalhamentos aludidas e por fraturas com estas conformações.

Nesse enredo, o rio reorienta seu trajeto para SE-NO, dissecando a paisagem por 13 km devido a uma falha com mesma orientação. Depois deste trajeto, o rio altera seu curso para NE-SO, por 11,13 km, em razão de fraturas que cortam dois grupos geológicos. Após isso, o rio reorienta sua drenagem por 18,3 km e segue o trajeto de SE-NO por influência de um falhamento. Já os últimos 16 km do seu canal, está disposto de L-O em virtude de uma fratura perpendicular a uma falha direcional.

6.4.2 Análise da superimposição da drenagem

Isto posto, a partir da extração manual, foram identificados 2167 lineamentos na área de pesquisa (mapa 12), sendo 1607 derivados de estruturas rúpteis e 560 das dúcteis, cujas extensões totais foram, respectivamente, 1.748,72 km e 672.98 km, obtendo-se os seguintes comprimentos médios para as estruturas identificadas: 1,08 km e 1,20 km.

Tais dados indicam que há cerca de três vezes mais lineamentos rúpteis do que dúcteis na área pesquisada e isso repercute diretamente no valor elevado de sua extensão total, embora possuam menores comprimentos médios em relação aos lineamentos dúcteis. Esses resultam de estruturas extensas, como foliações, intrusões graníticas da ZCT e das zonas de cisalhamentos transpressionais dextral e sinistral que, segundo Arthaud (1986), Neves (1989; 1991) e Araújo *et al.* (2014), foram constituídas no Neoproterozóico, notadamente no final do Ciclo Orogenético Brasileiro/Pan-Africano que gerou o Gondwana Oeste.



Mapa 12 – Mapa com lineamentos rúpteis e dúcteis e estruturas da CPRM presentes na BH do rio Santa Cruz.

Devido à denudação do relevo, essas estruturas foram exumadas e apresentam resistências diferenciadas em razão da sua estrutura, idade e constituição mineralógica silicática frente às ações intempéricas e erosivas. Por isso, costumam formar os altos topográficos e as vertentes menos dissecadas na BH. Já seus entornos são mais dissecados pela ocorrência de estruturas rúpteis que acentuam a denudação do relevo.

O número das estruturas rúpteis também está relacionado ao fato das rochas da área terem sofrido esforços tectônicos que as fraturaram e falharam em razão, inicialmente, ao ciclo orogênico referido que criou as principais estruturas geológicas da área (ARTHAUD, 1986; ARTHAUD; HARTMANN, 1986; NEVES, 1989; 1991; ARAÚJO *et al.*, 2014).

Com o fim do ciclo, entre o Cambriano e o Ordoviciano, houve o resfriamento, a contração e extensão da crosta que culminou na geração de falhas normais e reativação das antigas falhas transcorrentes, possibilitando a formação de *rifts valley* que criaram o aulacógeno do Parnaíba (GÓES; SOUZA; TEIXEIRA, 1990; GÓES; FEIJÓ, 1994; SILVA *et al.*, 2003;

CAPUTO; IANNUZZI; FONSECA, 2005; VAZ; REZENDE; WANDERLEY FILHO, 2007). Esse evento também auxiliou na ativação das falhas transcorrentes e normais, favorecendo a compressão e deformação do embasamento litológico da BH do rio Santa Cruz, tendo em vista a sua proximidade e conexões de alguns sistemas rúpteis e dúcteis.

Posteriormente, houve reativações das zonas de transcorrências e cisalhamento em razão do ciclo distensivo que culminou com a abertura do Atlântico equatorial, no princípio do Neocomiano e Aptiano (SZATMARI *et al.*, 1987; CLAUDINO-SALES; PEULVAST, 2007), procedido pelo movimento flexural da crosta continental e, por fim, as reativações relacionadas ao acomodamento dos maciços rochosos em razão das mudanças dos campos de tensões.

Com base nos antecedentes, verifica-se que a área foi sofreu influências de diversos eventos tectônicos com escala regional que imprimiram marcas em suas paisagens, embora a identificação de cada produto e seu evento causador demande estudos específicos.

A geração de estruturas rúpteis está vinculada às ocorrências desses eventos e também a diversidade de rochas com características físico-químicas distintas que apresentam comportamentos diferenciados diante das tensões que sofreram, culminando na formação de estruturas extensionais com várias orientações, por exemplo.

O número elevado de lineamentos rúpteis possui relações com as deformações do campo dúctil porque essas são provenientes de intensas alterações crustais que também atingiram no domínio rúptil em consequência dos alívios de tensões que sua complexa litologia foi submetida quando passiva de diferentes processos de compressão e distensão ao longo do tempo geológico.

Analisando o diagrama de roseta do mapa 12, que representa os lineamentos dúcteis, nota-se que possuem orientações predominantes para NE, NO e N, visto que representam os principais *trends* direcionais das deformações herdadas do final do Neoproterozóico, como a ZCT, os diques ácidos e as zonas de transcorrências. Entretanto, nota-se a presença de *trends* menos expressivos para todas as direções, sendo reflexos sobretudo das foliações das rochas miloníticas e migmatíticas e outras metamórficas da ZCT que se alternam conforme as suas especificidades mineralógicas, cinemáticas e as direções dos campos de maiores e menores tensões.

Já o diagrama de roseta dos lineamentos rúpteis, observa-se que os *trends* preferenciais são para NE e NO, resultante dos esforços compressivos e distensivos, orientando as disposições da maioria de suas estruturas. Não obstante, percebe-se que as estruturas com as

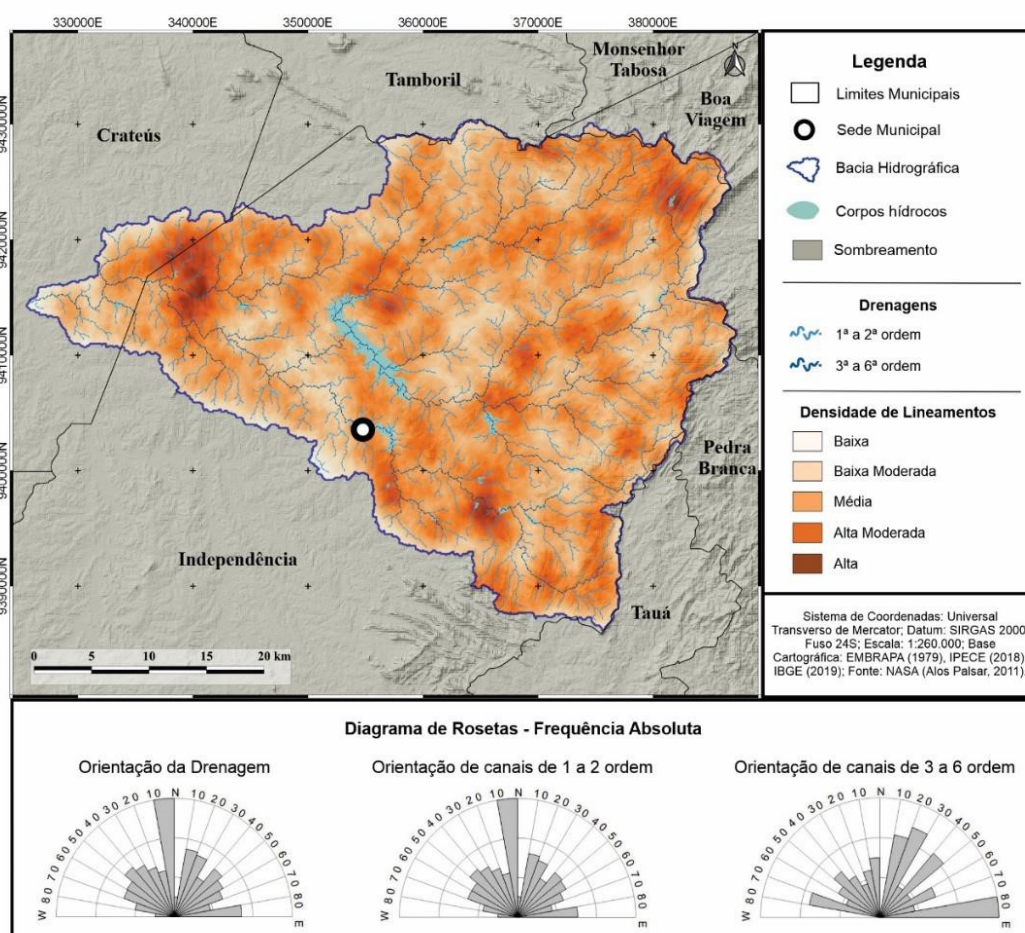
demais orientações são menos discrepantes em relação ao diagrama de rosetas das estruturas dúcteis, pois: a) são mais numerosos, por serem mais sensíveis às deformações crustais; b) são heranças do Ciclo Orogenético Brasileiro e dos demais eventos que o sucederam e atingiram somente a faixa rúptil; c) apresentam orientações perpendiculares, oblíquas ou paralelas aos dúcteis.

Vale frisar que, com base no mapa 12, observa-se que os lineamentos rúpteis estão distribuídos em todos os segmentos da BH, inclusive nos espaços onde há predomínio das estruturas dúcteis, pois essas geralmente exibem comportamentos dúcteis-rúpteis em razão dos esforços compressivos (NO-SE) e distensivos (NO-SE, NE-SO e L-O) da colisão brasileira.

Isto posto, os azimutes médios dos lineamentos rúpteis e dúcteis foram de 2,97 e 2,81, enquanto os azimutes médios ponderados resultaram em 7,55 e 64,46. Portanto, esses dados sugerem que os lineamentos estão orientados majoritariamente para o N e para o NE coadunando com os resultados de pesquisas das áreas adjacentes estudadas por Maia e Bezerra (2014), Silva e Maia (2017), Rodrigues e Maia (2019), por exemplo.

Tratando da rosácea das orientações de todos os lineamentos, nota-se que pela sua maior quantidade, os rúpteis implicaram decisivamente na configuração da rosácea, impulsionando as expressividades dos *trends* para NE e NO sobre os demais e atenuando sensivelmente o N. Apesar disso, os diversos *trends* refletem as inter-relações entre as estruturas examinadas e a heterogeneidade de orientações sinaliza a complexidade das tensões, cinemática e de deformações que litologia ao longo do tempo geológico.

Com base no mapa de densidade de lineamentos, mapa 11, observa-se que as áreas densas são mais influenciadas pelos agrupamentos de lineamentos dúcteis que de rúpteis, embora estes também auxiliem no aumento das densidades nessas porções. Isso também pode ser constatado a partir da espacialização das manchas que representam as maiores densidades que coincidem com as mesmas localizações e disposições das concentrações lineamentos dúcteis. Segundo Rodrigues e Maia (2019) isso remete também a constituição litológica e suas estruturas, que no caso dos dúcteis tendem a ser anisotrópicas, portanto, susceptíveis aos fraturamentos e desgastes intempéricos.



Mapa 11 – Mapa com as densidades de lineamentos presentes na BH do rio Santa Cruz.

Os lineamentos rúpteis ocorrem em todas os espaços da BH, porém menos concentrados e nota-se que são mais escassos na extremidade leste da supracitada onde há os dobramentos que geraram as maiores elevações da área. O mapa de densidade também atesta que, ao contrário dos resultados de Silva e Maia (2017) e Rodrigues e Maia (2019), os segmentos com maiores densidades de lineamentos não representam os relevos mais dissecados e aplainados, mas os maciços estruturais e residuais, cristas e partes em que o pediplano é mais elevado.

Esse comportamento deriva da condição litoestrutural dessas áreas sujeitas a deformações crustais de natureza rúptil-dúctil (ZCT, zonas de transcorrências dextrais e sinistrais ou diques ácidos) e da maior resistência litológica frente ao intemperismo e à erosão. Cabe frisar que os lineamentos rúpteis são menos escassos onde há extensas e largas foliações das rochas, principalmente, nas adjacências do limite leste da BH, reforçando repercussão da característica litológica no condicionamento ou não dessas estruturas.

Os lineamentos e suas densidades repercutem sobre os padrões de drenagens presentes na BH. A partir do mapa 11, constata-se que os padrões paralelos e treliças estão intrinsecamente correlacionadas com as áreas com maiores densidades de lineamentos, de modo os cursos fluviais estão encaixados entre as zonas mais densas e, no caso, do padrão em treliça, no sudeste da BH, está modelado sobre a área de maior densidade daquele espaço. O padrão dendrítico, apesar de presente, é menos representativo tendo em face que ocorre nas áreas com menor controle estrutural, que são espacialmente restritas segundo atestam os mapas 2, 3, 4 e 5.

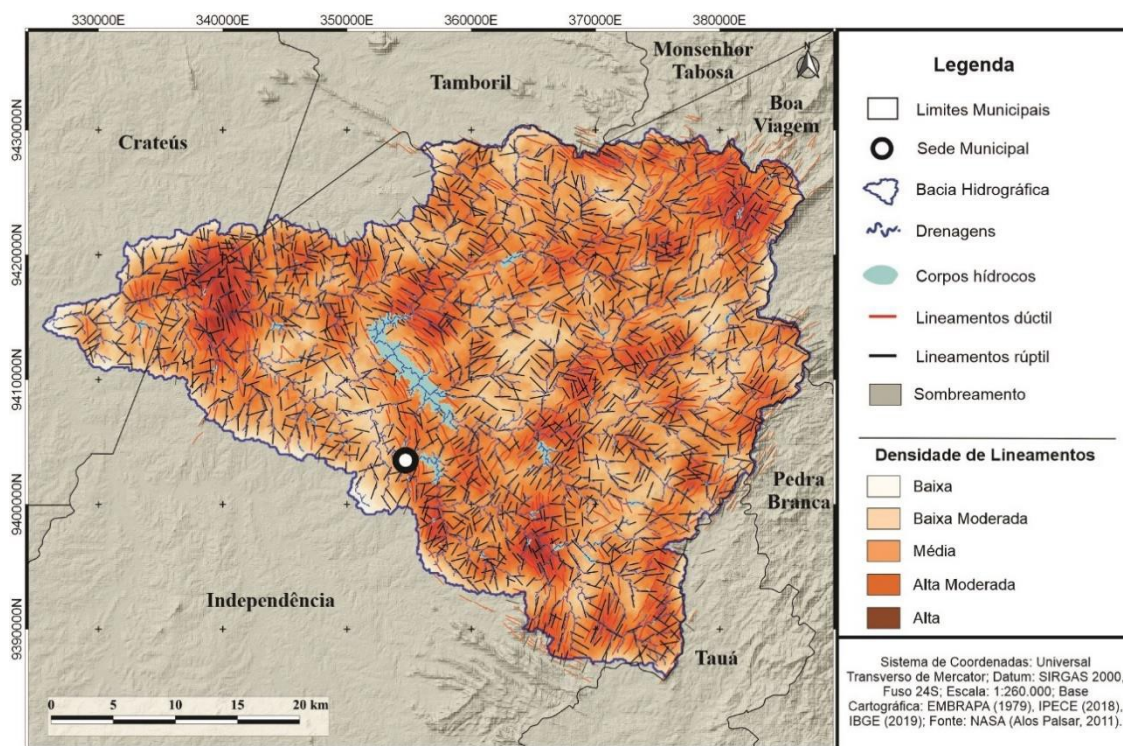
Tratando dos dados sobre os rios apresentados nas rosáceas, percebe-se que a maioria dos canais de 1° e 2° ordens estão direcionados de N-S, seguidos por aqueles NE-SO, NO-SE e L. Essa configuração ocorre em BH nas adjacências e noutras áreas do Nordeste brasileiro (MAIA; BEZERRA, 2014; SILVA; MAIA, 2017; RODRIGUES; MAIA, 2019) e reflete o condicionamento estrutural da drenagem diante das deformações litoestruturais com estas direções do embasamento cristalino pré-cambriano nordestino.

Tal situação sofre uma variação substancial quando se analisa os *trends* preferenciais dos rios de 3° a 6°, pois orienta-se majoritariamente de L-O, depois NNE-SO, N-S e NO-SE, pois representam as direções advindas das antigas estruturas neoproterozoicas. Desse modo, estabelecendo uma inversão significativa no que tange aos *trends* preferenciais obtidos nas outras rosáceas, tal evento é resultante do nível de base local que é parcialmente condicionado pelo cânion do rio Poti e seus falhamentos. Além disso, está atrelado ao caimento topográfico dos interflúvios que bordejam a BH e da morfologia da subunidade do Domínio Ceará Central chamada de Sistema de Dobramentos do rio Curú-Independência.

As demais direções são expressões dos condicionamentos que impactaram nas orientações das drenagens de 1° e 2°, contudo as drenagens NNE-SO foram pronunciadamente afetadas por essas estruturas que possivelmente geraram fraturas, antiformal, sinformal e falhas que condicionaram as drenagens por estarem perpendiculares com os esforços compressivos (NO-SE) desenvolvidos no Ciclo Orogenético Brasileiro (ARAÚJO *et al.*, 2014).

Dessa maneira, ao examinar as orientações gerais das drenagens, constata-se que o maior número de rios está disposto do N para o S, impulsionadas pelas conformações das drenagens de 1° a 2°, sucedido pelos orientados NNE-SSO e NNO-SSE cujas disposições condizem com um menor número de rios, entretanto englobando representantes de todos os níveis hierárquicos da BH.

Com base nos antecedentes e no exame do mapa 13, constata-se que a BH do rio Santa Cruz tem suas características condicionadas pela litoestrutura/morfoestrutura, de tal modo que há um controle estrutural significativo do sistema fluvial sobre muitas das estruturas rúpteis e dúcteis que tendem a serem exumadas e modeladas pelos processos intempéricos e erosivos ao longo do tempo geológico. As estruturas rúpteis influem em todos os cursos hídricos, porém as dúcteis apresentam maiores influências nas drenagens acima da 4^o ordem.



Mapa 13 – Mapa de sobreposição das densidades com a drenagem e as orientações dos lineamentos rúpteis e dúcteis presentes na BH do rio Santa Cruz.

6.5 Índices morfométricos e análise das anomalias de drenagem do rio Santa Cruz

6.5.1 Aplicação do fator de assimetria (AF)

A partir da aplicação do fator de assimetria (AF) na BH do rio Santa Cruz, obteve-se o valor de 53,2 que sinaliza um baixo caimento topográfico para a esquerda. Isso pode ser constatado também por meio da observação da tropia, da concentração e das dimensões dos tributários do rio principal presente na margem direita (mapa 1). Além disso, verifica-se que a vertente direita da BH comporta as maiores e mais complexas redes de drenagens diferentemente do que ocorre na vertente esquerda da BH.

A leve inclinação da BH repercute no número, na densidade e na direção de drenagens, especialmente, dos pequenos tributários (1^o, 2^o e 3^o) que são superiores no lado direito da BH em decorrência da sua maior área. Já na porção esquerda, os rios tendem a serem menores e a

vertente, como um todo, é mais estreita e irregular, diferenciando-se da vertente direita que é larga e com geometria menos irregular. Assim sendo, acredita-se que o valor de AF não é superior por conta do prolongamento espacial existentes na extremidade leste da vertente esquerda.

Com relação aos fatores que condicionaram o caimento da BH para a esquerda e a maior largura da vertente direita, acredita-se que inicialmente foram estruturadas pela falha do cânion do rio Poti, pelos diques ácidos, pelas zonas de transcorrências dextrais e sinistrais, pela ZCT e pelas maiores elevações a norte, nordeste e leste da BH.

Essas elevações, principalmente, as do norte, além dos limites da BH, são derivadas de arcos magmáticos sob intensos processos dúcteis-rúpteis e erosivos ao longo do tempo geológicos, assim compreendem as áreas elevadas em detrimento dos segmentos aplainados no limite sul da BH. Com isso, a vertente direita configura-se como parte da vertente aplainada sul das Serras das Matas, presente em outra subunidade tectônica do Domínio do Ceará Central, enquanto a margem esquerda é mais rebaixada pela pediplanação e por não compor uma vertente de relevos elevados e com rochas resistentes ao intemperismo.

Desse modo, não foram identificadas evidências de que o leve basculamento tenha sido causado recentemente por possíveis reativações de falhas. Analisando os aspectos geológicos, percebe-se que o basculamento está correlacionado com a configuração litoestrutural da BH que repercutiu na erosão diferencial e no modelado da referida ao longo do tempo geológico.

6.5.2 Análise das anomalias a partir da relação declividade – extensão

Diante dos valores apresentados na tabela 2, constata-se que os resultados de RDEs oscilam e tendem ser elevados do médio ao baixo curso da BH, onde as diferenças altimétricas tendem a ser menores, as distâncias dos segmentos médios dos trechos são maiores em relação a nascente do rio, em razão da variação litológica e do aumento da potência do fluxo hidrossedimentológico. Assim, essas condições repercutem diretamente nos valores dos RDEs obtidos, visto que os trechos examinados são equidistantes.

Relação Declividade-Extensão								
Trechos do rio Sta. Cruz	Alt. Inicial (m)	Alt. Final (m)	ΔH (m)	ΔL (m)	L (m)	RDEs (m)	Distâncias Finais dos Segmentos	Unidade Geológica
1	522	445	77	4986	2493	38,5	4986	NPci
2	445	408	37	4986	7479	55,5	9972	NPci
3	408	391	17	4986	12465	42,5	14958	NPci

4	391	377	14	4986	17451	49	19944	PP2al
5	377	364	13	4986	22437	58,5	24930	PP2al
6	364	355	9	4986	27423	49,5	29916	PP2al
7	355	349	6	4986	32409	39	34902	PP2al
8	349	340	9	4986	37395	67,5	39888	PP2al
9	340	336	4	4986	42381	34	44874	NPciqx
10	336	328	8	4986	47367	76	49860	NPci
11	328	324	4	4986	52353	42	54846	PP2al
12	324	320	4	4986	57339	46	59832	PP2al
13	320	315	5	4986	62325	62,5	64818	NPci
14	315	311	4	4986	67311	54	69804	NP3εγ3
15	311	309	2	4986	72297	29	74790	NP3εγ3
16	309	302	7	4986	77283	108,5	79776	NP3εγ3
17	302	301	1	4986	82269	16,5	84762	PRcn
18	301	297	4	4986	87255	70	89748	PRcn
19	297	293	4	4986	92241	74	94734	PRcn
20	293	289	4	4986	97227	78	99720	NP3γlg
21	289	286	3	4986	102213	61,5	104706	NP3γlg
22	286	282	4	4986	107199	86	109692	NP3γlg
23	282	278	4	4986	112185	90	114678	NP3γlg

Tabela 2 - Valores morfométricos do vale do rio Santa Cruz e os resultados do RDEs e suas associações com as unidades geológicas (mapa 2).

Segundo a classificação de Andrade Filho e Rossetti (2015), todos os segmentos possuem anomalias com RDEs altíssimos. Com base nas observações de campo e na análise da espacialização da rede de drenagem sobre o mapa geológico (mapa 2), intui-se que esses valores não sinalizam evidências advindas de atividades neotectônicas porque não foram identificadas estruturas de liquefação nos depósitos aluviais, sismitos ou morfologias escalonadas no leito do rio, captura de drenagem, terraços ou vales estreitos que indicassem isso.

Foi constatado que o índice tende a crescer onde o canal escorre sobre rochas mais resistentes e isotrópicas (quartzitos ou granitos) e decresce quando diseca um substrato tenro ou com rochas anisotrópicas (xistos). Assim, sua variação está intrinsecamente relacionada às diversidades litoestruturais presentes na área de pesquisa, apesar das rochas serem cristalinas, com abundância de rochas metamórficas pré-cambrianas.

Embora no alto curso, o rio dissegue vertentes com maiores declividades, com alta densidade de lineamentos geológicos, com vales em V e susceptíveis a maiores taxas de erosão, constata-se que essas variáveis somente contribuiriam pontualmente no incremento do RDEs, visto que as rochas impõem maiores resistências ao intemperismo e a erosão. Por isso, as distâncias dos trechos médios em relação à nascente juntamente com a existências de segmentos

com tributários e fluxos potentes sob rochas fragmentadas e intemperizadas alçaram os valores obtidos que oscilaram segundo os litotipos.

No campo, observou-se que os maiores valores de RDEs, ocorrentes nos segmentos 16, 20, 22 e 23, estão correlacionados com as porções do rio que dissecam a ZCT e as intrusões graníticas (processos de deformações crustais), coincidindo com as planícies fluviais mais largas e extensas presentes no médio e baixo curso do rio. Resultado semelhante foi identificado por Silva (2017) em uma BH adjacente, sendo assim reforçando as influências que as zonas de transcorrências e as intrusões graníticas possuem na diferenciação litológica e na elevação do RDE.

É válido destacar a repercussão hidrossedimentológica das fozes endorreicas de rios tributários no incremento do valor de RDEs no médio e baixo curso, uma vez que este índice é sensível às instabilidades do perfil de equilíbrio dinâmico do rio, ajustado segundo as descargas e tipos de leitos. Por isso, Etchebehere *et al.* (2004) informa que os RDEs estão atrelados com os níveis energéticos do rio que influi na sua capacidade de erodir, transportar e depositar a carga sedimentar de fundo.

Desse modo, acredita-se que as anomalias investigadas são decorrentes primariamente das diferenças litoestruturais, seguidas das confluências com tributários, dimensões dos depósitos aluviais, variações nas granulações da carga de fundo do rio e gradientes altimétricos presentes ao longo do perfil longitudinal côncavo do rio Santa Cruz.

Os RDEs também atestam porções do perfil longitudinal do rio com diferenciações na potência de energia da corrente e dos aportes de sedimentos ligados com a variabilidade das ações erosivas atreladas às oscilações pluviométricas e às resistências das rochas à erosão, como os exemplificados pelos segmentos 16, 22 e 23 e outros no baixo curso.

O menor valor estimado é do trecho 15, seguido do 9 que apresentaram RDEs iguais a 29 e 34 respectivamente. Esses resultados indicam áreas anômalas condicionadas por zonas com rochas foliadas e fraturadas, com baixas declividades e pouca diferenciações das rochas cristalinas, gerando trechos aplainados que favorecem a agradação da área e a sinuosidade do canal, bem como dirimindo a presença de tributários no trecho.

A partir do trecho 17, tem-se o princípio do baixo curso do rio Santa Cruz, onde há uma oscilação brusca entre esse trecho com o 18, por compreender o limite da ZCT e contato litológico. A partir daí, entre os segmentos 18 ao 20, os valores sobem gradualmente indicando

condições litoestruturais semelhantes ao longo do perfil. Após isso, os valores alternam em decorrências de falhamentos, lineamentos rúpteis e presença de diques ácidos.

Tratando da RDE total, o valor resultante foi 488, um valor altíssimo segundo a tipologia de Andrades Filho e Rossetti (2015). Tal resultado está congruente com o perfil longitudinal do rio Santa Cruz que é repleto de inflexões com ângulos de 90° resultantes, sobretudo, da sua complexidade litoestrutural herdada, majoritariamente, do Neoproterozóico.

Esse valor somente evidencia que o rio possui uma significativa quantidade de anomalias e extrapolações para além disso é algo incerto, visto que sua aproximação com a realidade é questionada, por exemplo, por Lima (2003) quando indica que a declividade geral de um perfil longitudinal é irreal e improvável por representar somente uma parte do referido e criar uma generalização ideal. Desta maneira, o autor aconselha o uso do índice somente para os trechos de um perfil por ser mais factível, embora não haja trechos com declives constantes. Desta feita, no que compete ao RDE total, Lima (2013) recomendando o uso do índice de gradiente (k), estando em conformidade com Seeber e Gornitz (1982).

6.5.3 Aplicação do índice razão entre largura do fundo e elevação do vale – RFAV

Com base na tabela 3, averigua-se que, por mais que os setores eleitos tenham inflexões vinculadas diretamente às estruturas litológicas sujeitas às ações tectônicas, os valores de RFAV foram superiores a 1 e não indicaram a existência de vales encaixados em “V” ou com divisores laterais pronunciados. Em campo, observou-se que os vales tendiam a forma de “U” e era expressivamente largos devido ao extenso processo de pediplanação que sofreram ao longo do tempo geológico. Assim não foram encontradas evidências de cachoeiras, rios escalonados, terraços aluviais ou indicativos de possíveis soerguimentos/reativação neotectônica que tenha impresso seus efeitos na paisagem.

Razão entre Largura do Fundo e Elevação do Vale – RFAV					
Perfis	Lfv	Ade	Add	Efv	RFAV
1	810,5	438	443	424	49,121
2	924,7	458	406	381	18,131
3	920,3	363	346	327,63	34,250
4	1242,6	341	339	312	44,378
5	3867,8	325	332	299	131,111
6	1040,8	305	305	296	115,644
7	607,7	298	303	288,75	51,719
8	1945,7	299	294	284,07	156,532

Tabela 3- Valores morfométricos do vale do rio Santa Cruz e os resultados do RFAV

Legenda: Altitudes dos divisores de águas da direita (Add) e da esquerda (Ade) do vale, elevação (Efv) e largura do fundo do vale fluvial (Lfv)

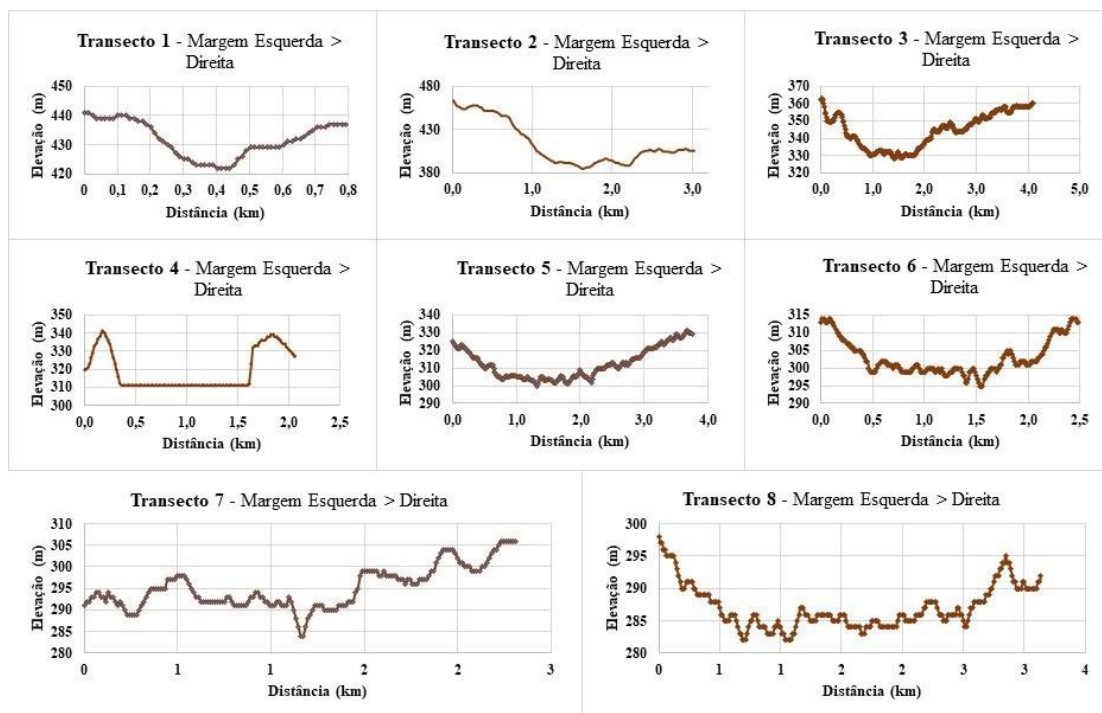


Figura 13 – Perfis topográficos de cada transecto do vale do rio Santa Cruz considerados para os cálculos de RFAV.

Os dados da tabela 3 indicam uma tendência de crescimento dos resultados de RFAV, partindo da nascente a foz do curso fluvial (perfil 1 > 8). Esse comportamento ocorre tendo em vista que, no limite leste da BH, o relevo é montanhoso (maciços cristalinos residuais e estruturais), logo com elevações maiores e vales relativamente estreitos (figura 13), contudo gradualmente o vale tende a ficar mais largo e as elevações decrescem devido às ações erosivas e à possível estabilidade tectônica na área.

Destá maneira, o vale fica largo e seus divisores são rebaixados (figura 13), repercutindo diretamente no aumento dos valores do RFAV. Além disso, os resultados do RFAV oscilaram do alto ao baixo curso do rio Santa Cruz por conta das especificidades de cada setor examinado. No perfil 1, foi obtido um RFAV de 49,121, pois este segmento é relativamente aplainado e sujeito às influências de uma fratura geológica que orientou o escoamento superficial e ampliou os efeitos erosivos no relevo.

O perfil 2 apresentou um resultado inferior (18,131) ao perfil 1 porque, esta parte do vale está entalhada entre duas zonas de cisalhamentos transpressionais dextral e sinistral, logo os seus divisores de águas são substancialmente elevados em relação ao fundo do referido (figura 13), que é mais largo que seu antecessor (figura 13), fazendo com que o RFAV decresça, mas não o bastante para sinalizar efeitos de reativações das falhas recentemente. Sendo assim, indica um vale submetido a erosão diferencial atualmente.

O RFAV do perfil 3 apresentou um acréscimo (34,250) diante do perfil anterior, pois a relação entre as altitudes dos divisores e o fundo do vale caiu em razão deste perfil situar-se no médio curso do rio e seus interflúvios serem significativamente rebaixados dado ao aplainamento regional (figura 4). Com isso, não exibiu indícios morfológicos de atividades neotectônicas.

O resultado do RFAV do perfil 4 (44,378) elevou-se em relação aos demais porque houve o aumento da largura e a diminuição das altitudes dos seus divisores de águas (figura 4), sinalizando um vale aberto e sem resquícios morfológicos de reativações neotectônicas. Os perfis 5 sinalizou uma perspectiva semelhante a citada, por isso seu valor foi de 131,111 e seu acréscimos diante do RFAV antecessor deve-se ao alargamento expressivo do valer fluvial.

Como o perfil 6 situou-se em um vale mais estreito que o presente no perfil 5 (figura 4), o seu valor de RFAV sofreu decréscimo, que também foi identificado no perfil 7 pelo mesmo motivo. Os estreitamentos desses vales ocorreram em virtude de lineamentos rúpteis/falhamentos e fraturas nesses setores do canal fluvial, por isso o vale ficou menos extenso.

O perfil 8 foi o que apresentou o maior valor de RFAV (156,532) representando a área da foz endorreica do rio, onde as elevações dos divisores são ínfimas e o vale é mais largo devido às ações da erosão remontante e paralela dos divisores de água (figura 13). Logo, não substanciando a possibilidade de reajustes do canal em face de possíveis reativações neotectônicas, mas diante do condicionamento litoestrutural da BH.

6.6 Considerações finais

A BH do rio Santa Cruz apresenta tanto áreas com superimposição da drenagem quanto com controle estrutural/morfoestrutural que implicam nas suas morfologias de modo que há a manifestação de padrões de drenagem distintos, como o paralelo, treliça e dendrítico e anomalias de drenagens, evidenciando o controle estrutural da paisagem.

Diante dos antecedentes, detectou-se que há quase três vezes mais lineamentos rúpteis do que dúcteis devido à suscetibilidade do primeiro a ser deformada por eventos tectônicos e pela acomodação crustal.

Os lineamentos dúcteis apresentam orientações para NE, NO e N porque remetem aos principais *trends* direcionais das deformações produzidas do final do Neoproterozóico, como a ZCT, os diques ácidos e as zonas de transcorrências. Contudo, outros eventos tectônicos atuaram na BH, porém as identificações de seus resultados demandam estudos específicos.

Os lineamentos rúpteis possuem *trends* preferenciais para NE e NO, oriundos do condicionamento das estruturas dúcteis, que condicionam as disposições dessas estruturas. As demais conformações relacionam-se com alívios de tensões mediante as atuações dos campos de forças sobre litotipos diferenciados. Frequentemente estão associados paralelamente, obliquamente ou perpendicularmente aos dúcteis

As áreas com maiores densidades de lineamentos são constituídas predominantemente por lineamentos dúcteis que de rúpteis, embora auxiliem no aumento das densidades nesses segmentos. Os lineamentos rúpteis estão presentes em todos os espaços da BH, embora sua representatividade seja reduzida na extremidade leste da BH devido às estruturas dúcteis.

Quanto às direções dos rios, a maioria dos canais de 1º e 2º ordens estão direcionados de N-S, seguidos por aqueles NE-SO, NO-SE e L. Evidenciando o controle estrutural da drenagem, visto que estão concernentes com as direções dos lineamentos citados. Quando se observa os *trends* preferenciais dos rios de 3º a 6º, nota-se a dominância da orientação L-O, depois NNE-SO, N-S e NO-SE, também por serem influenciados pelas estruturas Neoproterozóicas e pela falha do rio Poti.

Com base no valor do fator de assimetria (AF) na BH do rio Santa Cruz - 53,2, identificou-se um baixo rebaixamento/desnivelamento para a esquerda que implicou no número, na densidade e na direção de drenagens, notadamente dos pequenos tributários (1º, 2º e 3º) que são superiores no lado direito da BH em decorrência da sua maior área. Todavia, não evidenciou possível basculamento por atividades neotectônicas.

Os resultados de RDEs oscilaram e foram elevados do médio ao baixo curso da BH, onde as diferenças altimétricas são menores, as distâncias dos segmentos médios dos trechos são maiores em relação à nascente do rio, pois há mudança litológica e o aumento da potência do fluxo hidrossedimentológico. Isto posto, este índice também não indicou resquícios de possíveis ações neotectônicas, mas mudanças litológicas, áreas com confluências de tributários, áreas submetidas às fraturas e foliações e segmentos com fluxos hidrossedimentológicos variados.

O RFAV sinalizou que, embora haja várias anomalias de drenagens ao longo do rio Santa Cruz, os valores de RFAV foram superiores a 1 e não indicaram a existência de vales encaixados em “V” ou com divisores laterais pronunciados que denotam possíveis ações neotectônicas. Portanto, conclui-se que a BH é condicionada pela litoestrutura/morfoestrutura.

Não foram identificadas evidências de possíveis ações neotectônicas na paisagem aplainada e há setores que há a superimposição da drenagem.

7 GÊNESE E MORFOLOGIAS DAS PLANÍCIES FLUVIAIS DO RIO SANTA CRUZ, SERTÕES DE CRATEÚS, CE/BRASIL

7.1 Introdução

A planície fluvial é gerada quando o fluxo hidrossedimentológico, confinado no canal fluvial, extravasa para os espaços circundantes em razão das enchentes. Essas aportam uma elevada quantidade de água, sedimentos e energia, em um curto período, no canal fluvial que geralmente é configurado para um menor volume desses elementos, por isso há o extravasamento do fluxo para as margens (CHRISTOFOLETTI, 1981, NANSON; CROKE, 1992; ROCHA, 2011a).

Sendo assim, as águas fluviais espriam-se pelas margens e depositam sedimentos (clásticos, iônicos e orgânicos) compondo o leito maior e ajustando-se a uma situação de equilíbrio momentâneo perante o aumento súbito de matéria e energia no sistema fluvial (CHRISTOFOLETTI, 1980; FRYIRS; BRIERLEY, 2013). Contudo, uma vez que o período de enchente finda, o rio gradualmente retoma a sua condição habitual ocupando o leito menor e, posteriormente, o de vazante.

Com isso, os sedimentos são temporariamente estocados na planície fluvial e, sob condições de “equilíbrio dinâmico”, não passam por acréscimos ou diminuição representativas ao longo de anos em alguns casos, por isso a taxa de agradação de sedimentos é similar a de erosão (ROCHA, 2011a; 2011b). Porém, há ambientes em que o sistema fluvial não atinge o equilíbrio dinâmico e é moldado permanentemente por variados pulsos hidrossedimentares oriundos das variações pluviométricas.

Em razão das variações da topografia, vazão, temperatura, viscosidade, velocidade e fluxos turbulentos da água fluvial ao longo dos rios, diferentes tipos de sedimentos são depositados nas planícies conforme a inter-relação destes elementos. Assim, há a geração de feições geomorfológicas diferenciadas, com sedimentos e granulações distintas que indicam as atuações de processos específicos e suas intensidades no contexto fluvial (ERKENS *et al.*, 2009; WHEATHON *et al.*, 2015; HOOKE, 2016).

A literatura científica dispõe de vários modelos explicativos que tratam da gênese, morfologia e evolução dos sistemas fluviais (SCHUMM, 1956; CHISTOFOLETTI, 1980; NANSON; CROKE, 1992; VANDENBERGHE, 2002; BRIERLEY; FRYIRS, 2005; FRYIRS; BRIERLEY, 2013; WHEATHON *et al.*, 2015; THAYER; ASHMORE, 2016; SOUZA; PEREZ

FILHO, 2018; MEIRA *et al.*, 2019). Essa variedade é produto dos estudos da complexidade e dinamicidade desses sistemas na Terra.

Isto posto, presentemente há esforços para compreender as gêneses, características e as evoluções das planícies fluviais no Ceará. Contudo, a maioria dos trabalhos científicos cearenses que versam sobre a temática, limitam-se às análises de seus uso-ocupação recente (CRUZ, 2010; SILVA; SANTOS, 2014). Nesta perspectiva, estudos que examinam os aspectos geomorfológicos e correlacionam os estratos sedimentares com a geocronologia, por exemplo, são escassos, especialmente quando abordam as planícies fluviais do interior do território cearense.

Tendo em vista a necessidade de um maior entendimento desta unidade de paisagem das bacias hidrográficas cearenses, é imperativo analisar sua gênese, morfologia e evolução, bem como identificar quando, sob quais condições foram formadas e quais suas características estratigráficas. Isso é crucial para compreensão da sua morfodinâmica, traçar cenários evolutivos tendenciais, propor práticas de manejo sustentáveis ou subsidiar políticas públicas conservacionistas.

Neste enredo, emergem as seguintes questões: como e quando as planícies fluviais do rio Santa Cruz foram formadas? Quais suas constituições mineralógicas e granulométricas? Quais são suas principais morfologias? Há evidências de variações climáticas na sua composição e estrutura sedimentar?

Diante disso, parte da hipótese de que as planícies fluviais possuem características granulométricas arenosas e geocronologias que remete ao quaternário, notadamente nos últimos 6.500 anos quando o clima semiárido passou a vigorar no Nordeste do país. Portanto, objetivou-se identificar os principais processos genéticos, as morfologias e a cronoestratigrafia e das planícies fluviais do rio Santa Cruz, localizada nos Sertões de Crateús-CE/Brasil.

7.2 Metodologia

Para a realização desta pesquisa, elegeu-se como método abordagem, o sistêmico, proposto por Bertalanffy (1977) porque permite a compreensão integrada das inter-relações funcionais estabelecidas entre os fenômenos naturais e sociais. Portanto, entendendo a realidade como um todo indissociável e dotado de características próprias.

O conceito de paisagem adotado é o de Bertrand (1979) que a define como “[...] uma determinada porção do espaço, o resultado da combinação dinâmica, portanto instável, de

elementos físicos, biológicos e antrópicos que, reagindo dialeticamente uns sobre os outros, fazem da paisagem um único e indissociável, em perpétua evolução”.

Tratando dos métodos procedimentais, este foi segmentado em várias etapas para abranger diferentes tipos de análises do objeto amostral. Inicialmente, foi feito sucessivos levantamentos bibliográfico, geocartográficos e de artigos científicos na rede mundial de computadores (Internet) que abordem a temática.

A identificação e caracterização ambiental da planície fluvial do rio Santa Cruz foram desenvolvidas a partir da bibliografia existente, das análises espaciais e dos trabalhos de campo, onde foram feitas análises e coletas de amostras pedológicas para exames laboratoriais.

Posteriormente, observou-se as imagens de satélite do Google Earth Pro entre 2006 e 2020 porque são as que apresentam melhores resoluções espaciais para a área, portanto são ferramentas importantes na análise espaço-temporal das planícies e da BH. Com isso, foi possível definir áreas estratégicas para os trabalhos de campos, assim como os pontos representativos estudados.

O perfil longitudinal do rio Santa Cruz foi desenvolvido a partir da extração da rede de drenagem no *software TerraViewHidro 0.4.5*, utilizando a imagem do sensor *Phased Array Type L-Band Synthetic Aperture Radar (PALSAR)* a bordo do satélite Alos, com pixel de 12,5m. Com as obtenções das métricas longitudinais e das suas variações altimétricas ao longo do seu curso, os dados foram tabulados no Excel, onde se construiu um gráfico e determinou-se a linha de tendência do canal que reflete as áreas propícias a erosão, equilíbrio e agradação no rio.

Foram feitos também 60 transectos perpendiculares a alguns trechos representativos das planícies fluviais e ao rio Santa Cruz para mensurar suas larguras e, no caso das primeiras, obter as suas declividades por meio da divisão de suas larguras pelas diferenças altimétricas que apresentam. Este procedimento foi adotado para aferir as variações do canal fluvial e sua implicação nas declividades e dimensões das planícies mencionadas.

O mapeamento das morfologias de três segmentos das planícies fluviais foi desenvolvido por meio da vetorização manual das imagens dos anos de 2012 e 2013 do Google Earth Pro por deterem as melhores qualidades espaciais e apresentarem as formas do sistema estudado. Os recortes e polígonos foram exportados para o Qgis, onde foram avaliados e inseridos os elementos cartográficos e feito o mapa.

Após a observação de cinco perfis em cortes de estradas, notou-se que o pacote sedimentar habitualmente era superior a três metros de espessura e possui estruturas maciças, não sendo possível determinar os seus estratos e estruturas demandadas pela estratigrafia clássica (TUCKER, 2014). Assim, viu-se a necessidade de aplicar a pedostratigrafia porque os sedimentos foram pedogenizados e apresentavam cores, estruturas e transições dos horizontes e camadas decorrentes disso.

Isto posto, perfurou-se duas trincheiras manualmente, no médio curso do rio, nas seguintes coordenadas geográficas e altitudes: Perfil 1 (5°22'31"; 40°15'27" e 316 m) e Perfil 2 (5°19'21"; 40°25'3" e 311 m). Cada um com um metro de largura, dois metros de comprimento e a profundidade foi até o afloramento do lençol freático ou onde não era mais possível perfurar manualmente. O médio curso foi eleito porque detém planícies desenvolvidas, relativamente conservadas, com acessibilidade por ser representativa para fins deste estudo.

Em cada trincheira foram examinados perfis em busca de estruturas resultantes do processo deposicional, porém não foi possível detectá-las visualmente. Em seguida, procedeu-se os exames pedostratigráficos (mensurações dos perfis, camadas e horizontes, além da busca por horizontes enterrados, presença de raízes, rizoconcreções, conchas, ossos, carvões, por exemplo) segundo o manual de solos de Teixeira *et al.* (2017).

Com isso, os perfis tiveram seus horizontes e camadas delimitados, mensurados e fotografados. Objetivando identificar descontinuidade litológica, estratos sedimentares distintos e verificar se coincidem com a delimitação pedológica, foram coletados 300 gramas de sedimentos a cada 30 cm, do início à base de cada perfil. Essas amostras foram ensacadas e enviadas ao Laboratório de Solos da FUNCEME/UFC, onde foram estimadas suas frações granulométricas, no qual as frações silte e argila foram obtidas via o método da pipeta e o da areia por meio da dispersão com hidróxido de sódio (NaOH 1 Mol/L) e peneiramento conforme indicado por Teixeira *et al.* (2017).

Paralelamente, fez-se o fracionamento granulométrico da areia em cinco classes (1mm – areia muito grossa; 0,5mm areia grossa; 0,25mm – areia média; 0,106mm areia fina e 0,053 – areia muito fina) por meio do peneiramento segundo o método sugerido por (TEIXEIRA *et al.*, 2017). Este procedimento foi feito para identificar qual é a fração arenosa dominante no processo de deposição e construção das planícies fluviais do rio Santa Cruz.

Como os sedimentos aluviais sofreram pedogênese, executou-se os exames morfológicos *in situ* de acordo com orientações de Santos *et al.* (2018) e Santos *et al.* (2018a).

Após isso, foram coletados um quilograma de cada horizonte e camada dos perfis para fins de análises físico-químicas no Laboratório de Solos da FUNCEME/UFC, empregando as metodologias de Teixeira *et al.* (2017).

Quanto à coleta e análise geocronológica dos sedimentos dos aluviões, foram usados canos de aço e de PVC (Policloreto de Polivinila) preto, com 40 cm de comprimento e com sacos pretos em seu interior. Estes foram inseridos mecanicamente em cada início e fim dos horizontes e camadas, com intuito de coletar material para datação pela Luminescência Ópticamente Estimulada - LOE sem a interferência da luz solar, conforme as orientações do guia de coleta do Laboratório de Espectrometria Gama e Luminescência – LEGAL (Anexo A).

Os tubos de PVC foram retirados do pacote sedimentar, evitando a exposição do material em seu interior com a luz solar. E seguida, foram envoltos em papel alumínio e lacrados com fita adesiva opaca. Além disso, foram coletadas 500 gramas de sedimentos de cada ponto amostrada para a determinação da taxa de dose de radiação. Assim, as amostras foram enviadas para o LEGAL do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (USP).

No LEGAL, todos os sedimentos foram retirados dos canos em luz vermelha e a taxa de dose foi estimada por espectrometria gama com detector HPGe em blindagem *ultralow background*. A dose equivalente foi determinada pelo protocolo SAR em alíquotas multigrãos de quartzo. As medidas de luminescência opticamente estimulada foram realizadas em leitor Risø TL/OSL DA-20 equipado com fonte de radiação beta (Sr/Y) com taxa de dose de 0.076 Gy/s.

A preparação das alíquotas de quartzo envolveu: 1. Peneiramento a úmido para aquisição da fração 180-250 μm ; 2. ataque com H₂O₂ para eliminação de matéria orgânica, ataque com HCl 10% para eliminação de carbonatos; 3. separação densimétrica de minerais pesados e leves (LMT = 2,75 g/cm³) e separação de quartzo (LMT = 2,62 g/cm³); 4. ataque com HF 38% por 40 min para eliminação da camada externa dos grãos de quartzo e feldspatos remanescentes.

A dose equivalente da amostra foi calculada pelo modelo de idade central (*Central Age Model*). Somente alíquotas com razão de reciclagem (*recycling ratio*) entre 0,9 e 1,1, recuperação inferior a 5% e sem contaminação por feldspato (sinal IR) foram consideradas para cálculo da dose equivalente. Desse modo, obteve-se as datações das deposições dos grãos sedimentares que formaram as planícies fluviais.

7.3 Resultados e discussões

7.3.1 Sistema rio-planície e sua distribuição na BH do rio Santa Cruz

Com base nas análises espaciais realizadas, observou-se que as planícies fluviais do rio Santa Cruz possuem localizações, dimensões e morfologias variadas em razão das especificidades ambientais de cada setor do sistema fluvial. Christofolletti (1981), Nason e Crocke (1992), Fryirs e Brierley (2013) e Rocha e Rocha (2011a) também observaram isso nos seus estudos e indicam que ocorre por conta das inter-relações particulares estabelecidas entre os sistemas rio-planícies.

Os principais fatores que repercutem positivamente para a geração das planícies são: a baixa declividade, a quantidade de fluxos hidrossedimentares, as sinuosidades do rio, a rugosidade da superfície ou o aplainamento geomorfológico, a presença de vegetação, obstáculos no canal fluvial e o aumento repentino do fluxo hidrológico derivado dos aportes dos canais tributários. Assim, esse são fatores relevantes para a gênese e sua configuração geomórfica.

O gráfico 2 apresenta o perfil longitudinal do rio Santa Cruz, ilustrado pela linha azul, e a linha de tendência em vermelho. Verifica-se que a BH é relativamente concava e que, com exceção do seu alto curso, nos primeiros 18,5km, as declividades e o caimento topográfico são sutis devido ao aplainamento da área, por isso sua morfologia dominante é suave ondulada a plana. Isso implica na configuração dos canais e das planícies fluviais ao longo de todo o perfil exposto, visto que podem inibir ou propiciar a geração de vales mais largos e das planícies.

De acordo com o gráfico 2, no alto curso há o predomínio dos processos erosivos porque a linha do perfil do rio está acima da tendência, por isso as planícies existentes nesse setor são menos expressivas e suas origens estão relacionadas às particularidades ambientais presentes no sistema fluvial, de acordo com os fatores citados.

Já o médio curso, que está abaixo da linha de tendência, evidencia-se um espaço propício à agradação dos fundos dos vales. Desta maneira, as planícies são amplas e complexas nessa parcela do curso fluvial. Ademais, trata-se de um espaço em que há confluência de inúmeros tributários, elevando significativamente os aportes hidrossedimentológicos nos sistemas rio-planícies, corroborando para geração das supracitadas.

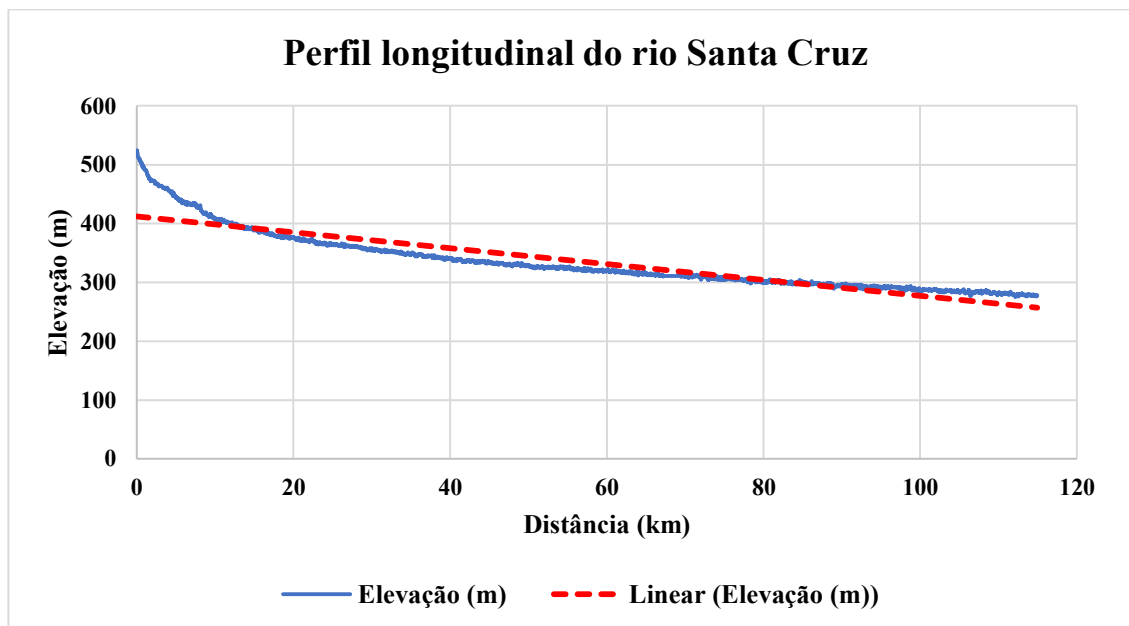


Gráfico 2 – Perfil longitudinal e linha de tendência do rio Santa Cruz- Sertões de Crateús-CE/Brasil.

Após os 84 km iniciais do rio, há a consolidação do baixo curso, o gráfico 2 demonstra um potencial erosivo nessa parcela, embora tradicionalmente seja um segmento marcado pela agradação. Esse comportamento deve-se aos aspectos litoestruturais presente nessa área (Zona de Cisalhamento Tauá – ZCT e lineamentos de alívio de tensões provenientes da orogênese Neoproterozóica) que deformaram significativamente a crosta, por meio de dobramentos, plutonismo e formações de diques ácidos mais resistentes às ações erosivas. Essa situação também repercute na variação altimétrica e na dissecação diferencial da paisagem, notadamente no âmbito do canal fluvial e no ciclo sedimentar da BH.

Não obstante, no baixo curso, o vale e seu fundo são alargados pela erosão fluvial, potencializada pela maior quantidade de água e sedimentos dos setores à montante. Isso resulta na gênese e nos modelados das planícies que se diferenciam das existentes, por serem mais complexas, maiores e possuem, por exemplo, um ou mais rios secundários que podem avulsarem e são influenciados por um considerável número de fozes de rios tributários.

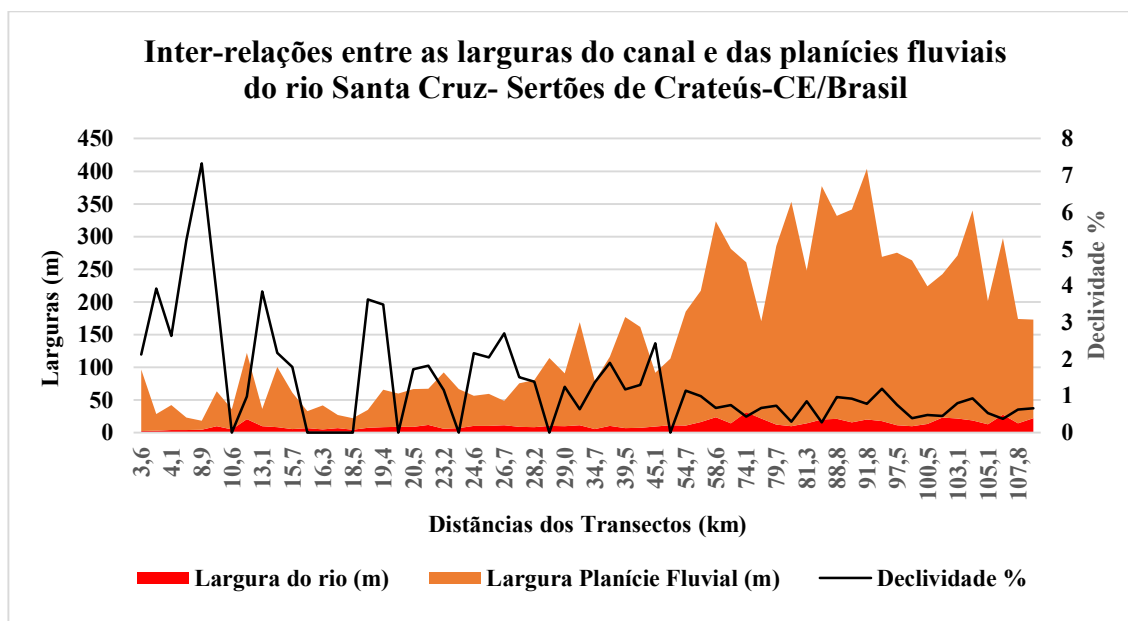


Gráfico 3 - Inter-relações entre as larguras do canal e das planícies fluviais do rio Santa Cruz- Sertões de Crateús-CE/Brasil

O gráfico 3 apresenta os dados obtidos a partir dos 60 transectos realizados perpendicularmente ao canal do rio Santa Cruz e em suas planícies. Com isso, obteve as métricas das larguras do canal fluvial e das planícies, bem como declividades destas.

Diante do gráfico 3, dos trabalhos de campo e das análises das imagens de satélites ao longo de todo o rio Santa Cruz, constatou-se que as planícies inexitem nas porções mais elevadas e declivosas do alto curso fluvial porque são áreas em que há a prevalência da erosão, em detrimento da agradação. Porém, assim que o relevo perde altitude e declividade, inicia-se a geração de delgadas planícies fluviais, principalmente, nos rios iguais ou superiores a terceira ordem porque os inferiores não possuem fluxos hidrossedimentares suficientes e desenvolvem-se sobre relevos com maiores declividades que inviabilizando a formação de uma planície de inundação.

O gráfico 3 demonstra que as primeiras planícies fluviais estão a 3,6 km da nascente. Essas são pontuais e delgadas, formaram-se sobretudo nas margens concavas do rio, por meio da acresção de barras laterais e pela dinâmica do canal frente aos pulsos hidrossedimentares durante as enchentes. Isso gerou planícies pouco espessas (< 3m) e com até 30 m de largura, enquanto a margem oposta há atuações da erosão, criando assimetrias nas larguras e distribuição das planícies ao longo do sistema fluvial.

As alterações das larguras das planícies de inundação, no alto curso, estão condicionadas pela a maior concavidade do rio, aplainamento da superfície, sinuosidade e/ou contribuição de

um tributário. Neste caso, tende a maximizar a expressão espacial das planícies fluviais pelo aumento repentino do fluxo no canal que desencadear inundações de suas margens. Deste modo, somente não há aluviões sobre as encostas dos maciços estruturais ou residuais por suas declividades acentuadas.

Nos trechos relativamente retilíneos do rio, não há planícies fluviais porque são áreas com poucos ou nada de rios tributários e detêm uma pronunciada incisão vertical do canal decorrente do controle estrutural. Isso propicia o aumento da energia cinética do fluxo hidrossedimentar no sistema, facilitando o escoamento e mitigando as inundações nas adjacências do rio, portanto as planícies aluviais e a largura do canal possuem proporções reduzidas.

Embora o gráfico 3 aponte pela contiguidade das planícies ao longo de todo o rio, há segmentos que elas inexistem ou que possuem expressões diminutas em razão das oscilações ou ausências dos fatores expostos no sistema fluvial. Nesta perspectiva, as planícies fluviais têm morfologias, tamanhos e gêneses atrelados ao contexto ambiental de onde se formaram.

Com o gráfico 3, percebeu-se que as métricas analisadas não são constantes, embora apresentem um cenário tendencial. Afinal, as variações das larguras das planícies fluviais estão condicionadas por diversos fatores. As maiores larguras das planícies, entre os transeptos 1 ao 39, estão correlacionadas com superfícies geomorfológicas rebaixas onde há confluência dos riachos com o rio principal.

O gráfico 3 também mostra que a linha da declividade oscila mais nos primeiros 54,7 km do rio porque por conta das variações de tamanhos e cotas altimétricas estabelecida da borda do canal até o início dos pediplanos. Depois desse trecho, a declividade assume uma estabilidade relativa expressa pela diminuição dos picos de declives causados pelo seu maior desenvolvimento, condicionamento dos lineamentos da ZCT, o maior aumento do fluxo hidrossedimentar e presenças de rios tributários.

Os dados do gráfico 3 sugerem que quanto maiores as declividades das margens, menores serão as larguras das planícies fluviais e do canal. Tal fato ocorre porque os transectos 2, 4, 5, 6, 9, 16 e 17, que apresentam aclives sutilmente elevados, estão presentes no alto curso da BH, no qual o canal percorre trechos aproximadamente retilíneos, onde há um maior entalhe do relevo e quantidades reduzidas de fluxos hidrossedimentares em comparação com as porções à jusante.

Além disso, com os trabalhos de campo e dados apresentados detectou-se que as planícies de inundação são mais desenvolvidas nas porções menos declivosas do canal e onde ele é largo,

sugerindo um segmento com maiores fluxos hidrossedimentológicos e com predomínio da agradacão fluvial. As declividades do fundo do vale também refletem as atuações do condicionamento estrutural e as ações dos processos erosivos sobre rochas com resistências distintas que contribuem para uma maior agradacão de sedimentos fluviais em determinadas parcelas do sistema fluvial.

Por isso, é possível verificar que as maiores planícies fluviais surgiram onde o vale é mais largo (médio ao baixo curso), sujeito a maiores pulsos hidrossedimentares das enchentes, de tributários e onde as declividades das margens são menores, geralmente, inferiores a 2%. Em razão disso, a partir do transecto 30, há o aumento considerável das larguras das planícies e do canal por estarem situados no médio e baixo curso da BH.

Após o transecto 38, as planícies fluviais maximizam suas larguras e esse comportamento está condicionado por diversos fatores, dentre as quais estão as influências da Zona de Cisalhamento Tauá no controle morfoestrutural do médio curso da BH; fundo de vales largos, planos e pouco declivosos ($< 1\%$); baixa profundidade do rio (< 3 metros); ocorrências de confluências com tributários caudalosos; e a bi ou tripartição do canal principal durante os eventos máximos de cheias.

Quanto às larguras do rio, nota-se que há um crescimento variável do canal a partir do transecto 35. Neste trecho o rio recebe maiores fluxos hidrossedimentares, por isso o canal tende a ajustar-se a essa condição e tornar-se largo. Conduto, o rio costuma ter canais múltiplos depois do transecto 35 porque o canal fluvial apresenta baixa declividade ($< 2\%$) e em razão dos grandes pulsos hidrossedimentares causados pelas chuvas torrenciais. Assim, o canal ajusta-se constantemente aos fluxos variantes que recebe, tornando a morfologia fluvial complexa, composta por rios que avulsionam e que alargam as planícies fluviais.

Após 91,8 km da nascente, percebe-se que as planícies fluviais se tornam menos largas gradualmente, embora a tendência fosse de uma expansão. Tal comportamento está atrelado à mudança altimétrica no perfil longitudinal do rio conforme exposto no gráfico 2, cuja linha de tendência sugere que a área está mais susceptível às ações erosivas. Além disso, frisa-se que este segmento não é diretamente afetado pela ZCT, mas por sistemas de fraturas e diques ácidos que persistem como cristas na paisagem. Portanto, afetando a morfoestrutura, a tropia e a forma do vale.

7.3.2 Gênese, morfologia e pedoestratigrafia das planícies fluviais do rio Santa Cruz

As planícies fluviais do rio Santa Cruz são elementos geomórficos complexos e poligenéticos porque foram construídas a partir das enchentes causadas pelas chuvas torrenciais temporo-espacialmente irregulares. Essas promoveram o aumento das descargas hídricas nos fundos dos vales que, por sua vez, depositaram sedimentos com constituições e granulações variantes conforme a fonte do material e o nível de energia do fluxo no sistema fluvial.

Frequentemente, as granulações maiores que a fração areia grossa ficam restritas no canal fluvial, onde o fluxo detém maiores níveis energéticos. Enquanto isso, nos diques e nas planícies proximais e distais os sedimentos são menores por conta da perda de energia do fluxo hidrossedimentar ao espalhar-se por uma área larga, rugosa, menos declivosa e mais elevada que a do canal.

Após as observações e análises das planícies fluviais existentes ao longo do rio Santa Cruz e seus tributários, percebeu-se que foram geradas principalmente pelos processos de acreção vertical e lateral ou pela combinação de ambos, sendo este o responsável pela gênese da maior parte das planícies mais desenvolvidas.

A construção de planícies a partir de rios entrelaçados ou meandrantos não se aplica para o objeto examinado em razão da inexistência desses tipos de rios; apesar de haver processos morfogenéticos relativamente semelhantes aos ocorrentes nesses sistemas, como a construção de planícies em pontal ou por conjuntos de barras longitudinais, restritas a dados setores.

O rio Santa Cruz é condicionado pelo clima tropical quente semiárido, com chuvas temporo-espacialmente irregulares e temperaturas médias anuais entre 26°C a 28°C (CEARÁ, 2017). Essa característica associada à litologia cristalina faz com que seja um rio intermitente em meio a uma região onde prevalece o intemperismo físico, que fragmenta as rochas cristalinas félsicas, fontes da maior parte dos siliciclastos arenosos presentes nos canais e em suas planícies fluviais.

Os rios de segunda ordem não possuem planícies fluviais, porém alguns demonstram características precursoras para as referidas. Isso ocorre quando um canal de segunda ordem, repentinamente, sofre com a perda da declividade e o seu fluxo é desconfinado, escorrendo como uma pluma de água e os sedimentos que posteriormente retomam para um canal. Tal manifestação diferenciam-se de leques aluviais e assemelha-se ao que ocorre nos canais entrelaçados, porém em menores proporções e sem a formação de barras, mas somente de delgados sucros erosivos.

Uma manifestação que gera planícies fluviais foi visualizada a partir dos rios de terceira ordem, especificamente, nos rios que possuem sinuosidades decorrente de fraturas, falhas ou erosão diferencial do substrato cristalino. Tal sinuosidade juntamente com a carga de fundo arenosa e sob ações das enchentes, criam barras laterais na margem convexa do rio que são estabilizadas pela vegetação e pela inexistência temporária de enchentes.

Isso, cria uma assimetria progressiva no canal e em suas planícies, visto que na margem convexa há deposições graduais e há erosão na concava, minimizada somente nas maiores enchentes por causarem deposições nesse setor devido ao avulsamento ou deslocamento do canal. Com o transcorrer temporal, a barra lateral cresce ao ponto de estabelecer-se como uma pequena planície fluviais estabilizada pelos vegetais, condicionando o deslocamento do rio e acentuando a sinuosidade.

Porém, esse processo pode ser potencializado ou minimizado dependendo dos pulsos hidrossedimentares e da fitoestabilização, que podem ser alterados com as enchentes excepcionais, que criam canais secundários (*bypass*) sobre essas planícies jovens, favorecendo, em alguns casos, a avulsão do canal principal e geração de barras centrais ou pequenas ilhas fluviais estabilizadas pela vegetação. Em síntese, essa situação assemelha-se ao princípio do processo de crescimento de barra em pontal presente nos sistemas de rios meandrantés, porém sem a sua complexidade geomórfica.

Nos trechos de rios aproximadamente retilíneos geralmente não há planícies pelos motivos mencionados, porém há alguns trechos, no médio curso, onde um rio simétrico recebe um aumento repentino do fluxo hidrossedimentar que extravasa do canal e supera os diques marginais, formando um *crevasse splay* também chamada de canal de crevasse. Nesse caso, os diques costumam ser desenvolvidos, as planícies são pouca largas (< 30 metros) e inclinada para o canal (1,3% a 1,8%).

As planícies mais desenvolvidas da BH do rio Santa Cruz foram geradas por processos de acreções horizontais e verticais porque situam-se em uma porção do relevo que drena uma elevada quantidade de matéria e energia advindas do canal do rio principal e das contribuições de seus tributários. Nesta perspectiva, as maiores planícies fluviais se formaram onde há a confluências de rios ou riachos.

Neste caso, há duas situações distintas: a junção de canais tributários com o principal ou a ocorrência de um rio tributário paralelo ao canal principal. No primeiro caso, quando um rio tributário conflui para o principal, o sistema é desorganizado e o canal principal aumenta de

tamanho para ajustar-se à nova situação. Nas imediações da bifurcação fluvial, formam-se planícies desenvolvidas pelas acreções horizontais, condicionadas pela geração de barras laterais, segundo exemplificadas por Brierley e Fryirs (2005).

O choque entre as massas de águas dos dois rios eleva localmente o nível hídrico, potencializando a inundação e a acresção vertical das planícies na área se ambos estiverem sob regime de enchentes. Caso contrário, a acresção ocorrerá horizontalmente por meio da aglutinação de barras laterais nas margens concavas.

No segundo caso, as planícies tendem ao maior nível de complexidade e desenvolvimento porque são geradas onde há a maior quantidade de confluências de tributário e uma superfície pouco declivosa susceptível às inundações durante as enchentes extraordinárias.

Em alguns casos particulares, a baixa declividade (<2%) da superfície possibilita que o canal principal e um ou mais tributário bifurquem-se e drenem uma área paralelamente. Embora possuam canais de *bypass* ou ligações entre ambos. Essa situação cria uma planície complexa porque cada rio está sujeito as variações pluviométricas em suas BHs, logo há períodos em que o rio principal enche e afoga a foz do seu tributário, mas se ambos estiverem com sob influências de grandes enchentes, tornam-se um rio único que inunda toda a planície. Assim, cria-se uma planície com vários canais e diversas formas decorrentes das ações das dinâmicas desses canais em resposta aos eventos hidrometeorológicos.

7.3.3 Morfologia das planícies fluviais do rio Santa Cruz

A diversidade de processos e fatores que geraram as planícies fluviais do rio Santa Cruz deixaram algumas morfologias que indicam parcialmente como essa unidade de relevo foi construída e evoluiu até o presente. A partir da interpretação geomorfológica é possível compreender como foram desenvolvidas, desta maneira foram selecionados três segmentos representativos das planícies de inundações que apresentam tais evidências (Mapa 14).

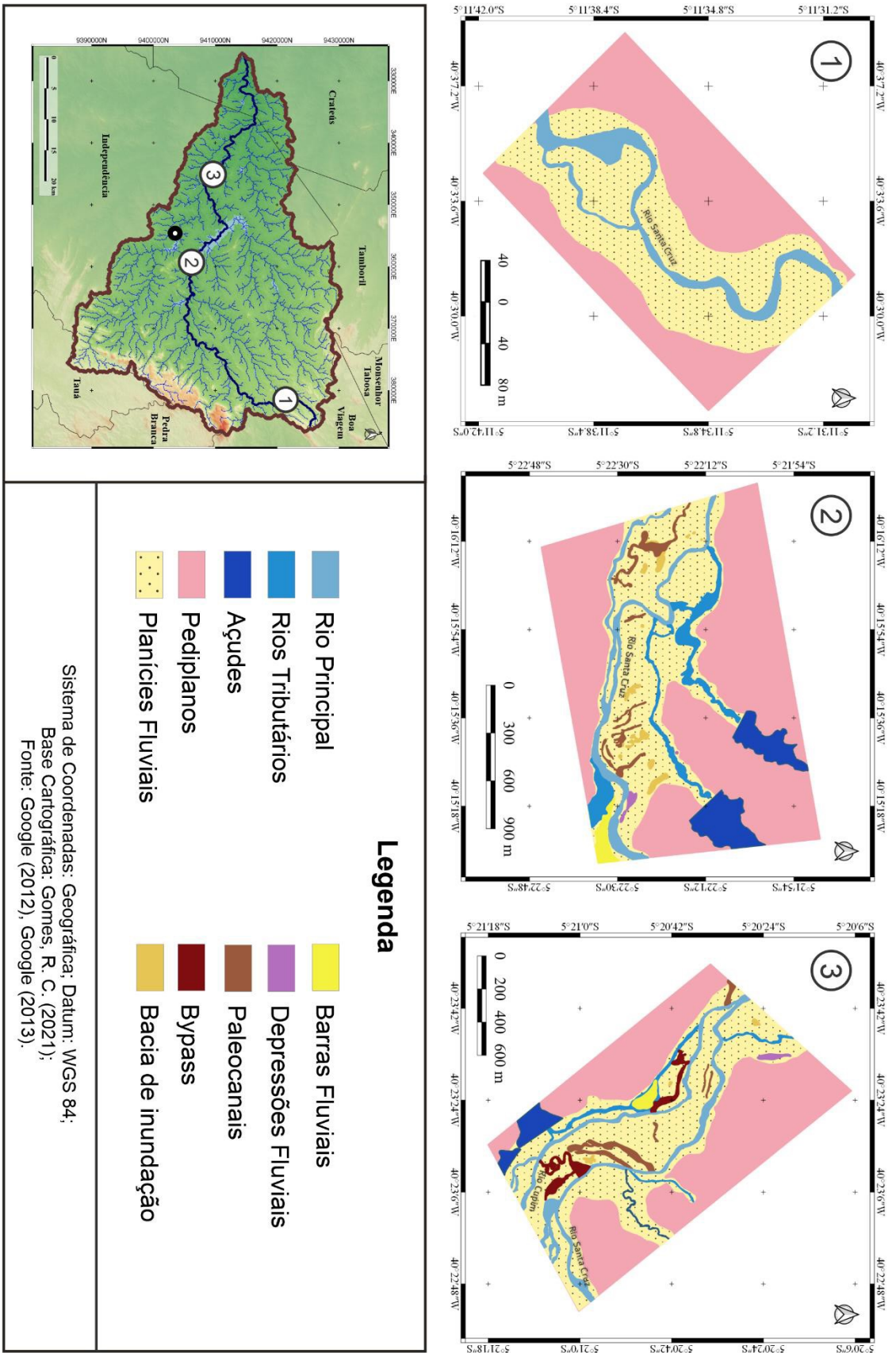
A primeira ilustração do Mapa 14, representa uma planície presente no alto curso da BH, onde a sinuosidade do canal propiciou a acresção horizontal de barras laterais que acentuou a assimetria do canal nos extremos N e S da planície, enquanto a parte central, embora sutilmente sinuosa, possui planícies relativamente simétricas em suas margens. O canal secundário que sulca a planície somente é ativado quando há enchentes extremas, caso contrário o fluxo segue pelo canal principal que é mais espesso.

Quanto às morfologias sobre as planícies de inundação na primeira ilustração do Mapa 14, foram identificados um canal secundário, que serve como um *bypass* quando há grandes enchentes, pontais, pequenas barras laterais e sulcos erosivos sobre a planícies que não foram mapeados devido aos seus tamanhos diminutos. Quanto aos sulcos são resultantes do uso inadequado da terra, visto que essa seção é empregada como um campo agrícola e não possui vegetação.

A segunda ilustração do Mapa 14 compreende uma planície de inundação do médio curso influenciada por três rios tributários. Nota-se que a referida possui mais morfologias que a primeira descrita porque há bacias de inundações, paleocanais, *bypass*, canais secundários e grandes barras longitudinais e laterais. Com base nas localizações e tipos dessas morfologias, percebe-se que essa planície foi criada a partir dos fluxos de todos os cursos fluviais envolvidos que confluíam para o rio principal. Tal constatação é fundamentada pelas disposições dos paleocanais e das bacias de inundações.

O rio principal detinha um trajeto L-O, mas graças aos aportes sedimentológicos de seus tributários e das acresções horizontais em suas planícies, seu curso foi orientado de NE-SO, contribuindo para a evolução de um pontal que ainda guarda marcar dos paleocanais. As bacias de inundações são eram paleocanais parcialmente colmatados após sucessivas inundações, conferindo uma morfologia irregular sobre as planícies examinadas. Os rios secundários e *bypass* somente são ativados durante as enchentes e que os dois canais presentes a NE foram reorientados para SO devido à evolução da planície citada.

Ademais, o desenvolvimento dessa planície e a reorientação do rio criou condições para que esse trecho seja mais vulnerável às ações das enchentes porque houve o aumento da sinuosidade do canal fluvial e diminuição da declividade do terreno graças a agradação. Presentemente, os efeitos das inundações na evolução desse sistema foram minimizados por conta dos longos anos de seca e porque foi construída uma estrada e passagem molhada nessa porção.



Mapa 14 – Morfologias presentes em três segmentos representativos das planícies do rio Santa Cruz,

A terceira representação do mapa 14 ilustra o trecho mais complexo da planície fluvial do rio Santa Cruz por sua localização sobre a ZCT, que implicou na maior dissecação do relevo neste ponto, está no médio curso e sujeita aos aportes hidrossedimentológicos de tributários, em especial o rio Cupim. Como a área é deprimida e pouco declivosa (<2%), o rio Santa Cruz bifurca-se em diversos canais que são utilizados exclusivamente durante as enchentes, caso contrário somente o principal conterà o escoamento.

Inicialmente, há um delgado canal de *bypass* entre o rio Santa Cruz e do Cupim que possibilita que o primeiro afogue a foz e parte do trecho do segundo quando este não tem descarga suficiente. Nas situações normais, durante o período chuvoso, ambos desenvolvem suas drenagens paralelamente, contudo quando há enchentes em ambas BHs, ocupam toda a planície e comportam-se como um único rio.

Diante dessas dinâmicas, a planície de inundação passa por constantes ajustes em razão dos pulsos que recebe e isso deixa registros em suas superfícies, por exemplo. Por isso, a terceira ilustração do mapa 14 evidencia uma rede de canais secundários e *bypass* que geram barras laterais e centrais e bacias de inundações. Embora essa planície seja empregada para fins agrícolas, ainda guarda morfologias dos eventos e processos formativos, por isso sua superfície é irregular e constantemente intercalada por canais, paleocanais, barras, diques marginais e bacias de inundação.

7.4 Pedostratigrafia dos perfis 1 e 2: aspectos morfopedológicos, físico-químicos e cronoestratigráficos

7.4.1 Pedostratigrafia dos perfis 1 e 2

As trincheiras foram escavadas sobre planícies de inundações ativas a 30 metros do canal principal. Com as escavações, foi possível observar perfis pedostratigráficos 1 e 2 sobre as planícies fluviais do rio Santa Cruz conforme apresenta a Figura 14. Preliminarmente, os perfis foram observados para detecção de possíveis elementos deposicionais (camadas, linhas de seixos, imbricamento de grãos, materiais bioclastos, rizoconcreções, horizontes enterrados, descontinuidade erosiva ou litológica e estruturas de liquefação), porém tais evidências não foram encontradas.

Os perfis 1 e 2 apresentaram estruturas sedimentares maciças e não foram identificadas variações estratigráficas ao ponto de permitir uma estratificação a partir dos seus elementos geológicos, tendo em vista que os materiais passaram por pedogênese que auxiliou na transformação dos sedimentos em solos. Com isso, procedeu-se o exame pedostratigráfico por

meio de delimitação dos horizontes e camadas empregando as orientações de Santos *et al.* (2018).

As descrições das análises feitas nos perfis (Figura 14) encontram-se presente no Anexo B. Tais solos detêm espessuras variáveis segundo as especificidades das planícies de inundação, porém apresentam mais de três metros de espessura e foram compartimentados com os seguintes horizontes e camadas: Ap1, Ap2, 2C1, 3C2, 4C3, 5C4, 6C5. Em tais solos não foram observados horizontes B o que os enquadram na classe dos Neossolos, além disso, em virtude do material ser aluvial, há descontinuidade litológica, embora não seja evidente visualmente.

Assim, como ambos os solos estão em campos agrícolas e sofreram adições de materiais orgânicos nos primeiros 80 cm, esses horizontes foram denominados de Ap1 e Ap2 que os diferenciam pelas quantidades de raízes e matéria orgânica e indicam que são empregados para fins agropecuários. Já as camadas C e suas variações deve-se às descontinuidades litológicas e as variações de cores e estruturas em seu corpo.

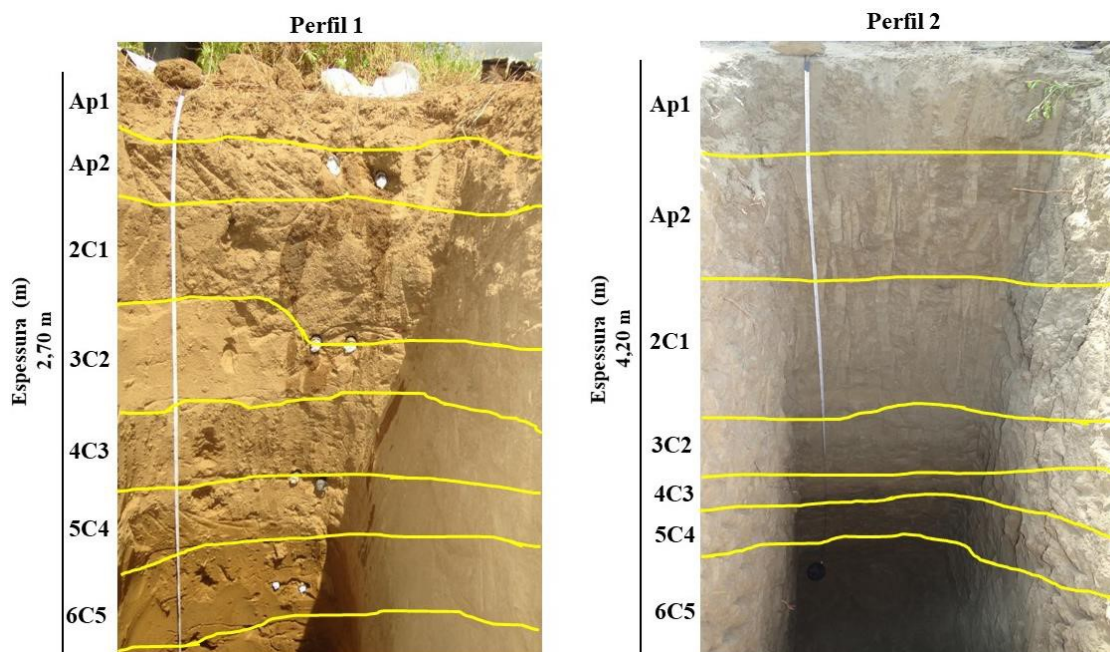


Figura 14 – Perfis 1 e 2 mensurados e segmentados conforme às suas características pedostratigráficas.

Os perfis compartilham de colorações semelhantes, visto que as amostras úmidas (10YR 3/2 a 4/4) demonstraram poucas alterações e remetem à coloração dos sedimentos arenosos e dos aportes de matéria orgânica que reduziu o croma nas colorações dos horizontes A. Quando secos, as amostras esboçam colorações de creme claro, diferenciando-os dos demais solos das encostas, por serem mais pálidos e conterem menores quantidade de óxidos de ferro.

Com relação às estruturas, geralmente são grandes a muito grandes dos tipos prismáticas, em blocos angulares, não contêm cerosidades ou *slickensides*. Ademais, suas consistências secas, úmidas e molhadas são, respectivamente, duras a muito duras; friáveis a muito friáveis; pegajosas a ligeiramente pegajosas. Ressalta-se que habitualmente não há pedregosidades os cascalhos em seus corpos.

Estas características estão correlacionadas com as frações granulométricas dominantes nos perfis que são essencialmente arenosos. As formações das estruturas duras a muito duras estão ligadas às atividades biológicas, como fungos e raízes de vegetais, que adicionam a matéria orgânica nos solos e causam leves cimentações. Estas são acentuadas com os percentuais de argila e pelo sedimento arenoso quartzoso ser predominantemente fino a muito fino. Por isso, não há *slickensides*, cerosidades e o material tem uma maior facilidade para agregar-se.

7.4.2 Análises físico-químicas dos perfis 1 e 2

Os solos foram classificados como Neossolos Flúvicos Ta Eutróficos típicos (Perfil 1 e 2, figura 14). São solos poligênicos de constituição predominantemente mineral, eutróficos ($V\% > 50\%$), bem drenados, formados nas porções deprimidas ou planas das paisagens, cuja morfogênese fluvial é responsável pela deposição de sedimentos de diferentes granulações e composições geoquímicas (Anexo B).

Tais solos apresentam variações físicas e químicas dentro de seu perfil em virtude dos sucessivos e variantes eventos erosivos e agradacionais influenciados pelos fenômenos climáticos e geomorfológicos, especialmente os fluviais ao longo do tempo. Uma vez que a pedogênese supera a morfogênese, há a formação deste solo marcado pela distribuição errática de matéria orgânica, granulações, cores, ausência de horizonte B (OLIVEIRA, 2011) e texturas arenosas a franco-arenosa.

Os perfis 1 e 2 são compostos por argilas de alta atividade de trocas de cátions (ta), cujos valores oscilam de 86 cmolc.kg^{-1} a 97 cmolc.kg^{-1} , sugerindo a presença de argilas do grupo 2:1. São solos eutróficos porque suas saturações por bases variam de 76% a 84%, tendo o cálcio, o magnésio e o sódio como as principais bases que estão retidas nos sítios de trocas dos argilominerais (Anexo B).

A alta saturação por bases nestes solos decorre dos sedimentos minerais e orgânicos advindos dos setores mais elevados da BH e que são depositados nas planícies fluviais. Macroscopicamente, observou-se que os sedimentos da planície são diversificados por conter

os seguintes minerais primários (anfíbolitos, moscovitas, plagioclásios, ortoclásios, hornblendas, quartzos e biotita) advindos das rochas ígneas e metamórficas pré-cambrianas intemperizadas e erodidas a montante.

As percentagens de sódio trocável (PST) são baixas e oscila ao longo do perfil (entre 2 a 6), sendo 6 o limiar do caráter solódico. A quantidade de fósforo oscila de 17 mg.kg⁻¹ a 56 mg.kg⁻¹ conforme a camada que contém menos ou mais matéria orgânica. O pH diferencia-se segundo os horizontes e camadas do perfil analisado (6,5 a 7,6), sendo que as camadas basais possuem pH mais elevado devido às translocações e aportes do lençol freático.

bem como em razão das presenças de bases trocáveis (Anexo B). A quantidade de carbono orgânico total variou significativamente (0,7g.kg⁻¹ a 3,05 g.kg⁻¹) em razão das discontinuidades litológicas com naturezas e quantidades de materiais diferenciados. Porém os horizontes superficiais foram os que tiveram maiores cifras de matéria orgânica devido às atividades biológicas.

Os solos demonstraram uma pequena quantidade de Al³⁺, representado por valores 0,05 cmol_c.kg⁻¹ a 0,25 cmol_c.kg⁻¹ (Anexo B) para os horizontes e camadas analisados. Dada às condições químicas, o Al³⁺ não se encontra como íon trocável porque o pH do solo é acima de 5,5.

Já as argilas, por serem do grupo 2:1, indicam que estão condizentes com seu domínio climático e geomorfológico. Estes não possibilitam a larga atuação da monossilificação e ferralitização dado à escassez de água e altas temperaturas presentes na BH, portanto formando, principalmente, as argilas de altas atividades catiônicas neste solo. No que compete às condutividades elétricas destes solos, detectou-se valores entre 0,06 dS.m⁻¹ a 0,47 dS.m⁻¹, portanto os solos não possuem caracteres sálicos ou salinos a exemplo de alguns solos presentes na BH (Anexo B).

Tratando-se dos atributos físicos dos Neossolos Flúvicos Ta Eutrófico típico (Perfil 1 e 2), verificou-se que detêm espessuras, diversidades de horizontes e camadas capazes de sustentar, eficientemente boa parte das fitoespécies da mata ciliar e agrícolas. As análises físicas mostraram que esses solos são essencialmente arenosos, compostos por areias finas a muito finas, enquadrando-se nas texturas areia e areia franca.

Os graus de floculação dos solos atestam uma elevada resistência à erosão hídrica, tendo em vista os seguintes valores superiores a 50 g.cm⁻³, chegando a 77 g.cm⁻³ e 79 g.cm⁻³

nos horizontes Ap1 (Anexo B). Vale informar que quanto mais próximo de 100% for o grau de floculação, mais resistente o solo é a erosão hídrica.

As densidades globais deste solo foram superiores a $1,43 \text{ g.cm}^{-3}$, Anexo B, não apresentando sinais de compactação. Já as densidades de partícula variaram para valores superiores a $2,59 \text{ g.cm}^{-3}$, portanto estão em consonância com os valores típicos dos solos minerais formados por siliciclastos.

7.4.3 Cronogrametrias das planícies fluviais do rio Santa Cruz

Com base nas coletas de sedimentos a cada 30 cm ao longo dos perfis 1 e 2 e nas coletas para as datações de LOE, construiu-se a figura 15 que expõe os dois gráficos concernentes aos resultados das análises granulométricas, teores de carbono orgânico, teores de carbonato de cálcio e as geocronologias obtidas.

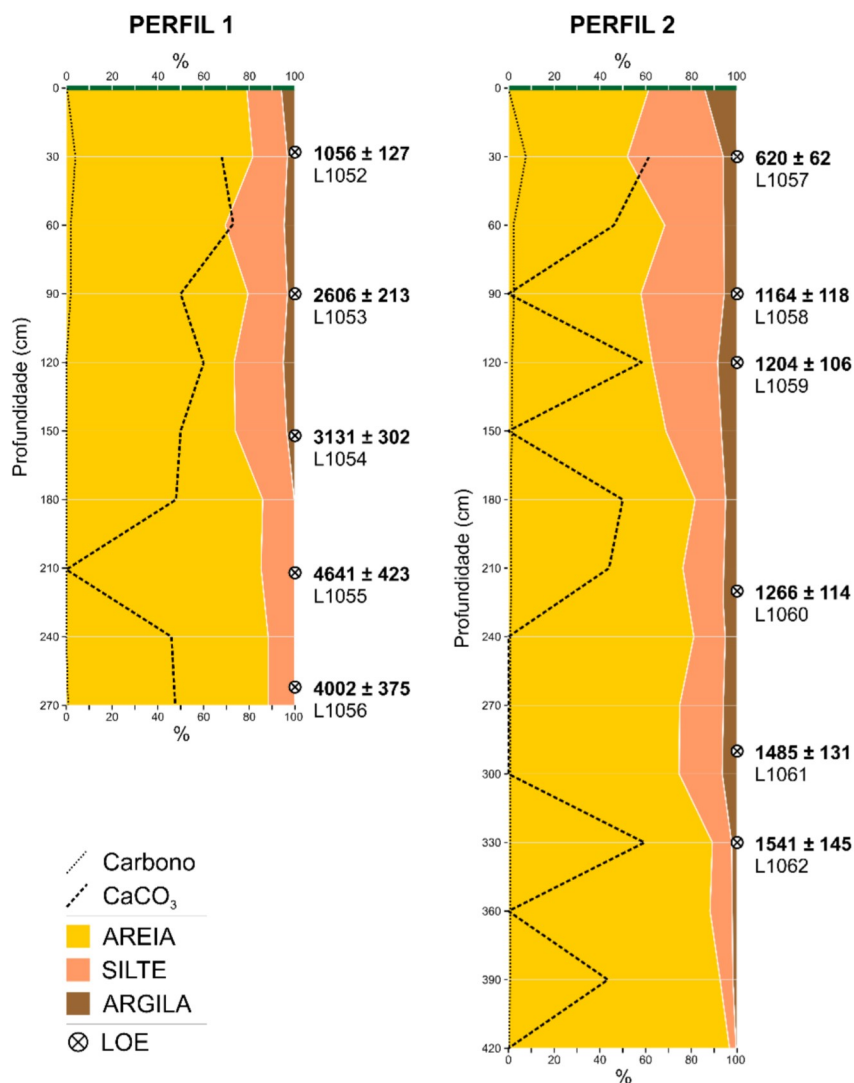


Figura 15 – Perfis cronogramométricos relativos às amostras dos perfis 1 e 2.

7.4.3.1 *Análise da cronogrametrias da planície fluvial do perfil 1*

Os dados granulométricos do **perfil 1** (figura 15) indicam que o segmento da planície fluvial analisado tem seu substrato sedimentar majoritariamente constituído pela fração arenosa (>69,5%) que tende a diminuir no sentido ascendente do perfil. Porém, com base nos valores das análises granulométricas presentes no Anexo B, percebeu-se que os primeiros 30 cm do perfil 1 é formado por 78,9% de areia, 15,1% de silte e 6% de argila. O aumento da representatividade dos materiais finos nas partes superiores do perfil deve-se à deposição destes materiais quando o sistema tem sua energia atenuada devido à elevação da planície que exige um fluxo hidrossedimentar potente para depositar clastos arenosos em sua superfície, por exemplo.

As oscilações nas cifras arenosas do perfil 1 estão correlacionadas com as intensidades dos pulsos fluviais e com a disponibilidade de sedimentos no sistema, visto que as ocorrências de enchentes com magnitudes variadas implicam na maior ou menor deposição sedimentar nas planícies fluviais. Já a disponibilidade de sedimentos no sistema fluvial é outro fator que repercute na variação granulométrica e na agradação das referidas, pois sua ausência resultaria na erosão de partes do sistema abordado.

Cabe frisar que as frações areias são constituídas por quartzos ialinos, foscas e alguns apresentam um delgado filme ferruginoso. Além disso, há frações arenosas de ortoclásios, plagioclásio, muscovita e biotita provenientes da fragmentação das rochas cristalinas constituintes do embasamento da BH hidrográfica. Graças ao intemperismo físico e as enchentes promovidas pelo clima atual, foi possível a construção de uma planície poucas alterações granulométricas e estruturais, afinal oscilações ambientais (climáticas, do nível de base ou terremotos) imprimiriam marcas nos aluviões.

As frações siltes (< 25,8%) e argilas (< 5,1%) possuem baixos percentuais se comparadas com fração arenosa, especialmente as argilas. Isso ocorre porque a área está submetida ao clima tropical quente semiárido que fomenta o intemperismo físico, fragmentando as rochas siliciclásticas (gnaiesses, granitóides, migmatitos, granitos e diatextitos), portanto impulsionando a geração de areias, com a fragmentação das rochas equigranulares, e sedimentos maiores nas anisotrópicas em função das suas foliações, veios e *boudins*.

Ademais, durante o transporte sedimentar, os sedimentos finos, siltes e argilas, tendem a ser carregados em suspensão no fluído ou incrustados como filmes delgados na superfície dos grãos arenosos. Porém, habitualmente depositam-se em depressões sob condições de baixa

energia (sistema lântico), por isso são frequentes nas depressões do canal fluvial ou em bacias de inundações que são pontuais no âmbito tratado.

Destaca-se que a geração dos siltes e argilas estão condicionados em parte pela fragmentação do material rochoso que expõem seus minerais primários máficos, potássicos, carbonáticos ou sódicos às intempéries. Com isso, tendem a decompor-se por meio da oxidação, hidratação, hidrólise, complexação e carbonatação e formarem argilominerais e siltes. Assim, esses fatores repercutem sobre a composição granulométrica do perfil examinado.

O acréscimo das frações siltes e argilas nas camadas acima de 150 cm está ligado a uma possível diminuição da intensidade dos fluxos hidrossedimentares e ao processo de agradação que, ao elevar a espessura do pacote sedimentar e do dique marginal, diminui a incidência de inundações, permitindo a edafização da área e minimização da energia cinética do fluxo ao inundar a área, logo auxiliando na deposição e formação de silte e argilas na planície fluvial.

Detectou-se que as camadas basais (>180 cm) possuem as menores cifras de sedimentos finos e os maiores de areias que interferem até no tipo de macroestrutura pedológica. Isso ocorre porque quanto menor a espessura do depósito maior a sua susceptibilidade à inundações e facilidade para a deposição de granulações maiores sobre sua superfície.

O gráfico do perfil 1 também indica que a quantidade de carbono orgânico decresce com a profundidade tendo em vista que as atividades biológicas se concentram nos horizontes superficiais e não há um horizonte ou depósito orgânico enterrado que implique no crescimento do teor do carbono em subsuperfície. As diminuições dos valores de carbono orgânico nas camadas inferiores também estão atreladas à ausência de raízes das árvores mata ciliar, tendo em vista o desmatamento da área.

Os valores de carbonato de cálcio crescem à medida que os de silte e argila são elevados, sugerindo que estão vinculados. Possivelmente houve uma mudança de energia no sistema fluvial que permitiu a deposição ou geração de conchas dos moluscos e gastrópodes nas áreas inundadas. Portanto, esses materiais foram incorporados aos sedimentos das planícies e são indicadores das evoluções das planícies ativas.

Examinando as geocronologias dos sedimentos, percebe-se que a planície foi criada a pelo menos 4641 anos a.p., período em que o clima tropical quente semiárido já estava consolidado com as características atuais no Nordeste do Brasil (BEHLING *et al.*, 2000;

OLIVEIRA *et al.*, 2014). As datações de LOE demonstram que a planície fundamenta a perspectiva de que a planícies foi criada por pulsos hidrossedimentológicos ao longo do Holoceno, observa-se taxas de sedimentações distintas.

O gráfico do perfil 1 mostra que a amostragem mais profunda foi feita a 262 cm da superfície, enquanto a amostra mais superficial foi feita a 28 cm abaixo do topo do perfil. Em termos absolutos, foram necessários 4002 anos para a agradação dos 262 cm de sedimentos na planície de inundação examinada, a uma taxa de 0,06 cm por ano.

Contudo, ao observar as cronologias e as espessuras das camadas nos intervalos amostrados, detecta-se que os primeiros 28 cm da planície de inundação levaram 1056 anos para serem depositados. Porém, os 62 cm de espessura de sedimentos entre a primeira amostragem e a segunda, demandaram 1550 anos para serem depositados, enquanto que os 60 cm seguintes (90 a 150 cm de profundidade) foram depositados em 525 anos. Os demais intervalos inferiores (150 a 268 cm de profundidade) demandaram cerca de 871 anos para serem depositados, indicando momentos em que o sistema passou por processos mais energéticos. Logo, constata-se que as camadas foram criadas sob ações morfodinâmicas distintas ao longo do tempo, possivelmente, em razão da variabilidade pluviométrica típica do clima atual.

No perfil 1, uma camada antiga (quarta amostra com 4641 anos) está sobreposta a uma recente, acredita-se que houve uma remobilização de sedimentos antigos que não foram expostos a luz durante uma enchente. Portanto, embora a camada seja mais jovem, os sedimentos nela depositados superestimaram a sua datação, porém sugeriram uma datação de algum estrato basal.

Com o fracionamento da fração areia nas classes (gráfico 4) detectou-se que as granulações mais abundantes são respetivamente: areia fina, areia muito fina, areia média, areia grossa e muito grossa. O gráfico 6 informa que as frações variam conforme as profundidades e intensidades dos pulsos que as depositaram, porém, as areias finas e muito finas dominam o cenário, tendo menores participações na profundidade de 240 cm que compõe o estrato basal da planície fluvial.

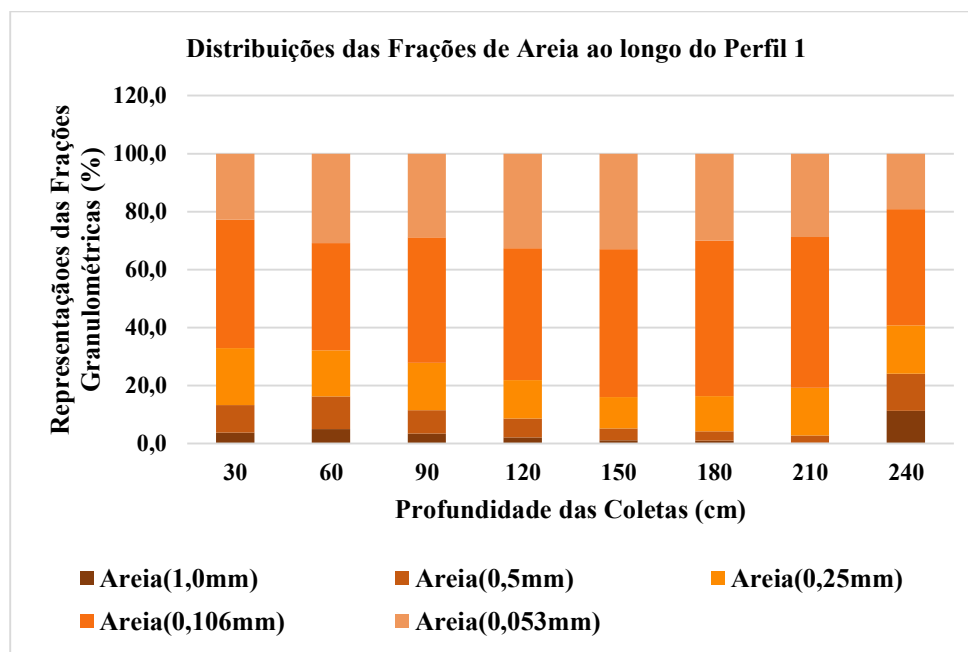


Gráfico 4 – Fracionamento da fração areia.

As frações apresentadas mostram que o sistema fluvial é de média energia, por ser capaz de mobilizar frações arenosas e que houve o aumento da energia dos fluxos hidrológicos que atuaram na deposição das camadas entre 30 a 90 cm porque os teores da areia grossa sofreram acréscimos. Não foi detectado variações na granulometria que justificasse mudanças abruptas nas intensidades das enchentes, portanto a planície foi gerada sobre uma situação climática semiárida.

7.4.3.2 Análise da cronogranulometrias da planície fluvial do perfil 2

Os dados granulométricos do perfil 2 (figura 15), obtidos até 420 cm de profundidade, demonstram que a planície fluvial amostrada possui uma configuração granulométrica relativamente semelhante à do perfil 1. Convém acrescentar que a granulação dos primeiros 30 cm é composta 61% por areia, 17,5% por silte e 8,4% de argilas.

Assim como o perfil 1, o perfil 2 é essencialmente arenoso com percentagens de areia superiores a 51,9%, chegando até 96,7% na sua camada mais profunda. Essa constituição decorre do fato de que siliciclastos arenosos são abundantes na BH, conseqüentemente, logo são transportados para no sistema fluvial onde ocupam leito do canal e as planícies de inundação.

O gráfico do perfil 2 demonstra que as frações granulométricas variaram ao longo do perfil 2, de tal modo que as cifras de silte e argila estão correlacionadas e são inversamente proporcionais a de areia. Considerando o sentido ascendente (420 > 0 cm), detecta-se que há

uma redução substancial da quantidade areia (96,7% > 74,1%), enquanto houve a maximização dos siltes e das argilas, que variaram, respectivamente, 2,8% para 42,4% e 0,5% para 5,7%.

As alterações das frações estão vinculadas a vários fatores dentre os quais despontam os processos fluviais e suas conexões com os de encostas, a dinâmica hidrossedimentológica, a morfologia da planície fluvial e sua elevação em relação ao canal rio, intensidade de edafização/estabilização e sua susceptibilidade as enchentes.

Acredita-se que a elevação da planície em relação ao nível do canal, a possível diminuição dos efeitos das enchentes sobre a superfície da planície por conta de chuvas menos intensas e as obstruções dos fluxos causadas pelos vegetais, minimizam a energia do fluxo, ampliando o tempo da inundação e viabilizando a deposição de sedimentos finos.

As frações granulométricas basais (330 entre 420 cm) mostraram-se mais arenosas porque o nível mais baixo, propicia atuações de fluxos intensos que possuem competência para depositarem areias. Ademais, como a espessura do aluvião é reduzida, dificilmente uma comunidade vegetal arbórea vai estabelecer-se nessa porção, logo a enchente terá poucos obstáculos para diminuir sua força e propiciar a deposição de sedimentos finos.

Vale destacar que tanto no perfil 1 quanto o 2 há acréscimos de siltes e argilas por volta de 60 cm de profundidade. Tal comportamento não está atrelado somente as condições sin deposicionais, mas também as posteriores, visto que há translocação de materiais final no perfil, o que justifica determinado pico, sobretudo de argila nos perfis.

A exemplo do perfil 1, as concentrações de carbono orgânico foram mais elevadas nos horizontes superficiais em função da maior interação com os seres vivos, especialmente com os vegetais. Percebe-se que a partir de 60 de profundida, o carbono orgânico decai significativamente chegando a cifras muito baixas.

As quantidades de carbonato de cálcio oscilaram expressivamente ao longo de todo o perfil 2, por isso é notório os seus picos de concentrações. Diante desse quadro, infere-se que esse comportamento errático descreve momentos em que os pulsos sedimentares depositaram sedimentos mais ou menos rico no composto citado. Embora não se descarte a possibilidade de ocorrências de inundações mais duradouras sobre a planície favorecendo o desenvolvimento de gastrópodes e moluscos.

Os dados geocronológicos do perfil 2 sugerem que 340 cm de sedimentos foram depositados na planície fluvial nos últimos 921 anos. Isso mostra que o setor onde assenta-se a aludida recebe muito mais energia e matéria do sistema fluvial que a parte onde foi feito o perfil

1. De fato, nessa porção há as maiores planícies da BH porque está sobre a ZCT e é uma área onde conflui diversos tributários importantes.

A velocidade com que essa planície fluvial foi construída chama atenção porque se diferencia da exemplificada pelo perfil 1. Isto é, enquanto a do perfil 1 demorou 4002 anos para aumentar cerca de 260 cm de espessura, a do perfil 2 levou 1541 anos para agregar 330 cm, sugerindo taxas de agradações distintas entre as planícies do rio Santa Cruz.

Além disso, as variações das espessuras das camadas correlacionadas com as datações mostram que os processos deposicionais oscilaram ao longo da história deposicional do aluvião. Isto que os primeiros 30 cm levaram 620 anos para ser depositado, a maior parcela temporal, seguido pelos 60 cm de sedimentos posteriores que demandaram 544 anos para serem depositados. Os 30 cm de sedimentos seguintes foram depositados em 40 anos; já os 100 cm abaixo desse foram postos em 62 anos; os 70 cm posteriores foram inseridos em 219 anos e os últimos 50 cm basais foram depositados em 56 anos.

Logo, percebe-se que a planície no último milênio sofreu menos com as ações agradacionais possivelmente por variações climáticas e/ou pelo aumento da sua espessura que a protegeu das enchentes menos potentes e permitiu a deposição gradual de sedimentos finos.

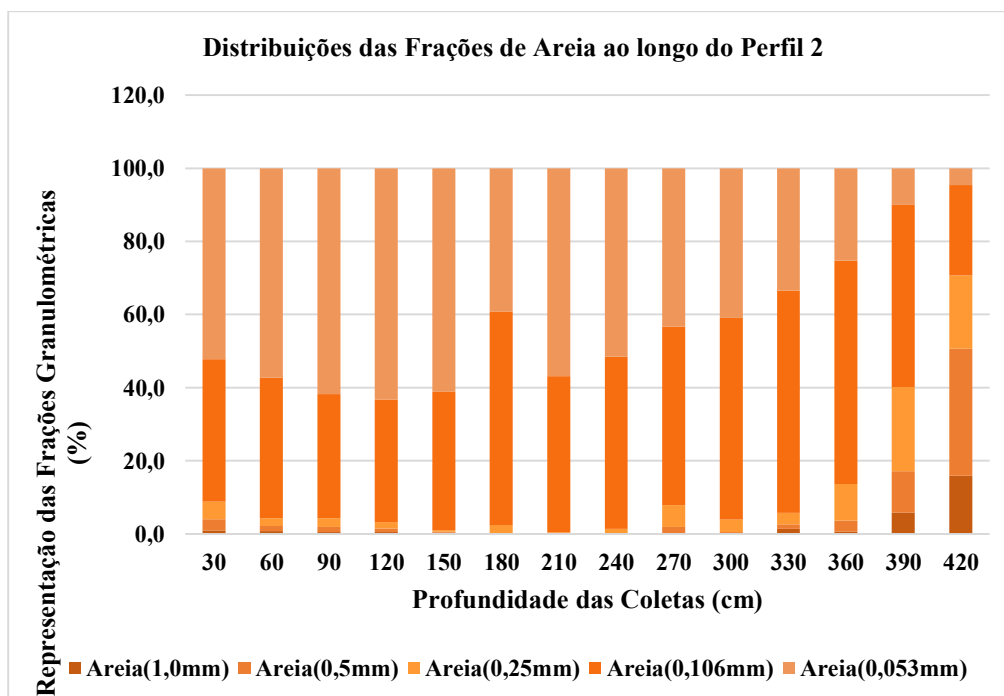


Gráfico 5 – Fracionamento da fração areia do perfil 2.

O gráfico 5 mostra os resultados do fracionamento das areias do perfil 2. Percebeu-se que as granulações mais abundantes são respectivamente: areia muito fina, areia fina, areia

média, areia grossa e muito grossa. Os teores das frações modificaram-se segundo a profundidade de suas camadas, sendo que as areias médias, grossas e muito grossas tiveram expressões notáveis entre 360 cm a 420 cm de profundidade, acima disso suas representatividades foram incipientes, diante das areias finas e muito finas.

Apesar dessa planície está sujeita à maiores pulsos energéticos, o fracionamento da areia não exibiu oscilações significativas que fundamentasse tal perspectiva. Ademais, reforçou que o sistema possui um nível de energia médio por isso essas frações arenosas são vigorantes nos sedimentos estudados. Acredita-se esse quadro está condicionado pelo fato desta porção da planície deter canais secundários próximos, que são capazes de dissipar a energia cinética das enchentes.

Adicionalmente, as matas ciliares são desenvolvidas nesse setor atualmente, assim pensa-se que no passado elas influenciaram os processos deposicionais, por representarem elementos rugosos no meio dos fluxos que inundavam as planícies fluviais. Assim como no perfil 1, o fracionamento acima indica indiretamente as variações nas intensidades dos fluxos hidrológicos na planície fluvial nos últimos 1541 anos.

7.5 Considerações finais

As planícies fluviais do rio Santa Cruz apresentam localizações e níveis de desenvolvimento distintos em razão dos contextos em que foram criadas e modeladas. Desse modo, os fatores ambientais modulam os processos genéticos que criam as planícies e implicando nas suas morfologias.

O sistema fluvial do rio Santa Cruz possibilita a gênese de planícies em partes do alto curso em razão do aplainamento geomorfológico da BH, da disponibilidade de sedimentos advindos da fragmentação das rochas cristalinas e da recorrência de eventos pluviométricos que causam enchentes, responsáveis pela grande mobilização de energia e matéria no sistema fluvial.

Os principais processos genéticos das planícies de inundações são a acresção horizontal, vertical e a combinação das ações de ambas que se manifestam por meio de diversas ações erosivas e agradacionais que criam e desenvolvem as planícies.

Os principais fatores para a geração das planícies no sistema fluvial do rio Santa Cruz são a baixa declividade, a quantidade de fluxos hidrossedimentares, as sinuosidades do rio, a rugosidade da superfície ou o aplainamento geomorfológico, a presença de vegetação,

obstáculos no canal fluvial e o aumento repentino do fluxo hidrológico derivado dos aportes dos canais tributários.

As planícies do médio e baixo curso fluvial são maiores devido às contribuições dos tributários, do controle estrutural que criam uma maior dissecação e rebaixamento do relevo. As principais morfologias identificadas das referidas foram bacias de inundações, paleocanais e *bypass*. As ocorrências de diques marginais foram pontuais possivelmente por conta da descaracterização que a área sofreu ao longo dos anos em virtude das ações atrópicas.

Os solos das planícies foram classificados como Neossolos Flúvicos Ta Eutróficos típicos e a pedostratigrafia foi eficiente na análise dos perfis diante da não identificação das estruturas primárias possivelmente decorrente de deposições repentinas, atividades bioturbadoras e ações dos processos pedogenéticos que alteraram as estruturas e cores dos estratos.

As planícies são essencialmente formadas por sedimentos arenosos siliciclato que permitem a sua boa permeabilidade, coloração clara, elevada resistência à erosão pluvial e ser um aquífero importante no semiárido cearense. Ademais, verificou-se que as planícies tratadas são relativamente jovens e foram formadas a partir de 4.600 a.p, durante o Holoceno e quando o clima tropical quente semiárido já estava consolidado no Nordeste do Brasil.

8 ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTES (APP) RIPÁRIAS: NORMAS DE PROTEÇÃO E SUAS IMPLICAÇÕES NA PLANÍCIE FLUVIAL DO RIO SANTA CRUZ, SERTÕES DE CRATEÚS/CE-BRASIL

8.1 Introdução

A áreas de preservação são espaços que apresentam atributos que as diferenciam dos demais ambientes e/ou por desenvolverem funções ecológicas relevantes para a manutenção dos ecossistemas e do sistema produtivo, cultural e social. Por isso, seus usos são limitados de acordo com o nível de proteção e com intuito de assegurar a conservação dos recursos naturais ou culturais, estruturas e funções desses espaços.

A criação de espaços protegidos ocorre por meio de leis e decretos que definem seus limites físicos, tipos de usos e o de proteção que os espaços necessitam ter (BRASIL, 2000, 2012). Desse modo, esse processo desencadeia reações complexas, visto que os agentes sociais possuem uma rede de interesses que comumente estão dissociados dos valores conservacionistas ou da perspectiva sustentável.

No âmbito brasileiro, as principais leis que tratam de áreas protegidas no Brasil versam sobre o Sistema Nacional de Unidade de Conservação – SNUC (Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000) e sobre o novo “Código Florestal Brasileiro - CFB” (Lei 12.651, de 25 de maio de 2012) que estabelece as Áreas de Preservação Permanentes (APPs). São representadas pelos espaços protegidos em todo o território nacional por suas relevâncias socioambientais e por serem estratégicas para o desenvolvimento da Nação.

Entre as APPs, há as ripárias, que compreendem os espaços protegidos nas margens dos rios. Apesar da sua importância na manutenção da qualidade e quantidade dos recursos hídricos, controle da erosão, favorecimento a biodiversidade e ser um espaço para a proteção da vida humana. Não obstante, são espaços, frequentemente ocupadas sem práticas de manejo adequados e sem apreços pelos dispositivos legais, desencadeando a degradação ambiental nesses espaços (OLIVEIRA, 2006; SOUZA; OLIVEIRA, 2015).

No Nordeste brasileiro, as planícies fluviais foram secularmente usadas devido à disponibilidade de água, dos solos férteis, dos recursos botânicos, do microclima ameno e por estar junto aos cursos hídricos que facilitam o acesso de pessoas e animais no território (FAUSTO, 2006; SOUZA, 2007). Por isso, as primeiras fazendas e vilas nordestinas foram estabelecidas nas cercanias ou sobre as planícies fluviais, especialmente nos sertões semiáridos.

Neste panorama, inserem-se as planícies fluviais do rio Santa Cruz - Sertões de Crateús-CE/BR, que foram os espaços preteridos para a construção de fazendas de gado. Os usos desordenados de seus recursos paisagísticos resultaram na degradação de alguns trechos das planícies que foram desmatados, erodidos pelas ações pluviais e fluviais (GOMES; OLIVEIRA, 2011), bem como perderam minerais empregados para a construção civil.

Hodiernamente, tal situação continua em curso, porém com maiores intensidades em face do crescimento populacional, da necessidade crescente de acumular capital, do quadro de pobreza que assola a área e da falta de atividades econômicas alternativas para os sertanejos. Assim, a degradação desses espaços está comprometendo a estabilidade dos serviços ecossistêmicos, do sistema socioeconômico e na manutenção da qualidade e quantidade de água no semiárido nordestino.

Isto posto, diante do pressuposto de que os dispositivos normativos brasileiros exercem influências na proteção ou não das APPs ripárias, parte-se da hipótese de que o novo CFB diminuiu a proteção das planícies fluviais. Por isso, este trabalho explana sobre as evoluções dos CFBs e as leis que o alteraram no que tange à criação e às variações das métricas das APPs ripárias. Posteriormente, identificou os tipos de uso das APPs e das planícies fluviais do rio Santa Cruz (Sertões de Crateús, Ceará/Brasil) e se o CFB auxiliou na preservação das áreas estudadas.

8.2 Metodologia

Para o desenvolvimento deste trabalho identificou-se os decretos, leis e normas presentes no âmbito do direito ambiental brasileiro que tratam sobre a proteção das APPs ripárias. A partir disso, os dispositivos jurídicos foram apresentados e explicados cronologicamente com o intuito de embasar a apreciação das APPs do objeto amostral.

Fez-se levantamentos bibliográficos, cartográficos e de artigos na Rede Mundial de Computadores (Internet) que auxiliaram na composição da caracterização da área pesquisada e na análise espacial. Neste caso, empregou-se informações de uso e cobertura do Mapbiomas v.5.0, apreensão das imagens de satélites do Google Earth PRO e trabalhos de campos.

As informações dos tipos de cobertura e uso da terra foram extraídas dos mapas matriciais com resolução 30x30 m do projeto Mapbiomas v.5.0 apresentaram dados de uma série história de 35 anos (1985-2019) e com escala de 1:250.000. Sua classificação compreende de 19 a 21 classes, que foram selecionadas e adaptadas segundo as especificidades da BH em apreço.

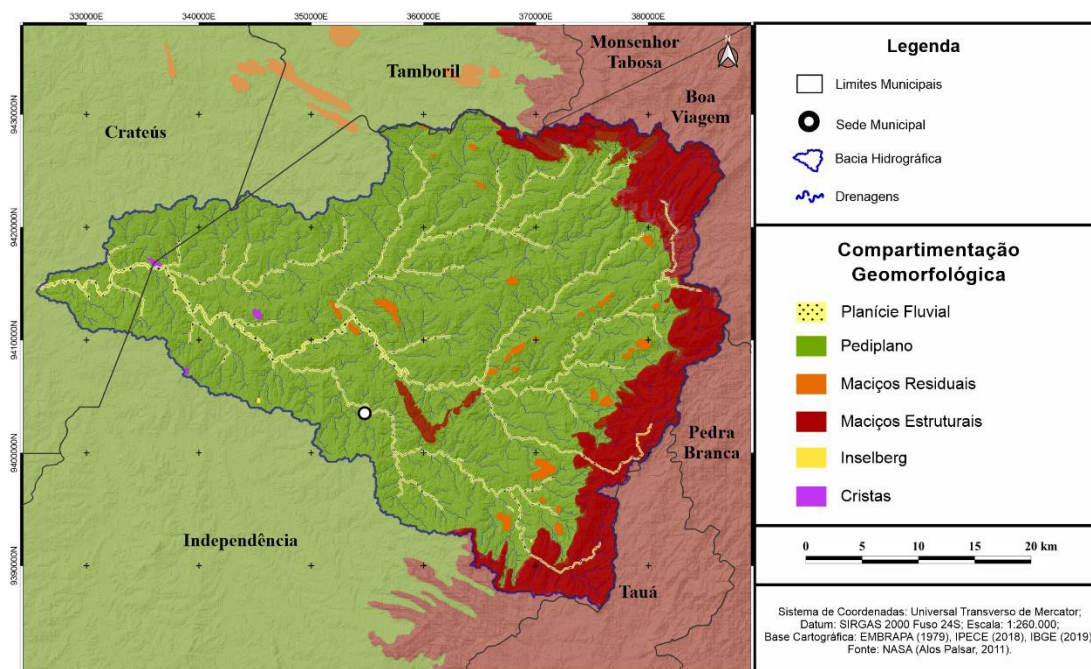
No âmbito das imagens de alta resolução espacial, empregou-se as imagens da Maxar Technologies, entre os anos de 2007 a 2020, presentes no Google Earth Pro para ilustrar a situação das planícies nos anos considerados. Essas foram eleitas pela facilidade de acesso e por apresentarem as melhores resoluções espaciais e temporais disponíveis. Logo, subsidiando estudos pormenorizados sobre a dinâmica paisagística do espaço em apreço.

Além disso, empregou-se o Google Earth PRO para criar e mensurar 70 transectos perpendiculares ao sistema fluvial, traçados do setor a montante e a jusante do rio Santa Cruz. Esses foram estabelecidos em áreas que representam diferentes tipos de conservação, uso e degradação do sistema fluvial para mensurar as larguras do canal fluvial, das planícies e das matas ciliares nas margens direita e esquerda do rio. Para tanto, considerou-se as imagens da Maxar Technologies mais recentes, isto é, a partir de 2015 até 2020.

Posteriormente, fez-se sucessivos trabalhos de campos em alguns setores das planícies fluviais para fins de reconhecimento de campo, para fotografá-la e conversar informalmente com proprietários e trabalhadores do âmbito estudado. Com isso as informações foram examinadas integradamente e apresentadas na seção correspondente.

8.3 Caracterização da área de estudo

A BH do rio Santa Cruz (Mapa 6) é parte do alto curso da BH do rio Poti e está situada no centro-oeste do Ceará/Brasil, na Microrregião dos Sertões de Crateús. Apresenta uma área de 1.473,521km², com perímetro de 292,845 km e sua rede de drenagem abrange os Municípios de Independência (93,75%), Crateús (5,45%) e pequenas parcelas de Boa Viagem, Tamboril, Tauá, Pedra Branca e Monsenhor Tabosa.



Mapa 6 – Localização da planície fluvial do rio Santa Cruz – Sertões de Crateús/CE, BR.

Geologicamente, as planícies fluviais do rio Santa Cruz são formadas por sedimentos siliciclásticos arenosos (PINÉO *et al.*, 2020) com estrutura maciça derivadas de pulsos deposicionais decorrente das enchentes. Esses sedimentos advêm do intemperismo e erosão das rochas cristalinas e foram depositadas nas margens dos rios e riachos durante as ocorrências de enchentes nos últimos 6.000 anos.

Apesar da planície está sujeita às ações microclimáticas, sobretudo no que tange à umidade e velocidade dos ventos do fundo do vale fluvial, o clima é classificado como tropical quente semiárido, com temperaturas médias de 26° a 28°, pluviosidade média anual de 577,7 mm (CEARÁ, 2017). As chuvas são torrenciais e temporo-espacialmente irregulares, manifestando-se nos quatro primeiros meses do ano e propiciando a estiagem nos demais meses.

Geomorfológicamente, as planícies fluviais são superfícies planas ou suave onduladas presentes nos fundos dos vales, condicionadas por diversos fatores ambientais. Suas distribuições e morfologias (largura, comprimento, forma e profundidade) variam conforme o contexto em que estão inseridas e geralmente estão nas cotas altimétricas abaixo de 500 metros e não possuem inclinações máximas e médias superiores a 2% e 0,8%, respectivamente.

Os solos da planície fluvial são gerados por meio da pedogênese em sedimentos alóctones depositados nas adjacências dos rios durante os pulsos hidrossedimentares. Estes

sedimentos são oriundos do intemperismo e erosão dos embasamentos dos demais subsistemas ambientais da BH, por isso podem ter constituição mineralógica heterogênea (por exemplo: quartzos, micas, feldspatos, turmalinas, zircão, tantalita, clorita, ilita, montmorilonita, caulinita, vermiculita, hematita) condizentes com as rochas ou restos orgânicos de onde foram segregados.

Deste modo, as principais classes de solos detectados foram os Neossolos Flúvicos Ta Eutróficos típicos associados aos Planossolos Háplicos Eutróficos solódicos e os Planossolos Nátricos Órticos Ta típicos (BRASIL, 1973; GOMES, 2005). Todos esses possuem, frequentemente, mais de 1,5m de espessura, são eutróficos e apresentam significativas suscetibilidades à erosão em decorrência da alta morfogênese do ambiente em que ocorrem, devido ao tipo de uso e das suas características morfológicas que propiciam a atuação da erosão hídrica.

A vegetação ocorrente na planície fluvial do rio Santa Cruz e em seus riachos é chamada de mata ciliar (CEARÁ, 1997), tendo em vista que se situa nas adjacências dos rios e riachos, exercendo funções de proteção e de controle do sistema fluvial. Apesar de tal formação ser colonizada por diversas espécies florísticas oriundas de outras unidades fitoecológicas da BH (*Ziziphus joazeiro* Mart; *Luetzelburgia auriculata* (Alemão) Ducke; *Piptadenia stipulacea* (Benth) Ducke; *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir; *Anadenanthera colubrina* var *cebil* griseb altschul; *Senna spectabilis* var. *excelsa* (Schrad.) H. S. Irwin & Barneby).

A mata ciliar também detém fitoespécies singulares (*Copernicia prunifera* (Mill.) H.E. Moore e *Licania rígida* Benth) que apresenta um padrão fisionômico distinto do seu entorno, tendo em vista quantidade de árvores perenifólias e subperenifólias que alçam mais de dez metros de altura.

Cabe destacar que a mata ciliar foi significativamente desmatada para o desenvolvimento da agricultura de sequeiro nos primeiros 5 meses do ano, seguida pela pecuária, a caprinocultura e ovinocultura, pois os animais ruminam o estrato herbáceo remanescentes e as fibras secas dos cultivares. Apesar disso, há várias remanescentes da mata ciliar nas planícies do rio Santa Cruz e seus tributários, especialmente, onde as atividades humanas diminuíram temporariamente.

Quanto à ocupação desses espaços, destinam-se sobretudo para campos agrícolas, pastagens e construção de barramentos com intuito de abastecer os sertanejos que habitam difusamente o território. Além disso, são espaços onde há extração vegetal e de minerais

(argilas, siltes, areias e cascalhos) empregados na construção civil e, pontualmente, algumas casas e a Sede Municipal assentam-se totalmente ou parcialmente sobre tais espaços.

Essas atividades produtivas são fundamentais para mitigar a pobreza da área. Afinal, Independência-CE tinha 5.151 famílias beneficiárias do Bolsa Família no mês de novembro de 2020, dentre as quais 14.088 pessoas foram diretamente beneficiadas pelo Programa, ou seja, cerca de 53% da população total do município, compreendendo 5.080 famílias que figurariam a situação de extrema pobreza sem o benefício (BRASIL, 2021).

Tratando do âmbito fundiário rural, sabe-se que o módulo fiscal do Município de Independência-CE é de 80 ha e que a BH contém majoritariamente pequenas e médias propriedades, segundo a classificação da Lei 8.629, de 25 de fevereiro de 1993.

8.4 Criação e evolução métricas das APPs ripárias no Brasil

O século XX foi marcado pelos avanços das pautas conservacionistas no âmbito internacional. No Brasil, foi editado o decreto N° 4.421 de 28 de dezembro de 1921 (BRASIL, 1921) que criou o Serviço Florestal Brasileiro no âmbito do Ministério da Agricultura, bem como foram instituídas as Florestas Protetoras. Posteriormente, foi criado o decreto N° 23.793 de 23 de janeiro de 1934, considerado o primeiro CFB (BRASIL, 1934), e que manteve a concepção das Florestas Protetoras que abrangiam as matas ciliares, porém não indicavam suas métricas que estavam a cargo do Serviço Florestal.

A modernização do Estado e o desenvolvimento da questão ambiental como propulsora do crescimento econômico, da qualidade de vida das populações e das conservações dos serviços ecológicos propiciaram a criação da Lei n° 4.771 de 15 de setembro de 1965, segundo CFB (BRASIL, 1965). Esta, ampliou a proteção ambiental e concebeu as Áreas de Preservação Permanentes – APP, cuja origem remete às Florestas Protetoras apresentadas no primeiro CFB.

As APPs são espaços morfodinamicamente instáveis e protegidos por lei, sendo cobertos ou não por vegetação nativa. Assim, exercem diversas funções como a proteção dos rios e da biodiversidade, a estabilidade geológica e pedológica, facilitam o fluxo gênico entre as espécies e asseguram o bem-estar das populações humanas (BRASIL, 2012). Desta maneira, são espaços estratégicos para o funcionamento das paisagens, implicando na disponibilidade dos recursos naturais, na proteção do mobiliário e de vidas humanas.

Dentre as APPs, destacam-se as ripárias que abrangem parcialmente ou totalmente os espaços das planícies fluviais. Essa variação espacial depende da norma vigente e das

especificidades ambientais do rio e de cada planície. Assim, baseiam-se sobretudo na métrica da largura do rio ou do referencial que a lei determina (leito maior ou leito normal).

Os primeiros parâmetros adotados para o dimensionamento espacial das APP ripárias foram estabelecidos pela Lei nº 4.771 de 15 de setembro de 1965 (Quadro 1), que as delimitou arbitrariamente conforme a largura do canal fluvial. Nesta perspectiva, não houve apreço pelo limite natural das planícies fluviais pela expressividade e dificuldade de mensurá-las no território nacional. Além disso, não era conveniente para o setor agropecuarista a proteção integral desses espaços produtivos, portanto a lei atendeu parcialmente as reivindicações dos ambientalistas, minimizando os riscos dos impactos dos desastres naturais no sistema socioeconômico.

Parâmetros utilizados para determinar as larguras das APP Ripárias (Lei nº 4.771 de 15 de setembro de 1965)	
Intervalos entre as larguras dos leitos regulares dos rios	Larguras mínimas das APP ripárias
Menor que 10 metros	5 metros
Entre 10 a 200 metros	Metade da largura do curso
Acima de 200 metros	100 metros

Quadro 4- Parâmetros estabelecidos para os dimensionamentos das APPs Ripárias. Fonte: Brasil (1965).

As métricas expostas no Quadro 4 apresentam variações que suscitam questionamentos sobre a ineficiência da Lei na proteção das APPs ripárias. Afinal, observa-se, por exemplo, que o tamanho das APPs de um rio menor que 10 metros é de apenas 5 metros para cada lado. Esse valor pode ser razoável dependendo do contexto do sistema fluvial, isto é, se o rio compõe o alto curso da BH ou não, se possui uma planície fluvial, se ela for maior ou menor que o limite estabelecido pela legislação, bem como os aspectos ambientais, como as características geológicas, climáticas, geomorfológicas etc. Caso contrário, a APP será ineficiente, logo não assegurará os desenvolvimentos das funções que deve exercer.

A Lei tem uma abrangência nacional, porém falha ao não estabelecer parâmetros menos generalistas, arbitrários e por não usar a planície fluvial como referencial. Esta é o elemento adequado para dimensionar a APP riparia e fomentar a sua conservação porque, ao proteger a planície fluvial, controla-se parcialmente suas instabilidades, diminuem-se os riscos perante enchentes e mantêm-se os fluxos de energia e ciclagens de matéria que são vitais para os serviços ecossistêmicos.

Tratando-se áreas das APPs de rios com larguras superiores a 10 metros, percebe-se que a abstração está correlacionada também com a espessura do rio. Isso evidencia que o critério é reducionista e não considera as especificidades da planície fluvial que deveria ser o marco para a identificação das APPs porque a largura do canal fluvial não determina necessariamente o tamanho da planície fluvial e dos setores susceptíveis à instabilidade geológica, erosão e demais funções de uma APP. Logo, sendo uma métrica que visa proteger precariamente parcelas das áreas morfodinamicamente instáveis.

A Lei nº 4.771 de 15 de setembro de 1965 causou descontentamentos em parcelas do setor agropecuarista e do madeireiro, pois limitava significativamente as suas expansões e o modo como operavam. Por outro lado, a corrente ambientalista criticava os aspectos normativos que desfavoreciam a conservação ambiental. Assim, gradualmente essa lei foi sendo alterada para ajustar-se às novas necessidades da “sociedade”, resultando nas modificações das métricas espaciais das APPs e em diferentes tipos de exploração da terra.

Em 7 de julho de 1986, foi promulgada a Lei nº 7.511 (BRASIL, 1986) que alterou alguns dispositivos do CFB vigente, especificamente o art. 2º e o art. 19º que versa, por exemplo, sobre métricas das APPs ripárias, que foram expandidas. Essa alteração foi motivada inicialmente pelos desastres naturais na região de Itajaí, em Santa Catarina, acometida por enchentes em 1983 e 1984, que causaram voluptuosos prejuízos econômicos, deixaram milhares de pessoas desabrigadas e ocasionaram perdas de vidas humanas.

Diante disso, percebeu-se que os impactos das enchentes teriam sido mitigados se as APPs ripárias fossem maiores, por isso a Lei nº 7.511 surge como uma resposta para aumentar a proteção da população e do ambiente perante os desastres naturais. O Quadro 5 expõe as mudanças espaciais realizadas pela nova Lei e nota-se que houve a ampliação das APPs, especialmente a dos rios menores que 10 metros, cuja largura aumentou seis vezes. Ademais, criaram segmentos com delimitações próprias, como as compreendidas por rios com 10 a 200 metros de larguras.

Parâmetros utilizados para determinar as larguras das APP Ripárias (Lei n° 7.511 de 1986)	
Intervalos entre as larguras dos leitos regulares dos rios	Larguras mínimas das APP ripárias
Menor que 10 metros	30 metros
Entre 10 a 50 metros	50 metros
Entre 50 a 100 metros	100 metros
Entre 100 a 200 metros	150 metros
Igual ou maior que 200 metros	Igual a distância entre as margens

Quadro 5– Parâmetros métricos para estabelecer as dimensões das APPs ripárias. Fonte: Brasil (1986).

Com base nisso, detecta-se que a Lei n° 7.511 repercutiu positivamente para a ampliação da proteção das planícies fluviais e suas APPs por aumentar os espaços protegidos. Isso refletiu na proteção dos ambientes naturais, como também na proteção do mobiliário e vidas humanas porque há um dispositivo legal que coíbe determinados usos dessas áreas instáveis e susceptíveis aos impactos dos desastres naturais, notadamente os hidrometeorológicos.

Em 18 de julho de 1989, os espaços das APPs ripárias foram redefinidos pela Lei n° 7.803 (BRASIL, 1989), notadamente, aqueles adjacentes aos rios com larguras superiores a 100 metros (Quadro 6). Houve a redução de 50 metros de cada lado da classe com rios de 100 a 200 metros, criou-se a classe com rios de 200 a 600 metros que passaram a ter APP com 150 metros para cada margem, enquanto as APPs dos rios com mais de 600 metros tiveram seus espaços protegidos definidos para 500 metros. Uma característica relevante dessa Lei foi o estabelecimento do referencial do início da APP que passou a ser o nível mais alto do rio, logo abrangia toda a planície fluvial.

Parâmetros Utilizados para Determinar as Larguras das APP Ripárias (Lei n° 7.803 de 1989)	
Intervalos entre as larguras dos leitos regulares dos rios	Larguras mínimas das APP ripárias
Menor que 10 metros	30 metros
Entre 10 a 50 metros	50 metros
Entre 50 a 200 metros	100 metros
Entre 200 a 600 metros	200 metros

Maior que 600 metros	500 metros
----------------------	------------

Quadro 6- Parâmetros redimensionados para determinar as larguras das APPs Ripárias. Fonte: Brasil (1989).

A mudança foi significativa para os maiores rios, cujas métricas das APPs deixaram de estar vinculadas à largura do canal, sendo arbitrariamente definidas. Acredita-se que essa edição foi feita para atender os interesses de grandes agropecuaristas, ocupações ribeirinhas e sítios urbanos que usavam as margens dos grandes rios brasileiros. Porém, a mudança do referencial incidiu positivamente para a conservação da planície fluvial que em tese foi totalmente protegida. Essa norma auxiliou na proteção das nascentes, nas APPs sobre cotas altimétricas acima de 1.800 metros e entre outros.

Em 1999, diversos estudos foram produzidos alertando para a possibilidade da escassez de terras para expansão agrícolas por conta das normas do CFB vigente. Por isso foi construído um projeto de Lei que sugeria modificações nos espaços das APP ripárias, de 30 metros para 15 metros de largura, fim da Reserva Legal para pequenas propriedades, redução da Reserva Legal da Amazônia e “anistia” para os infratores anteriores ao decreto de nº 6.514 em 22 de julho de 2008 que trata das infrações e sanções ambientais (BRASIL, 2008).

Após manifestações e alterações, surgiu o terceiro CFB, a Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012 (BRASIL, 2012), que é tido como um instrumento para a promoção do desenvolvimento sustentável brasileiro. Portanto, estabelecendo os conceitos e as normas gerais sobre a proteção da vegetação, das Áreas de Preservação Permanentes (APP), Reservas Legais, a exploração florestal, prevê instrumentos financeiros para os seus objetivos e entre outros.

Trata-se de uma Lei polêmica em função das contradições entre os interesses dos grupos envolvidos, sobretudo entre os agropecuaristas e os ambientalistas que questionaram a constitucionalidade da Lei. Por isso, apesar de ter sido aprovada no ano de 2012, o Supremo Tribunal Federal findou a análise da validade e inconstitucionalidades de alguns trechos em 28 de fevereiro de 2018.

Os conflitos ocorreram devido ao estabelecimento de regras que flexibilizaram e “anistiaram” algumas infrações ambientais antes de 22 de julho de 2008, como o desmatamento de parte das APP ripárias. Além disso, criou a Área Rural Consolidada que assegura o uso legal de áreas ocupadas irregularmente das APP ripárias, permitiu determinados desmatamentos e diminui as faixas de proteção ao longo dos rios por regularizar os usos de parte das APPs.

A lei também determina a criação de políticas públicas voltadas para a preservação e restauração da vegetação nativa. Suas funções socioambientais são de responsabilidade da

União, Estados, Municípios e do Distrito Federal, juntamente com a sociedade civil, pois a participação desses entes auxilia na tomada de decisões, em tese, adaptadas às realidades e aos interesses coletivos dos envolvidos.

Um dos pontos mais relevantes desta Lei está presente no Art. 2º, o qual determina que as florestas e as demais formas de vegetação nativas são bens de interesse comum a todos os habitantes do país, cujos direitos de propriedade possui limitações estabelecidas pela lei citada e por outros dispositivos legislativos. Esse artigo está diretamente correlacionado com o direito fundamental do meio ambiente equilibrado previsto no Art. 225 da Constituição Federal (BRASIL, 1998).

O terceiro artigo do Novo CFB traz uma série de entendimento do que a nova lei entende sobre Amazônia Legal, Reserva Legal, manejo sustentável, utilidade pública, uso alternativo do solo, APP e Área Rural Consolidada e pequena propriedade. Para fins deste trabalho, importam sobretudo as últimas três conceituações por estarem envolvidas diretamente com o objeto de estudo em discussão.

Vê-se que essa área é protegida não por seu valor intrínseco, mas por suas funções socioambientais essenciais para a sociedade humana, como a contenção das enchentes, redução da erosão e assoreamentos, danos quali-quantitativos dos recursos hídricos, perdas da florísticas e faunísticas, de vidas humanas e de suas atividades produtivas e infraestruturas.

Correntemente, o Novo CFB dispõe, no capítulo II e na seção I, que as APPs ripárias são faixas marginais de um curso de água natural intermitente ou perene, excluídos os efêmeros, com espessuras mínimas variantes conforme as larguras dos rios, considerando os limites do leito regular que foi o referencial adotado para essa Lei. Em consonância disso, no Quadro 7 são expostos os principais parâmetros métricos das APPs ripárias determinadas por Brasil (2012).

Parâmetros utilizados para determinar as larguras das APP Ripárias	
Intervalos entre as larguras dos leitos regulares dos rios	Larguras mínimas das APP ripárias
Menor que 10 metros	30 metros
Entre 10 a 50 metros	50 metros
Entre 50 a 200 metros	100 metros
Entre 200 a 600 metros	200 metros

Maior que 600 metros	500 metros
----------------------	------------

Quadro 7– Parâmetros estipulados por Brasil (2012) para determinação da largura das APP ripárias.

Vale frisar que as APP ripárias podem sofrer acréscimos pontuais em suas métricas, visto que podem abrigar e sobrepor as APP de entornos de olhos de água perenes, com raio de 50 metros, de lagos e lagoas naturais, cuja faixa mínima é de 100 metros, nas zonas rurais e 30 metros nas zonas urbanas. Destarte, corpo de água com até 20 hectares, a faixa marginal é de 50 metros. Além disso, pode haver sobreposição dessas APPs com as faixas marginais das veredas que possuem largura de 50 metros a partir do espaço permanentemente encharcado.

Com relação às faixas de proteção das margens dos barramentos artificiais, o novo CFB determinou que passarão a ser definidas pela licença ambiental do empreendimento devido às pressões por mais espaços agricultáveis e regadios, visto que esses lagos são parcialmente construídos para atender à agricultura de vazantes também.

A Lei 12.651/2012 também fez algumas ponderações quanto às exceções de usos das APP, isso ocorrerá quando a ação for de utilidade pública, baixo impacto ambiental e interesse social. Isto é, esses espaços podem ser utilizados desde que não haja outra alternativa locacional viável e esteja inserida nas categorias supracitadas.

Uma característica importante que permeia o Direito Ambiental Brasileiro e presente no novo CFB (art.2º, § 2º) é a obrigação *propter ren* que versa sobre a obrigação de um proprietário ou posseiro de cuidar e recuperar áreas degradadas de suas terras independentemente de ter ocasionado os impactos negativos ou não. Portanto, é uma responsabilidade que se adere ao título de domínio, por isso o dever de reparação de um dano ambiental causado por um alienante é repassado para o adquirente de uma propriedade.

O novo CFB foi criticado por “anistiar” infratores ambientais por permitir parcialmente as ocupações das APPS ripárias antes de 22 de julho de 2008, data da promulgação do decreto de infrações e sanções Administrativas ao meio ambiente (decreto nº 6.514/2008). Neste caso, as Apps ripárias passaram a ter parâmetros diferenciados para atender o uso consolidado dos espaços que eram protegidos. Essas áreas foram nomeadas de área rural consolidada que representam espaços edificadas, benfeitorias ou espaços agrossilvipastoris.

De acordo com o art. 61º do novo CFB, foi autorizado, exclusivamente, a continuidade das atividades agrossilvipastoris, do ecoturismo e do turismo rural. As propriedades com áreas rurais consolidadas devem atender às especificidades presentes no Quadro 8, enquanto as maiores que quatro módulos devem seguir os critérios do Quadro 9.

Tamanho do Imóvel Rural	Espaço marginal mínimo a ser recuperado			
	Rios	Nascentes (olhos d'água)	Veredas	Lagos e lagoas naturais
Até 1 módulo fiscal	5 m	15 m	30 m	5 m
1 a 2 módulos fiscais	8 m	15 m	30 m	8 m
2 a 4 módulos fiscais	15 m	15 m	30m	15 m
Maior que 4 módulos fiscais	X	15 m	50 m	30 m

Quadro 8- Parâmetros estipulados por Brasil (2012) para determinação da largura das APPs ripárias nas áreas rurais consolidadas até quatro módulos rurais.

Imóvel rural Maior que 4 módulos fiscais	Espaço marginal mínimo a ser recuperado				
	Larguras do rio	Até 10 m	De 10,1 até 60 m	De 60,1 até 200 m	Acima de 200 m
De 4 a 10 módulos fiscais	20 m	30 m	Metade da largura do rio	100 m	
Maior que 4 módulos fiscais	30 m	30 m	Metade da largura do rio	100 m	

Quadro 9- Parâmetros estipulados por Brasil (2012) para determinação da largura das APPs ripárias nas áreas rurais consolidadas acima de quatro módulos rurais.

Isto posto, observa-se que a Lei ampliou o direito de uso de partes das APPs por aqueles que anteriormente infringiram a legislação, fato que causou descontentamento entre os ambientalistas e entre aqueles que cumpriram a Lei e viram infratores sendo beneficiados. O novo CFB foi amplamente flexibilizado porque o código anterior continha regras que poderiam inviabilizar o uso de determinadas propriedades, especialmente, as menores. Mas, isso foi um pretexto para justificar os interesses dos agropecuaristas, inclusive os grandes proprietários.

A mudança do referencial para o início da APP ripária foi outra característica importante, por implicar na diminuição das áreas de APPs que suplantavam os limites das planícies fluviais. Assim, permitindo o uso de espaços morfodinamicamente instáveis e sensíveis às alterações sociais e implicando, muitas vezes, na degradação do sistema fluvial.

Notou-se que a lei foi relativamente mais branda para as propriedades inferiores a quatro módulos fiscais, uma vez que seus espaços são reduzidos e poderiam conter muitos tipos de APPs que inviabilizariam as atividades nessas propriedades. Assim, o art. 4º, § 5º diz que é permitido o plantio de culturas temporárias e sazonais de ciclo curto no espaço que fica exposto no período de vazante dos rios ou lagos em pequenas propriedades ou de posse familiar rural.

Essa norma também estabelece que essa regra não se aplica para casos em que haja desmatamentos de novas áreas com vegetação nativa e que sejam mantidas as qualidades das águas, solos e a fauna silvestre seja protegida.

Outro aspecto relevante está nas delimitações do que são atividades de interesse social dispostas no art. 3º do novo CFB. Nele, há tipos de usos permitidos nas APPs ripárias, desde que sejam atividades imprescindíveis à proteção da integridade da vegetação nativa; a exploração agroflorestal sustentável praticada na pequena propriedade ou posse rural familiar ou por povos e comunidades tradicionais; e as atividades de pesquisa e extração de areia, argila, saibro e cascalho. Estas precisam de outorgas dos órgãos ambientais competentes.

Ao passo que essas disposições auxiliam no uso dos recursos naturais para os pequenos produtores e para comunidades tradicionais, cria precedentes para que as APPs sejam degradadas, afinal os usos de tecnologias rudimentares causam a degradação ambiental e a coleta de sedimentos do sistema fluvial, embora importante para a construção civil, criam distúrbios no ciclo sedimentológico fluvial e marinho, haja vista a integração entre eles.

Em suma, percebe-se que a legislação tem um cunho antropocêntrico que visa flexibilizar o uso dos espaços primordialmente em prol dos interesses humanos, após isso pensa-se nos prejuízos que a degradação ou os desastres naturais causam sobre a sociedade. Por fim, pensa-se na conservação como uma ação de respeito ao ambiente, notadamente dos componentes bióticos.

8.5 Análise espaço-temporal do uso e cobertura da BH do rio Santa Cruz e suas planícies fluviais

Em meio a semiaridez, as planícies fluviais do rio Santa Cruz são os espaços com maiores potencialidades para o desenvolvimento de diversas atividades produtivas, visto que possuem sedimentos adequados para confecção de matérias primas para a construção civil (argilas, siltes, areias, cascalhos e calhaus). Além disso, são áreas com microclima mais ameno e com maior umidade, solos eutróficos e profundos, disponibilidade de espécies vegetais arbóreas e por possibilitar a construções de poços e barramentos.

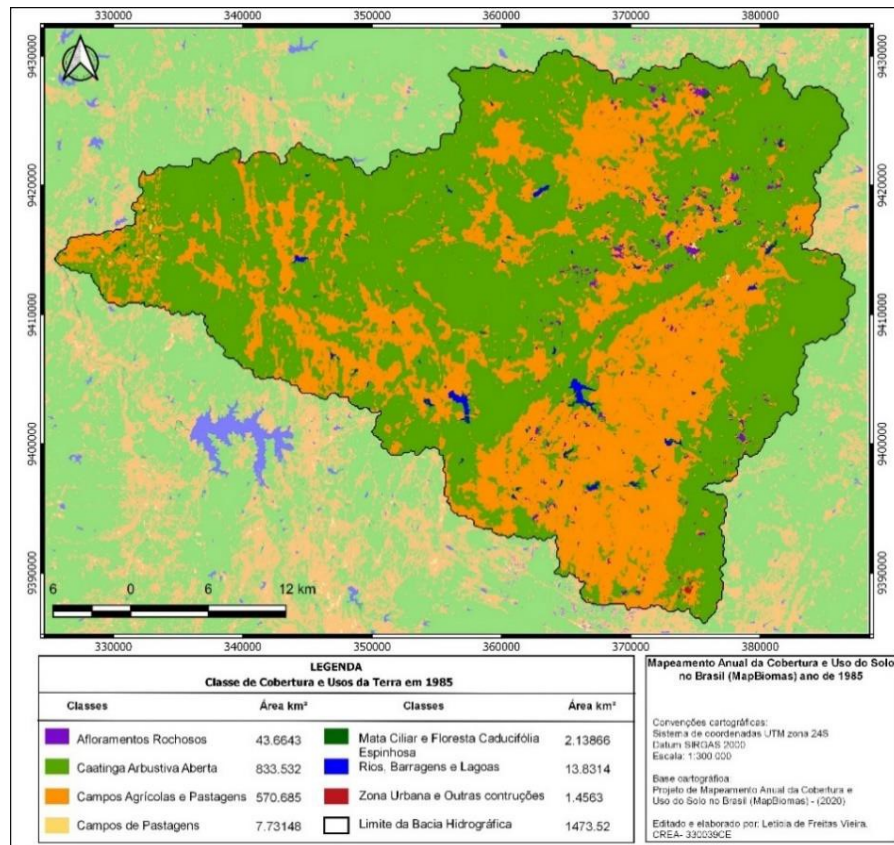
Desse modo, foram os espaços preteridos pelos primeiros colonizadores da área de estudo, que estabeleceram suas casas/fazendas próximas a estes relevos para facilitarem o desenvolvimento de suas atividades sócio-produtivas. Localmente, as planícies de inundação ou fluviais são chamadas de baixios e geralmente são as áreas mais valorizadas em uma propriedade rural.

Historicamente, as planícies fluviais do rio Santa Cruz foram empregadas com uso de tecnologias rudimentares e sem práticas de manejo conservacionistas que assegurasse a manutenção da sua dinâmica e da sua composição, visto que seus recursos eram alterados e extraídos sem apreço pela sua sustentabilidade, logo sem a consciência de sua exaustão.

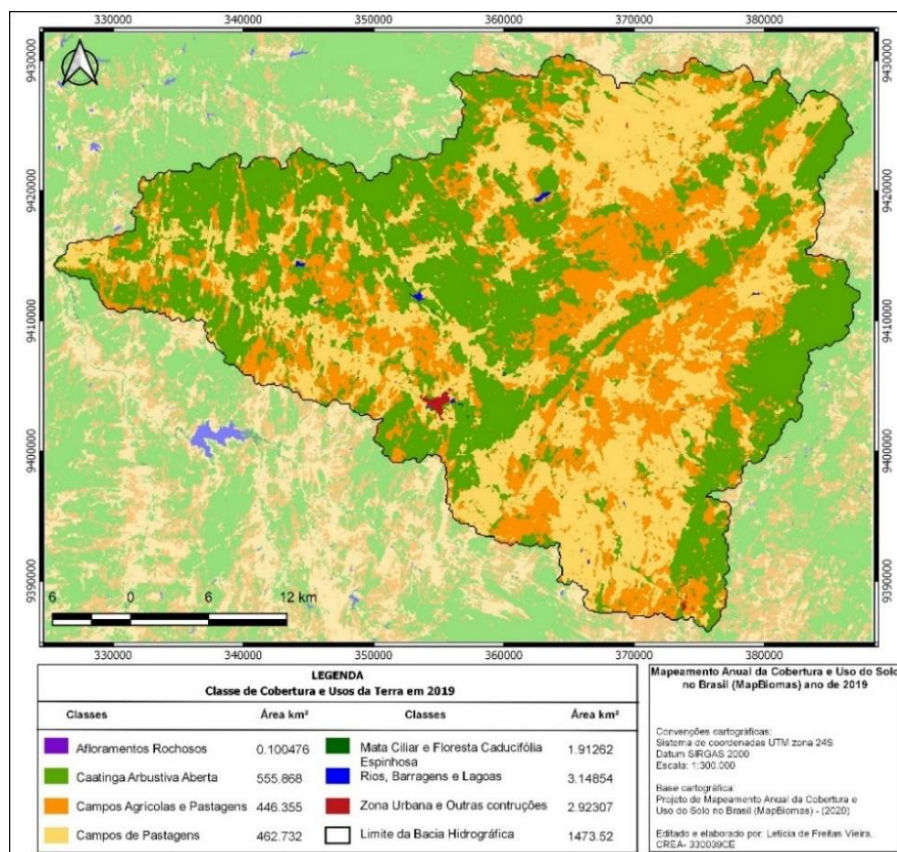
Os Mapas 9 e 10 apresentam sete classes concernentes a evolução que as paisagens da BH do rio Santa Cruz e suas planícies fluviais sofreram entre os anos de 1985 e 2019. A classe dos afloramentos rochosos diminuiu de 43.6643 km² para 0.1004 km², entre 1985 e 2019, porque houve o aperfeiçoamento da tecnologia de detecção desses objetos. Contudo, na prática houve o aumento dos afloramentos em decorrências da degradação dos espaços naturais e erosão dos solos rasos, contudo as imagens de satélites utilizadas pelo projeto MapBiomass não possuem resoluções adequadas para detectar essa alteração, visível em campo.

A caatinga arbustiva aberta ocupava cerca de 833.532 km² em 1985, mas os desmatamentos para construção de pastos, campos agrícolas, barramentos, estradas, vilas, e a sede municipal reduziram sua abrangência para 555.868 km² em 2019. Já a classe que representa os campos agrícolas e pastagens diminuíram de 570.685 km² para 446.355 km² no intervalo temporal considerado, em razão da degradação ambiental advinda da ausência de práticas de manejo adequadas.

Enquanto isso, os campos de pastagens que ocupavam 7.7314 km² em 1985, aumentaram para 462.732 km² em 2019. Esse crescimento deu-se pela maximização dos desmatamentos nas vegetações naturais e pela decadência dos campos agrícolas que foram convertidos em pastagens. O abandono gradual da prática agrícola deu-se em virtude da exaustão e erosão dos solos, bem como falências no setor produtivo em razão das secas e da falta de políticas públicas que subsidiem o setor.



Mapa 9 – Classes de Cobertura e Usos da Terra da BH Santa Cruz em 1985.



Mapa 10 – Classes de Cobertura e Usos da Terra da BH Santa Cruz em 2019.

A classe que representam a zona urbana e outras construções mostra um crescimento de 1.4563 km² para 2.9230 km² entre 1985 e 2019. Isso ocorreu por conta das melhorias no bem-estar propiciados pelo centro urbano, empregos públicos, decadência dos campos agrícolas, secas e êxodo rural. Todavia, cabe destacar que a maior parte da população do município ainda reside na zona rural.

A classe rios, barragens e lagoas sofreu diminuição de 13.8314 km² para 3.1485 km² entre 1985 e 2019, porém o dado está subestimado e representa parcialmente a realidade porque houve o aumento nas construções de micro barramentos e do açude Barra Velha (99.500.000 m³), que é o segundo maior reservatório hídrico de Independência-CE.

Essas alterações paisagísticas implicaram diretamente sobre as planícies fluviais, sobretudo porque estas foram amplamente desmatadas. A classe mata ciliar e floresta caducifólia espinhosa teve uma retração de 2.1386 km² para 1.9126 km² entre o período analisado.

Embora a classe abranja também as matas presentes sobre os maciços estruturais e cristalinos, sabe-se que em 1980, essas já estavam expressivamente degradadas, ao ponto de não serem detectadas nos mapas 9 e 10. Logo, a mata ciliar é a formação vegetal que melhor representa valor da classe, portanto nota-se como as planícies aludidas foram desmatadas durante o período e esse dado é acentuado quando se considera os vastos desmatamentos anteriores a 1985.

Durante os trabalhos de campo, visualizou-se que as planícies tratadas estavam constantemente desmatadas ou colonizadas esparsamente por espécies da caatinga arbustiva aberta porque representam importantes campos agrícolas (Figuras 16 e 18), pastos e áreas para extração de madeiras e minerais (Figura 17) em razão do seu potencial ecológico. Assim, há poucas planícies integralmente vegetadas com a mata ciliar que é objeto atual da exploração vegetal e áreas reservas utilizadas para a expansão do setor agropecuários.



Figura 16 – Planície fluvial integralmente desmatada para fins agrícolas (2019).



Figura 17 – Calha fluvial e planície fluvial do rio Santa Cruz degradada, exibindo feições erosivas (2020).



Figura 18 – Planície fluvial do rio Santa Cruz degradada pela extração ilegal de argilo-minerais (2020).

8.6 Análises das APPs e planície fluvial do rio Santa Cruz, Sertões de Crateús/CE-Brasil

Com base nas mensurações das larguras feitas nos 70 transectos traçados perpendicularmente ao longo do rio Santa Cruz (nascente>fz), nas suas planícies e matas ciliares associadas. Detectou-se que 32 setores do canal fluvial eram menores que 10 m (45,71%), 30 trechos eram maiores que 10 e menores que 20 m (42,85%) e 8 setores eram maiores que 20 m (11,42%).

Já as planícies estudadas demonstraram métricas variadas devido às especificidades ambientais em que se formaram. Por isso, as localizadas no alto e parte do médio curso possuem de frequentemente 4,5 m a 73 m, porém as situadas no médio e baixo curso do rio, onde há confluências de tributários importantes, são mais largas (>70 m), porque detêm canais fluviais duplos ou triplos que aumentam suas expressões espaciais.

Tratando das métricas das larguras da vegetação obtidas nos 70 transectos, detectou-se, na margem direita, que 17 trechos estavam integralmente desmatados (24,28%), 20 possuem a mata ciliar menor que 10 metros (28,57%), 12 detêm mata com larguras entre 10 m a 20 m (17,14%), 4 tem mata com dimensões entre 20 m a 30 m (5,71%) e 17 possuem larguras superiores a 30 m (24,28%).

Enquanto isso, as matas ciliares situadas na margem esquerda do rio apresentaram as seguintes larguras: 19 foram totalmente desmatadas (27,14%), 10 são menores que 10 m (14,28%), 9 são maiores que 10 m, mas menores que 20 m (12,85%), 3 são maiores que 20 m e menores que 30 m (4,28%) e 29 são maiores que 30 m (41,42%).

Isto posto, obteve-se as seguintes larguras médias do rio (12,20 m), das planícies fluviais (153,92m), da mata ciliar nas margens direita (27,36m) e esquerda (31,26m). Entretanto, é perceptível que esses valores foram superdimensionados em decorrência das elevadas dimensões desses elementos no médio e baixo curso do rio, onde são mais desenvolvidos. Logo, não são propícios para indicar, por exemplo, que as planícies são largas ou que as matas estão conservadas e dentro dos limites estabelecidos pelo novo CFB.

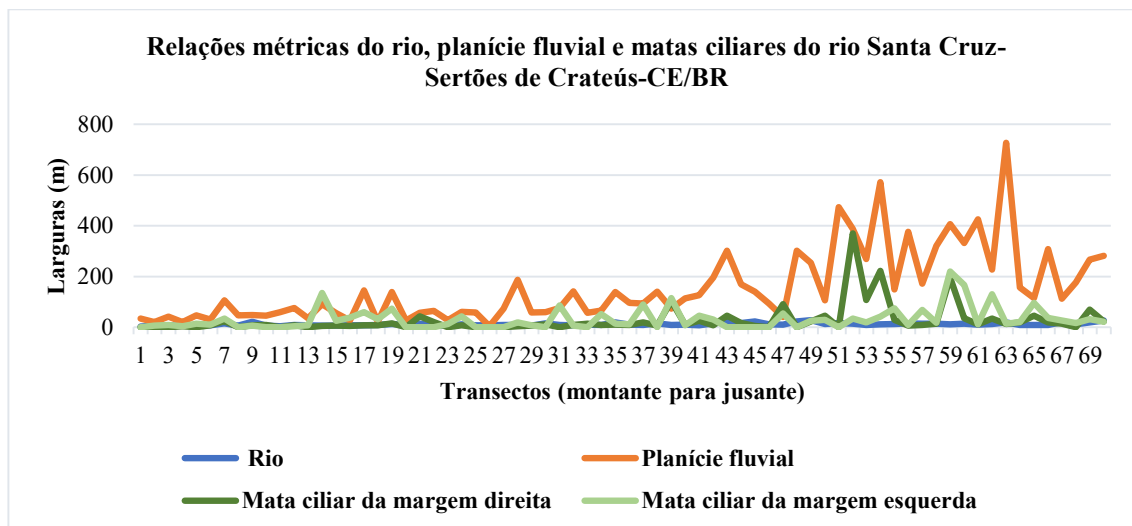


Gráfico 6 - Relações métricas do rio, planície fluvial e matas ciliares do rio Santa Cruz- Sertões de Crateús-CE/BR

O Gráfico 6 demonstra as relações entre as larguras do rio, de suas planícies fluviais e das matas ciliares. Assim, a partir das linhas apresentadas no Gráfico 6 é possível perceber que há inter-relações entre os elementos examinados, de tal modo que canais fluviais maiores ou menores implicam nos tamanhos das planícies fluviais e nas matas ciliares.

Nos primeiros 39 transectos, nota-se que o canal fluvial, as planícies e suas matas não variam expressivamente de tamanho porque são trechos do alto curso e início do médio curso. Porém, a partir do transecto 40, todos os elementos são maiores porque o rio recebe mais cargas hidrossedimentares dos seus tributários, bifurcando-se e criando um canal duplo ou triplo. Essa configuração forma planícies mais largas, logo com matas ciliares maiores.

As variações nas linhas do Gráfico 6 são condicionadas também pelas especificidades ambientais de cada trecho que possibilitam ou não a formação das planícies fluviais, bem como os tipos de espécies vegetais, as dimensões da mata ciliar e os usos das planícies citadas. Afinal, as larguras das matas ciliares oscilam em razão do tamanho, orientação e intensidade da degradação da planície fluvial.

Com base nos trabalhos de campo e na análise espacial da área, constatou-se que as matas situadas sobre as planícies são as mais degradadas por serem espaços propícios para as atividades produtivas. Ademais, comumente o rio forma uma planície em pontal em uma de suas margens, enquanto a outra dominam os processos de erosão e são colonizadas por espécies da caatinga arbustiva aberta. Por isso, uma margem tende a ser mais degradada que a outra.

Esta circunstância é representada pelas linhas verdes do gráfico 1 que informam as dimensões latitudinais das matas ciliares e correlaciona-as com o tamanho das planícies em

cada trecho examinado. Desta maneira, a partir das métricas expostas e do Gráfico 8, identificou-se que as larguras das matas ciliares da margem direita e a esquerda do rio são distintas.

Nota-se que a mata ciliar da margem direita é mais degradada, portanto repercutindo na estabilidade e diminuição dos picos na linha que a representa. Já a linha que representa as larguras da mata ciliar da margem esquerda oscila mais porque essa margem é mais conservada, embora congregue 19 trechos totalmente desmatados.

Observando as linhas que indicam as larguras das planícies fluviais e das matas ciliares, percebe-se que as planícies são habitualmente mais largas que suas matas ciliares. Esta situação ocorre porque as matas foram desmatadas parcialmente ou integralmente para o uso agrícola e de pastagens, logo foram degradadas ao longo do tempo e possuem expressões espaciais reduzidas, segundo foi exposto.

8.7 Análise sobre a eficiência da legislação ambiental na preservação das APPs ripárias do rio Santa Cruz- Sertões de Crateús, CE/Brasil

As APPs surgiram definitivamente em 1965, mas, em meio a ditadura militar, o impacto da legislação na BH do rio Santa Cruz foi praticamente nulo, pois os sertanejos não tinham acessos a tais informações e não desejavam, por desconhecimento, a sua aplicação porque perderiam importantes áreas agricultáveis. Dessa maneira, continuaram suas atividades de uso da terra conforme foi repassado por seus pais, implicando na reprodução cultural.

A partir de 1990, após as transformações nos âmbitos políticos, econômicos, culturais e legais no Brasil, houve uma maior sensibilização da população para a questão ambiental, assim como as instituições que fiscalizavam o ambiente foram fomentadas. Com isso, novas políticas públicas foram estabelecidas resultantes das Agenda 21, assinada na Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento em 1992.

O trabalho conjunto das instituições ambientais brasileiras e da mídia favoreceram a difusão da racionalidade ambiental e da Educação Ambiental no país. Deste modo, os sertanejos tiveram acessos às informações e gradualmente passaram a rever suas atitudes e temerem as multas dos órgãos ambientais. Apesar dos avanços expostos, a exploração da natureza sem práticas de manejo conservacionista ainda é algo socialmente aceita no contexto discutido.

Isso decorre da falta de consciência ambiental, das ausências de ações cidadãs voltadas para sensibilizar e denunciar infratores e da indiferença da população para a questão diante do quadro de pobreza vigorante na área. Soma-se a isso o corporativismo de uma sociedade guiada

pelos valores antropocêntricos que reproduz a perspectiva de que a natureza serve para tender ilimitadamente as demandas humanas.

Diante das informações orais, antes de 1980, as planícies fluviais eram ocupadas sem limitações, senão as impostas pelas adversidades climáticas porque não havia fiscalização ou trabalhos de conscientização na época. Isso evidencia o descaso do Estado perante a questão e indica o motivo da mudança de postura quanto ao uso desses espaços, que ainda é um tema marcado por contradições e interesses.

No caso das planícies fluviais do rio Santa Cruz e de suas APPs, percebeu-se que anteriormente, com a Lei de 1989, a planície fluvial foi integralmente protegida, como também parte da encosta adjacente. Entretanto, a norma não era respeitada e a utilização desses espaços era habitual, em meio a ineficiência do Estado em aplicar a lei, monitorar e salvaguardar essas áreas.

Dentre as leis apresentadas, o novo CFB implementou alterações significativas no uso das APPs, embora muitas dessas já estivessem degradadas e ocupadas antes de sua promulgação. Esta lei evidenciou o caráter ambíguo da relação sociedade-natureza, uma vez que as modificações diminuíram a proteção dos espaços morfodinamicamente instáveis, como é o caso das planícies fluviais, por flexibilizar e legitimar parte das ocupações ilegais dos espaços protegidos pelo segundo CFB.

O novo CFB avançou ao instituir o CAR com a função de integrar as informações ambientais das propriedades, referentes as suas métricas, APPs, Reserva Legal, planejamento, áreas rurais consolidadas e outros. Isso permitiu obter informações e dados relevantes para a gestão territorial e dos ambientes protegidos.

Não obstante, o novo CFB causou a redução das APPs ripárias pela mudança do referencial que deixou de considerar o leito maior para o leito regular, portanto somente parte da planície fluvial passou a ser protegida. A criação da área rural consolidada, ao passo que legitimou o uso secular das margens dos rios, criou um benefício para os infratores ambientais e diminuiu os espaços que deveriam ser protegidos.

Os Quadros 8 e 9 mostram as métricas relacionadas aos tamanhos da APPs nas áreas rurais consolidadas. As dimensões exigidas são insuficientes para assegurar a manutenção do sistema fluvial, mesmo sob uso agrossilvipastoril porque a maioria das propriedades são pequenas ou médias e utilizam manejos rudimentares. Deste modo, cinco ou vinte metros de APP para cada margem do rio, por exemplo, não é suficiente para proteger o sistema fluvial,

tendo em vista a perda da biodiversidade, o comprometimento do fluxo gênico, as ações erosivas e a possibilidade de poluição dos recursos hídricos.

Tai métricas são insuficientes para comportar algumas árvores endêmicas da mata ciliar, como o juazeiro (*Ziziphus Joazeiro*), a oiticica (*Licania rigida*), mofumbo (*Combretum leprosum*) e angicos (*Anadenanthera colubrina var cebil griseb altschul*) que frequentemente possuem entre 6 m a 30m de largura quando possuem portes médio a grande. A saber um cajueiro (*Anarcadium occidentale*) de grande porte na planície examinada chegou a ter 30 m de largura, logo bastaria a APP ter uma linha continua com uma ou três árvores citadas para estar de acordo com a o novo CFB.

Além disso, essa mudança nas métricas é insuficiente para a proteção dessas áreas perante enchentes e para assegurar as produções e construções junto a tais áreas diante de eventos pluviométricos extremos. Logo, favorecendo o uso de espaços morfodinamicamente instáveis e aumentando a vulnerabilidade de degradação do sistema fluvial e do socioeconômico.

Soma-se a isso a exclusão das APPs ripárias ao longo dos rios efêmeros que repercutiu na disponibilidade de terras agricultáveis, porém impactou na preservação da qualidade e quantidade hídrica. Isto porque o uso desordenado desses espaços, juntamente com os circundantes, resulta na erosão dos solos, assoreamento dos rios, no aumento da possibilidade de enchentes, na poluição ou contaminação dos mananciais devido aos resíduos domésticos, de pocilgas, estábulos, cemitérios e outros. Tudo isso afeta diretamente a qualidade ambiental das planícies fluviais, por serem sensíveis às variações no sistema que as comportam.

O monitoramento das APPs ripárias também se tornou mais complexo porque as métricas das APPs adquiriram especificidades espaciais conforme o tamanho da propriedade, como indicam os Quadros 8 e 9. Em meio a essa celeuma, o que chama atenção é a intenção do Estado em proteger áreas, mas sua atuação é ambígua por diminuir os espaços ou flexibilizar seus usos para diversos fins.

Percebeu-se que as exceções de uso das APPs ripárias, isto é, quando há utilidade pública, baixo impacto ambiental e interesse social auxiliam indiretamente na degradação das APPs e nas planícies. Uma vez que abrem precedentes excepcionais para a exploração ambiental, permitindo a criação de estradas, pontes, poços, captações hídricas, explorações de minerais da calha fluvial ou na planície desde que seja autorizado por órgãos competentes, por exemplo.

As limitações disso surgem quando o Estado melhora a infraestrutura, como estradas, e permite o acesso a áreas antes remotas. Essas passam a ser exploradas predatoriamente, caso não haja o incentivo ao manejo sustentável e uma fiscalização eficaz para coibir abusos e a possibilidade de surgimento da degradação ambiental. A inexistência disso concorre para o uso insustentável e ilegal dos recursos, como ocorre nas planícies fluviais e em algumas APPs ripárias da área de estudo, sobretudo na extração de madeira e de minerais para a construção civil.

Diante do exposto, notou-se que o novo CFB, assim como seus antecessores, tiveram poucos impactos práticos na proteção das planícies fluviais do rio Santa Cruz, em razão da ausência de fiscalizações eficientes e de políticas públicas que auxiliassem os sertanejos a utilizarem espaços adequados para suas atividades produtivas, com a finalidade de aumentarem suas rendas sem demandarem dos recursos das planícies.

Contraditoriamente, percebeu-se que o êxodo rural, as secas e as dificuldades impostas ao modo de vida rural implicaram no abandono de campos agrícolas, incluindo aqueles nas planícies fluviais. Isto posto, tiveram impactos positivos no que tange à conservação ambiental por viabilizaram o pousio das APPs ripárias e das planícies estudadas

8.8 Considerações finais

As leis foram criadas para atenderem interesses sociais específicos e são orientadas pelo antropocentrismo, logo os espaços protegidos possuem um cunho utilitarista para a sociedade e o valor intrínseco dos sistemas ambientais assume um papel secundário, embora seja usado como argumento para a preservação desses espaços.

As mudanças constantes nas leis reforçam a dinamicidade do sistema constitucional e indica a constante necessidade de adaptar as normas, segundo as demandas sociais. Além disso, verificou-se que há uma tendência de redução das APPs e de sua proteção, em favor dos interesses do sistema produtivo.

O segundo CFB foi relevante, especialmente, por criar as APPs, delimitar inicialmente suas métricas em todo o território nacional. Porém, foi pouco eficiente no que tange à proteção integral das planícies fluviais pelos tamanhos reduzidos das APPs e por ter sido pouco conhecido na época de sua promulgação.

A Lei nº 7.803 de 18 de julho de 1989 foi relevante para proteção das APPs ripárias pela indicação do referencial a partir do leito maior, logo toda a planície estaria protegida e

parte da encosta adjacente. Porém, isso repercutiu negativamente na sociedade e seu referencial foi alterado.

Os relatos e as análises espaciais demonstraram que as planícies fluviais foram degradadas desde o período colonial, ou seja, antes do estabelecimento de uma lei específica para a proteção de seus espaços. A criação das APPs ripárias em 1965 não teve uma repercussão imediata na proteção das planícies do rio Santa Cruz devido a falta de informação dos sertanejos e de fiscalização.

Atualmente, as planícies expostas e suas APPs são majoritariamente ocupadas e degradadas em razão da agropecuária e extração de minerais ilegal. Isso ocorre em virtude da falta de consciência ambiental, de práticas e tecnologias que ampliem o potencial produtivo de outras unidades de relevo, da ausência de fiscalização e das constantes flexibilizações que a legislação sofreu em prol de mitigar os conflitos ambientais e assegurar o sistema produtivo nas planícies postas.

Neste enredo, a degradação ambiental e o uso desordenado desses espaços ainda são problemas atuais que tendem a aumentar em razão da falta de políticas públicas e instituições com autonomia e aparatos necessários para os exercícios de suas funções. Apesar dos avanços na pauta ambiental, a legislação não favoreceu contundentemente a conservação das planícies fluviais, mesmo quando criaram as APPs que geralmente possuem dimensões inferiores e função virtuais do que práticas.

9 IDENTIFICAÇÃO DAS ÁREAS DE RISCOS RELACIONADAS AOS EVENTOS PLUVIOMÉTRICOS EXTREMOS NA ZONA URBANA DE INDEPENDÊNCIA-CE

9.1 Introdução

Tradicionalmente, o Nordeste brasileiro tem sofrido vários desastres naturais, sobretudo por secas e inundações decorrentes de eventos pluviométricos extremos. As ocorrências e impactos das secas são relativamente conhecidos, tanto que Villa (2000) indica a existência dos primeiros relatos de secas da realidade nordestina em 1552. Porém, as existências de inundações quase não foram registradas em razão da sua natureza episódica e da sua diminuta expressão temporal.

No caso do Nordeste, esses fenômenos estão intrinsecamente correlacionados com o clima tropical quente semiárido, que para Ab'saber (1999), é um tipo climático complexo e marcado pela irregularidade pluviométrica e incertezas em razão das inter-relações entre os fatores climáticos e sistemas atmosféricos causadores ou inibidores de precipitações em várias escalas. Desse modo, a variabilidade pluviométrica e térmica, no tempo e no espaço, e as incertezas são características estruturais desse clima.

Assim, há eventos extremos que criam os desastres naturais, os quais impactam diretamente na dimensão socioeconômica por não estar preparada e menosprezar os riscos e os impactos negativos desses fenômenos. Segundo Monteiro e Zanella (2019), desastre natural é todo fenômeno natural de grande intensidade, agravado ou não pela atividade humana, sendo representado por inundações, abalos sísmicos, erosões, deslizamentos, incêndios florestais, tempestades, secas, ciclones e etc.

No âmbito brasileiro, notadamente no Nordeste, os desastres naturais são, majoritariamente, de origem atmosférica, pelo excesso ou escassez pluviométrica. Nesse contexto, surgem as áreas de riscos que são porções territoriais sujeitas aos impactos dos processos morfogenéticos, portanto sua ocupação é desaconselhada em razão da sua alta suscetibilidade à desastres naturais, aos riscos de mortes e às perdas econômicas.

Nesses termos, o Brasil dispõe da Lei Nº 2.651, de 25 de maio de 2012 (Novo Código Florestal) e da Lei Nº 12.608, de 10 de abril de 2012 (Lei de mitigação dos riscos dos desastres naturais) que objetivam também estimular os estudos, o monitoramento e preservação das áreas de riscos em decorrência das suas funções ecológicas, do risco e perigo que representam para as populações que nela habitam e atividades econômicas que lá se desenvolvem.

As principais áreas de risco são consideradas Áreas de Preservação Permanentes – APP, como os topos de morro, as encostas com declives superiores a 45°, os apicuns e salgados dos manguezais, veredas e nas adjacências dos rios possuem proteção assegurada pela legislação (BRASIL, 2012). Com isso, somente podem ser ocupadas com a autorização dos órgãos ambientais desde que as atividades sejam de baixo impacto ambiental, utilidade pública, interesse social e não haja alternativa locacional para o empreendimento (BRASIL, 2012).

Não obstante, esses espaços foram secularmente utilizados sem práticas de manejo e seus recursos naturais viabilizaram o estabelecimento de várias cidades em seus espaços. A planície fluvial representa uma APP e um espaço inundado sazonalmente, porém muitas cidades nordestinas cresceram sobre ou nas bordas dela. Nesta perspectiva, quando há alta pluviosidade ou eventos extremos, esses locais costumam ser inundados causando prejuízos e, excepcionalmente, mortes.

O Ceará, enquanto Estado nordestino, tem sofrido perdas em decorrência da falta de um ordenamento territorial adequado e pautado no respeito à legislação vigente. Neste sentido, trabalhos como Brito e Silva (2012), Olímpio e Zanella (2015), Soares, Ferreira e Carneiro (2016) e Monteiro e Zanella (2019a) tem demonstrado os impactos hidrometeorológicos nas zonas urbanas cearenses. Apesar disso, os estudos são incipientes ou inexistentes em cidades pequenas cearenses (menores que 50.000 habitantes), o que mascara os riscos que essas estão sujeitas embora com tamanhos diminutos em relação às cidades médias e grandes.

Com base nisso, escolheu-se a Sede municipal do Município de Independência, no Centro-Oeste do Ceará, como *lócus* de estudo pelo seu quadro ambiental, por estar cercada por rios e suas planícies, pela inexistência de estudos com esta abordagem e pela expansão do tecido urbano desordenado. Isto posto, parte-se da hipótese que as áreas de riscos foram maciçamente ocupadas nos últimos 20 anos. Logo, este trabalho objetiva identificar as áreas de risco dentro e nas imediações de zona urbana, bem como demonstrar as ocorrências de eventos extremos que causaram as inundações dessas áreas e provocaram prejuízos socioeconômicos entre 1974 a 2019.

9.2 Caracterização ambiental do Município de Independência-CE

O Município de Independência possui 3.222,381 km² e possui seis distritos (Independência, Iapi, Ematuba, Monte Sinai, Jandrangoeira e Tranqueiras). Está situado na microrregião dos Sertões de Crateús, porção Centro-Oeste do Ceará, Brasil, e limita-se, ao norte, com os Municípios de Boa Viagem, Monsenhor Tabosa, Tamboril e Crateús; ao sul, com

Tauá e Quiterianópolis; ao leste, com Tauá, Pedra Branca e Boa Viagem; a oeste, com Crateús, Novo Oriente e Quiterianópolis.

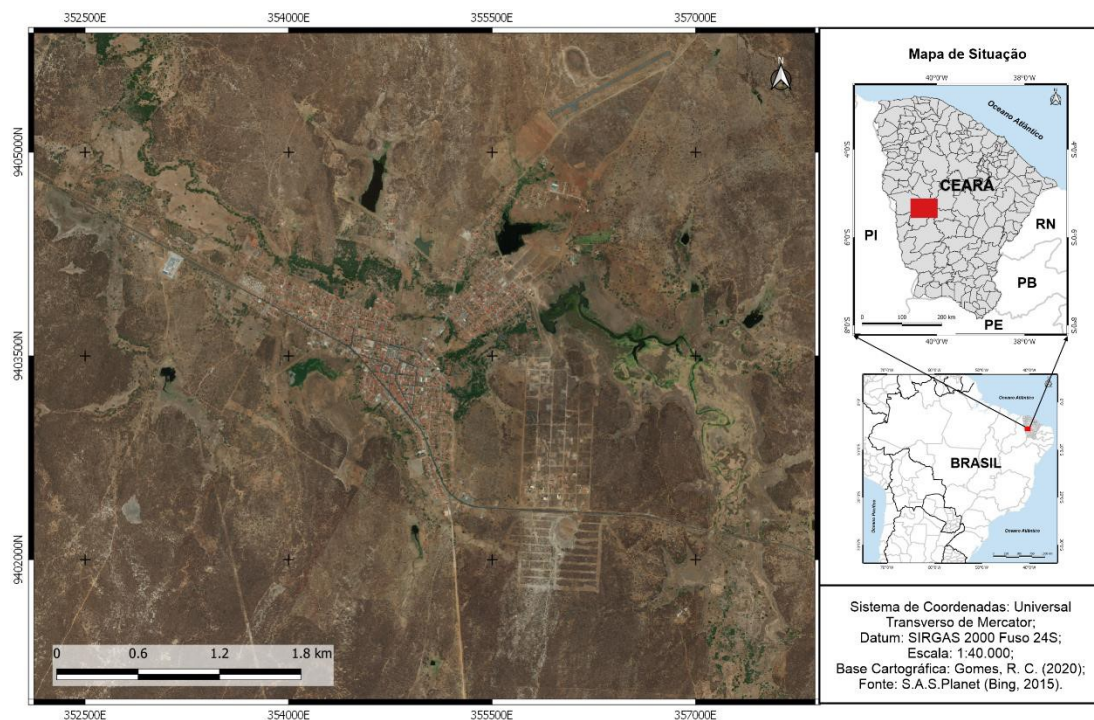
Desse modo, Independência-CE (Mapa 15) tem seu embasamento geológico composto por rochas cristalinas pré-cambrianas, notadamente por gnaisses, granitos, xistos, quartzitos, migmatitos, mármore, pegmatitos, paragnaisses e metatextito (PINÉO *et al.*, 2020) que são recobertas por sedimentos aluvionais ou coluvionais quaternários nos canais e planícies fluviais.

Em termos geomorfológico, o município está assente, majoritariamente, sobre pediplanos, com cotas altimétricas entre 400 a 250 metros de altitude, que comportam também planícies fluviais, com áreas adjacentes constituídas por *inselbergs* e cristas. A porção norte e leste da área de estudo são bordejadas por maciços estruturais cujas elevações alçam a 800 m (CEARÁ, 2017; GOMES; PAIVA; OLIVEIRA, 2017).

Com relação à caracterização climática do município exposto, seu clima é o tropical quente semiárido, caracterizado por temperaturas médias entre 26° a 28°C anuais, por chuvas torrenciais e regime pluviométrico têmporo-especialmente irregular e com eventos de estiagem em até oito meses do ano (CEARÁ, 2017). Isto posto, a partir dos dados pluviométricos coletados entre 1974 a 2019, obtém-se uma média pluviométrica de 577,5 mm/anuais.

A insolação e o índice de aridez anuais são, respectivamente, superiores 2.515 horas/luz e a 0,31 (FUNCEME, 2015; GOMES; OLIVEIRA; ZANELLA, 2017). Os principais sistemas atmosféricos que causam chuvas em Independência são os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN), a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e os Complexos Convectivos de Mesoescalas (CCMs) que agem entre o verão e o outono influenciados pelo *El niño* ou *La niña*, bem como pelo Dipolo do Atlântico (FERREIRA; MELLO, 2005; GOMES; OLIVEIRA; ZANELLA, 2017).

Assim, as chuvas estão concentradas entre os meses de janeiro a abril e, nos demais meses do ano, há a atuação da Massa Equatorial Atlântica (MEA), quando se instala o quadro de semiaridez na paisagem, devido ao *déficit* hídrico em razão da escassez de chuvas e da alta taxa de evapotranspiração (GOMES; OLIVEIRA; ZANELLA, 2017).



Mapa 15 – Localização da Cidade e Município de Independência – CE.

Quanto à hidrografia, o território de Independência é composto por duas bacias hidrográficas intermitentes (rio Santa Cruz e o rio Jucás) com padrão de drenagem dendrítico que agregam outras sub e microbacias, ambas componentes do alto curso da rede hidrográfica do rio Poti. Dessa maneira, os rios mencionados somente possuem água corrente durante o período chuvoso e, temporariamente, há o acúmulo de água nas suas depressões por alguns meses do ano, porém o que domina são rios e riachos secos influenciados pelos pulsos hidrossedimentológicos de enchentes no período chuvoso.

A conformação ambiental descrita implica diretamente na configuração dos solos em Independência. Nesta perspectiva, há a maior expressão dos Luvisolos Crômicos, Cambissolos Háplicos, Neossolos Litólicos, Planossolos Solódicos e Neossolos Flúvicos (BRASIL, 1973) que se encontram em porções paisagísticas particulares, embora haja a abundância espacial das três primeiras classes, influenciados pelo clima semiárido.

A vegetação do município é predominantemente constituída pela Caatinga de diversos padrões fisinômicos, em virtude dos demais componentes das paisagens. Em termos específicos, segundo Ceará (1997), há a caatinga arbustiva aberta, a Floresta Caducifólia Espinhosa e as Matas Ciliares. Essas estão situadas em paisagens distintas do território, por exemplo, a primeira desenvolve-se sobre os pediplanos; a segunda, sobre os maciços estruturais e; a terceira, nas planícies aluvionais.

Destaca-se que os solos e a vegetação se encontram fortemente degradados em face de sistemas de manejo inadequados, dentre eles o extrativismo vegetal. A ampliação da área urbana, sem planejamento, tende a intensificar as áreas degradadas em função dos desmatamentos e exposição quase direta dos solos aos efeitos de condições climáticas, mais agressivas (SOUZA; OLIVEIRA, 2002).

9.3 Metodologia

Este trabalho pautou-se na análise integrada entre as inter-relações da atmosfera com o espaço urbano, que segundo Lima e Amorim (2014) é um pressuposto básico para os estudos do Clima Urbano. Para tanto empregou-se o referencial teórico e metodológico do Sistema Clima Urbano de Monteiro (1976), particularmente os pressupostos concernentes ao subsistema Hidrometeorológico que versa sobre os eventos meteorológicos e seus impactos no sítio urbano.

Quanto aos métodos procedimentais, iniciou-se realizando uma análise dos trabalhos sobre riscos, áreas de riscos e suas relações com as ações do subsistema hidrometeorológico proposto Monteiro (1976). A temática foi eleita por ser uma questão dentro do escopo da climatologia urbana e por subsidiar o entendimento da dinâmica climática nos espaços semiáridos e suas implicações no espaço de cidades de pequeno porte (menores que 50.000 habitantes).

A área de pesquisa foi eleita devido à escassez de estudos sobre áreas de riscos e os impactos dos eventos de precipitações extremas no território municipal, sendo assim imperativo considerar os impactos de eventos pluviométricos extremos e suas repercussões socioambientais. Assim, foi feito um levantamento em artigos e mapas (citados na caracterização ambiental da área) que apresentavam dados e informações ambientais presentes no Município de Independência que foram analisados e empregados para a caracterização do espaço socioambiental urbano de Independência-CE.

Quando se trata de riscos, suas áreas e clima urbano, faz-se necessário entender a construção do espaço urbano analisado para compreender seus fixos, fluxos, funções e motivações que substanciam a sua configuração urbana. Deste modo, fez-se um levantamento histórico breve sobre a história da sede municipal a partir de informações secundárias e primárias colhidas por conversas informais e semiestruturadas com habitantes com mais de 60 anos de idade e que sempre residiram na sede municipal.

A identificação das áreas de risco deu-se a partir do exame dos elementos paisagísticos (litologia, relevos, solos, vegetação e outros) e de como foram empregados pela sociedade.

Deste modo, analisou-se o modelo de elevação digital do terreno (MDT), a rede de drenagem da bacia hidrográfica (BH) do rio Cupim e da BH do rio Santa Cruz, para onde conflui. Assim, a análise da rede de drenagem, das planícies de inundações, ocorrências de barramentos artificiais, relatos orais de locais que inundaram durante enchentes e ocupações irregulares foram os critérios preponderantes para identificação das áreas de risco.

Além disso, obteve-se a série histórica da pluviometria, de 1974 a 2019, do posto pluviométrico localizado na sede municipal e pertencente a Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos - FUNCEME. Esses dados foram tabulados no Excel e organizados. Desta feita, foram calculados os totais pluviométricos mensais e anuais, e estimada a média da série histórica examinada e identificados os totais pluviométricos diários superiores a 40 mm (eventos extremos) desde 1974 a 2019, por representarem eventos torrenciais pontuais e que geram implicações socioespaciais caso ocorram em um curto espaço temporal.

Desta maneira, é possível identificar quais dias houve eventos extremos e suas possíveis relações com os sistemas atmosféricos. Com isso, associou-se também as menores e as maiores médias pluviométricas anuais, representando anos estios e chuvosos, com os dados históricos de episódios de *El Niño* e *La Niña* (Oceanic Niño Index).

A análise orbital das paisagens e áreas de risco utilizou o Google Earth pro, com imagens da Maxar Technologies de 10 de fevereiro de 2019, por sua acessibilidade, fácil manuseio, ser gratuito, permitir múltiplas aplicabilidade dos seus produtos e dispor de imagens com altas resoluções espaciais que facilitaram a identificação e apresentação dos espaços estudados.

Para identificação de eventos extremos, empregou-se relatos orais com pessoas acima de 60 anos que vivenciaram esses episódios. Não foram empregados relatórios da defesa civil, pois não havia registros oficiais, assim como notícias documentadas em jornais impressos ou vídeos, devido à sua natureza episódica e de repercussões pontuais.

9.4 História da evolução territorial e surgimento da cidade de Independência-CE

A história do Município e da Sede de Independência-CE, inicia-se com a compra da terra Vale do rio Poti, também chamado de Vale de Crateús por quatro mil cruzados, em 1721, pelo capitão Garcia de Ávila Pereira (ALVES, 2014). Posteriormente, foi estabelecida a fazenda de José Ferreira de Melo que determinou e doou terras para o erguimento de uma capela sob conselho de Frei Vidal da Penha que foi concluída em 1810 (IBGE, 2020).

A capela foi erguida em meio ao pediplano, porém optou-se pelo topo de uma colina (coordenadas 5°23'42.14"S e 40°18'38.99"O) na cercania do fundo do vale do rio Cupim devido a sua configuração topográfica, dando-lhe maior visibilidade, protegendo-a das inundações do rio, favorecendo a ventilação da edificação e situando-se próxima da sede da fazenda. A capela, posteriormente tornou-se Igreja Matriz e, ao seu redor, floresceu um povoado que foi núcleo inicial do que hoje é a Cidade de Independência (figura 1), sendo que as primeiras ruas foram nomeadas de Rua da Municipalidade, Rua do Cruzeiro, Rua do Conselheiro Rodrigues, Rua do Fisco, Rua da Boa Vista e Rua de Jerusalém (IBGE, 1959; MOTTA, 1987).

Assim, o povoado inicial da cidade, surgiu a partir do desenvolvimento de uma fazenda de gado e com a construção de uma capela que atraiu fiéis e fizeram-nos construir segundas residências ao seu redor para que participassem dos festejos religiosos e para o estabelecimento de um local com o qual pudessem contar com algum serviço governamental ou de feiras para trocas de produtos. Enquanto isso, as planícies fluviais circundantes eram empregadas como áreas com cacimbas, para a agricultura de sequeiro, no período chuvoso, depois como pasto durante os meses estios.

Em 6 de setembro 1836, por meio do decreto nº 56, o povoado foi elevado a categoria de distrito de paz e foi denominado de Pelo Sinal (IBGE, 2020). Em seguida houve a criação da freguesia, em 15 de setembro de 1853, que auxiliou no aumento da importância do distrito e deu maiores possibilidades no que tange ao controle do território pela oligarquia local. Entretanto, Pelo Sinal ainda estava subordinado à administração da vila de Príncipe Imperial (Crateús) e ambas eram integrantes da Província do Piauí.

Segundo Ferreira (2020), o Padre Rufino Soares Valamira, bisneto de José Ferreira de Melo, auxiliou no desmembramento de Independência do domínio de Crateús, tendo em vista seu poder e relevância religiosa e política. O autor acrescenta que a separação teve várias motivações, dentre os quais destacam-se a demarcação do território e o seu controle pelo consórcio familiar dominante na época, visto que inexistiam empecilhos para a criação de uma vila, bastando somente a população reivindicar tal status às Autoridades Provinciais.

Cabe enfatizar que, segundo Ferreira (2020), o desmembramento fomentava o agrupamento de famílias aristocratas, que formavam relações sociopolíticas, e onde exerciam controles exacerbados sobre o governo municipal, tendo em face o controle da máquina pública, a aplicação da lei, a defesa, a segurança e a punição dos infratores, portanto sendo mais um triunfo de uma família poderosa do que de uma outra Autoridade Provincial. De tal modo,

desenvolveu o princípio de um território onde o poder e os interesses de uma família influenciam diretamente a construção e gestão do território, fato esse reproduzido até a atualidade, porém com modos diferenciados.

Com o Decreto nº 436, em 24 de julho de 1857, o povoado foi elevado a condição de vila, chamada de Independência, e desmembrada de Crateús. Em 22 de outubro de 1880, pela Lei Geral Nº 3.012, houve a permuta entre as províncias do Ceará com o Piauí, que envolveu a troca do vale do Poti com Porto de Amarrações (Luís Correa-PI).

Em seguida, o território passou por uma instabilidade no que tange à elevação a município e rebaixamento a distrito, tendo vista que a Lei estadual Nº 107 de 20 de setembro de 1893, destituiu sua categoria de município que foi restaurado em 07 de agosto de 1896 com a Lei Nº 294. Após isso, o Decreto Estadual Nº 193, de 20 de maio de 1931, tornou a extinguir o município que reconquistou novamente seu status e tendo sua emancipação política finalizada em 4 de dezembro de 1933 pelo Decreto Nº 1.156 do interventor Roberto Carneiro de Mendonça (MOTTA, 1987).

Inicialmente, o traçado arquitetônico da vila tinha uma configuração em xadrez, pois as casas inicialmente foram edificadas ao redor da igreja matriz. Com o crescimento populacional, esse traçado foi ampliado a partir do desenvolvimento das porções com habitats lineares, ao longo de estradas, sendo indicativos da expansão urbana para um dado setor. Nesta perspectiva, o crescimento da vila foi gradual e as edificações ocuparam primordialmente as porções mais elevadas do pediplano colinoso, mas sempre próximas as planícies fluviais do rio Cupim e Traviata, por serem fontes de recursos naturais, como os recursos hídricos.

Diante da morfologia do relevo, a malha urbana teve um crescimento orientado para três vetores (Sudeste, Nordeste e Noroeste), visto que representam os espaços relativamente mais elevados e por estar cercado por corpos hídricos que ocupavam o fundo do vale, portanto destinadas para captação hídrica, agricultura de sequeiro e criação do gado.

Na gestão de Luiz Nogueira Mota (1935-1936) houve a construção do açude da Prefeitura, a porção nordeste do núcleo urbano, com a finalidade de conter inundações e criar um reservatório hídrico, porém não há registros pretéritos que esse tenha sido utilizado para o abastecimento da cidade na época. Já em 1954, sob a gestão do prefeito Dr. Aristófanés Vieira Coutinho, o rio Traviata foi barrado para a criação do açude Falcão, na face sudoeste da sede, que abasteceu a zona urbana e serviu para o desporto da população que costumava banhar-se nas margens do reservatório.

Entre 1966 a 1971, durante a gestão de Adonias Carneiro Portela, foi edificada a Companhia de Habitação do Ceará (COHAB-CE) que representa a expansão do vetor nordeste da cidade. Diante da seca de 1970, houve a expansão do eixo noroeste da malha urbana em razão da forte seca que assolou o Ceará e o município, mobilizando um contingente de retirantes pobres para a periferia da cidade, onde foi formado o bairro conhecido como 70, hoje, chamado de Maria Inês Saboia.

Com expansão da cidade, houve o aumento da demanda por recursos naturais, especialmente, a água. Em seguida, em 1971, o então prefeito, Francisco Expedido Alves, atuou na construção da barragem do rio Cupim. Logo, a barragem atingiu sua cota máxima diante de um inverno rigoroso e apresentou uma avaria que culminou no seu rompimento em 20 de dezembro de 1972. Porém, foi consertada em 31 dias, alcançando a cota máxima na estação chuvosa de 1973.

Enquanto isso, o vetor sudeste desenvolvia-se por meio da expansão dos *habitats* lineares, porém a parte nobre da cidade era o Centro, por deter a melhor infraestrutura, comércio, igrejas, prédios públicos, escolas, dentre outros. As extremidades dos vetores agregavam os grupos sociais mais pobres, como ainda há atualmente.

Entre 1976 a 1982, a cidade recebe grupos ciganos que se instalaram na cidade, fugindo das secas e da fome. Inicialmente, concentraram-se nas cercanias do antigo matadouro, mas, em 1990, cerca de 80% passaram a residir no Conjunto Habitacional Multirão, cujos materiais eram bancados pelo governo federal e os agraciados dariam a mão de obra para as construções como contrapartida. O projeto inicial objetivava 200 habitações, porém diante da crise econômica brasileira, somente metade foi implementada.

Após 1990, a cidade foi gradualmente crescendo e obtendo novos equipamentos públicos, como matadouros, praças, tratamento de esgoto de uma parcela da zona urbana, sinalização de trânsito, construção do Conjunto Habitacional Santa Rita, no eixo nordeste, hospital municipal, quadras cobertas e entre outros. Vale destacar que o setor nordeste, é onde a situação socioeconômica é mais preocupante em virtude da sua segregação socioespacial e vulnerabilidade socioambiental.

Atualmente, a cidade tem crescido no sentido noroeste e sudeste por serem áreas de loteamentos que atraíram pessoas que desejavam espaços maiores para suas moradias e por melhorias pontuais feitas pela prefeitura. Entretanto, cabe frisar que, parcelas dessas áreas não possuem pavimentações, rede de esgoto e iluminação pública adequada.

Tratando-se dos aspectos demográficos, de acordo com IBGE (2020), a população do município era de 25.573 pessoas, sendo que 11.473 residem na zona urbana e 14.100 na zona rural. Esse dado indica que a população independenciense é predominantemente rural e que a densidade demográfica era de 7,95 hab./km². Quanto à estimativa demográfica para o ano de 2019, IBGE (2020) estima que seja de 26.178 habitantes.

O censo citado também demonstra que há 7.510 domicílios particulares, sendo que 3.567 estão na zona urbana e 3.943 na zona rural e que as médias de moradores são, respectivamente, 3,21 e 3,59 pessoas. Segundo dados de 2010 do IBGE (2020), o esgotamento sanitário adequado era de 30,1%, a arborização das vias públicas era de 96% e a urbanização das vias públicas era de 2,5%. Logo, cerca de 70% dos esgotos são depositados em fossas ou nos rios que cercam a cidade, criando ambientes aquáticos insalubres e diminuindo o bem-estar da população.

A economia do município é impulsionada pela agricultura de sequeiro, pecuária extensiva de corte, caprinocultura, ovinocultura, mineração de rochas ornamentais e serviços. Para além disso, os recursos federais e estaduais, bem como os programas contra a pobreza e aposentadorias são fundamentais para a economia da cidade, na qual a prefeitura é a maior empregadora de pessoas e há altas de desemprego e concentração de renda.

9.5 Análise da série pluviométrica do posto Independência-CE entre 1974 a 2019

O gráfico 7 exibe as médias de chuvas anuais obtidas ao longo da série histórica considerada que evidenciam as significativas irregularidades pluviométricas interanuais. Os anos que demonstraram o maior e o menor total pluviométrico foram, respectivamente, 1974 com 1145,3mm e 2012 com 74,4mm. Esses valores discrepantes indicam que, no primeiro ano exposto, choveu 15,3 vezes mais que o menos chuvoso. Acredita-se que o total pluviométrico de 2012 possa apresentar algum erro porque o valor é muito abaixo até mesmo da média histórica da série: 577,5mm.

Além disso, nota-se que o gráfico 7 indica um comportamento relativamente variabilidade ao longo de cada década, onde há picos episódicos de altos totais pluviométricos em meio a vários anos com médias inferiores. Na primeira década de 2000, verifica-se que as variações dos totais foram menos discrepantes, enquanto, entre 1974 a 1982, as médias foram significativamente heterogêneas, possivelmente em razão das variabilidades de combinações entre os sistemas atmosféricos e suas interações com o continente.

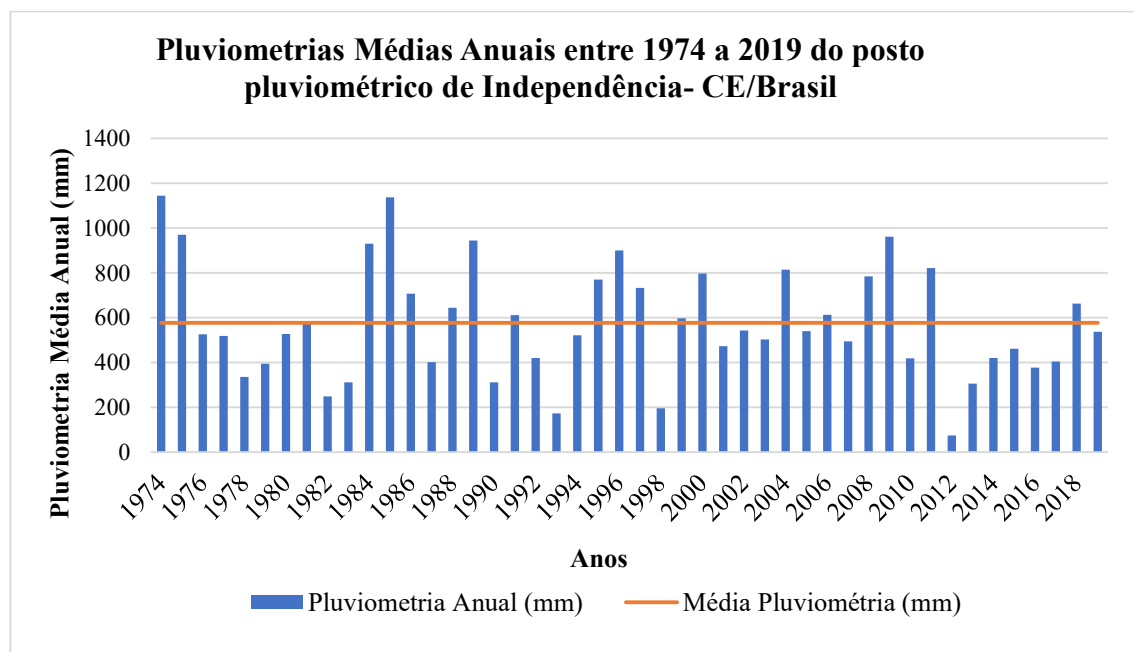


Gráfico 7 - Pluviometrias Médias Anuais entre 1974 a 2019 do posto pluviométrico de Independência-CE/Brasil.

Os anos com maiores precipitações foram 1974 (1145,3mm), 1975 (970,6mm), 1984 (930,7mm), 1985 (1136,8mm), 1989 (944,5mm), 1996 (900,3mm) e 2009 (962,4mm). Com base no quadro 4, em todos esses anos, os sistemas atmosféricos causadores de chuvas na área de pesquisa foram influenciados pela *La Niña* (Quadro 10).

Os anos mais estios foram 1982 (248,2mm), 1983 (311,8mm), 1990 (311,3mm), 1993 (195,5mm), 2012 (74,4mm) e 2013 (305,4mm). Ao correlacionar-se esses dados às manifestações de *La Niña* e *El Niño* (Quadro 10), verifica-se que esses anos tiveram ações do *El Niño* ou representam anos neutros antecedidos do evento citado. Entretanto, cabe ponderar que os anos de 2012 e 2013, não exibiram relações com o *El Niño*, o que reforça que pode ter havia algum problema na obtenção do dado pelo posto pluviométrico ou que houve ações do Dipolo do Atlântico.

Ano	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
1974	-1.8	-1.6	-1.2	-1.0	-0.9	-0.8	-0.5	-0.4	-0.4	-0.6	-0.8	-0.6
1975	-0.5	-0.6	-0.7	-0.7	-0.8	-1.0	-1.1	-1.2	-1.4	-1.4	-1.6	-1.7
1976	-1.6	-1.2	-0.7	-0.5	-0.3	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	0.9	0.8
1977	0.7	0.6	0.3	0.2	0.2	0.3	0.4	0.4	0.6	0.7	0.8	0.8
1978	0.7	0.4	0.1	-0.2	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	-0.3	-0.1	0.0
1979	0.0	0.1	0.2	0.3	0.2	0.0	0.0	0.2	0.3	0.5	0.5	0.6
1980	0.6	0.5	0.3	0.4	0.5	0.5	0.3	0.0	-0.1	0.0	0.1	0.0
1981	-0.3	-0.5	-0.5	-0.4	-0.3	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2	-0.1	-0.2	-0.1
1982	0.0	0.1	0.2	0.5	0.7	0.7	0.8	1.1	1.6	2.0	2.2	2.2

Ano	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
1983	2.2	1.9	1.5	1.3	1.1	0.7	0.3	-0.1	-0.5	-0.8	-1.0	-0.9
1984	-0.6	-0.4	-0.3	-0.4	-0.5	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2	-0.6	-0.9	-1.1
1985	-1.0	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.6	-0.5	-0.5	-0.4	-0.3	-0.3	-0.4
1986	-0.5	-0.5	-0.3	-0.2	-0.1	0.0	0.2	0.4	0.7	0.9	1.1	1.2
1987	1.2	1.2	1.1	0.9	1.0	1.2	1.5	1.7	1.6	1.5	1.3	1.1
1988	0.8	0.5	0.1	-0.3	-0.9	-1.3	-1.3	-1.1	-1.2	-1.5	-1.8	-1.8
1989	-1.7	-1.4	-1.1	-0.8	-0.6	-0.4	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2	-0.2	-0.1
1990	0.1	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.3	0.4	0.4
1991	0.4	0.3	0.2	0.3	0.5	0.6	0.7	0.6	0.6	0.8	1.2	1.5
1992	1.7	1.6	1.5	1.3	1.1	0.7	0.4	0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-0.1
1993	0.1	0.3	0.5	0.7	0.7	0.6	0.3	0.3	0.2	0.1	0.0	0.1
1994	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.6	0.7	1.0	1.1
1995	1.0	0.7	0.5	0.3	0.1	0.0	-0.2	-0.5	-0.8	-1.0	-1.0	-1.0
1996	-0.9	-0.8	-0.6	-0.4	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	-0.5
1997	-0.5	-0.4	-0.1	0.3	0.8	1.2	1.6	1.9	2.1	2.3	2.4	2.4
1998	2.2	1.9	1.4	1.0	0.5	-0.1	-0.8	-1.1	-1.3	-1.4	-1.5	-1.6
1999	-1.5	-1.3	-1.1	-1.0	-1.0	-1.0	-1.1	-1.1	-1.2	-1.3	-1.5	-1.7
2000	-1.7	-1.4	-1.1	-0.8	-0.7	-0.6	-0.6	-0.5	-0.5	-0.6	-0.7	-0.7
2001	-0.7	-0.5	-0.4	-0.3	-0.3	-0.1	-0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-0.3	-0.3
2002	-0.1	0.0	0.1	0.2	0.4	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.3	1.1
2003	0.9	0.6	0.4	0.0	-0.3	-0.2	0.1	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4
2004	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3	0.5	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7
2005	0.6	0.6	0.4	0.4	0.3	0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.3	-0.6	-0.8
2006	-0.8	-0.7	-0.5	-0.3	0.0	0.0	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9	0.9
2007	0.7	0.3	0.0	-0.2	-0.3	-0.4	-0.5	-0.8	-1.1	-1.4	-1.5	-1.6
2008	-1.6	-1.4	-1.2	-0.9	-0.8	-0.5	-0.4	-0.3	-0.3	-0.4	-0.6	-0.7
2009	-0.8	-0.7	-0.5	-0.2	0.1	0.4	0.5	0.5	0.7	1.0	1.3	1.6
2010	1.5	1.3	0.9	0.4	-0.1	-0.6	-1.0	-1.4	-1.6	-1.7	-1.7	-1.6
2011	-1.4	-1.1	-0.8	-0.6	-0.5	-0.4	-0.5	-0.7	-0.9	-1.1	-1.1	-1.0
2012	-0.8	-0.6	-0.5	-0.4	-0.2	0.1	0.3	0.3	0.3	0.2	0.0	-0.2
2013	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2	-0.3
2014	-0.4	-0.4	-0.2	0.1	0.3	0.2	0.1	0.0	0.2	0.4	0.6	0.7
2015	0.6	0.6	0.6	0.8	1.0	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.5	2.6
2016	2.5	2.2	1.7	1.0	0.5	0.0	-0.3	-0.6	-0.7	-0.7	-0.7	-0.6
2017	-0.3	-0.1	0.1	0.3	0.4	0.4	0.2	-0.1	-0.4	-0.7	-0.9	-1.0
2018	-0.9	-0.8	-0.6	-0.4	-0.1	0.1	0.1	0.2	0.4	0.7	0.9	0.8
2019	0.8	0.8	0.8	0.7	0.6	0.5	0.3	0.1	0.1	0.3	0.5	0.5

*Dados mensais em azuis representam ocorrência de *La Niña* e, em vermelho, de *El Niño*. Fonte: CPC (2020)

Quadro 10– Histórico de Episódios de *El Niño* e *La Niña* (Oceanic Niño Index) entre os anos de 1974 a 2019.

No que tange às distribuições das precipitações mensais, no gráfico 8, verifica-se que os quatro meses do ano são os mais chuvosos, sendo que março e abril compreendem as maiores

médias dos totais pluviométricos da série. Esse comportamento está condicionado inicialmente pelas atuações do VCAN (em janeiro) e seguida pela ZCIT, que é responsável pelos maiores eventos de chuvas em março e abril. Em meados de maio, percebe-se que o enfraquecimento da ZCIT e sua migração para o norte implica diretamente na redução gradual da pluviosidade da área.

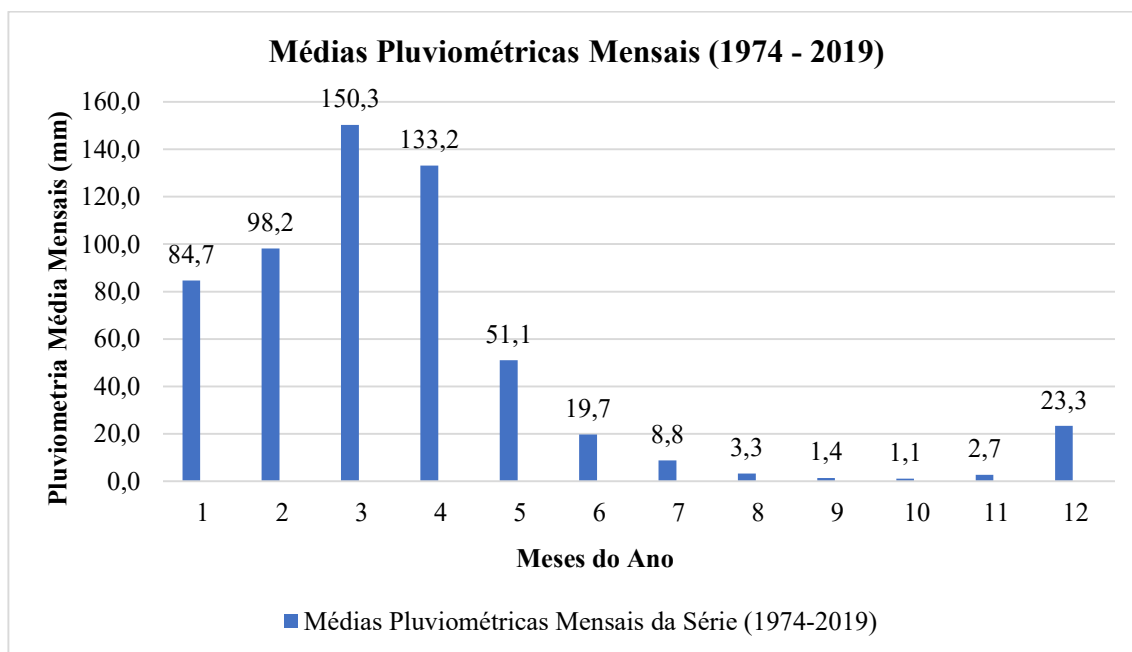


Gráfico 8 – Médias Pluviométricas Mensais entre 1974 a 2019 do posto pluviométrico de Independência-CE/Brasil.

A partir de junho, os totais pluviométricos caem expressivamente denotando três características na área: os eventos pluviométricos serão causados episodicamente por Ondas de Leste, mas com intensidades reduzidas, e a ausência de sistemas causadores de chuvas associados com as ações da Massa Equatorial Atlântica determinam a estação seca a partir de julho até novembro, no qual há expressões dos VCAN e inicia-se a pré-estação chuvosa em Independência-CE.

9.6 Identificação das áreas de riscos e eventos pluviométricos extremos na zona urbana de Independência – CE

9.6.1 Identificações das áreas de riscos de Independência-CE

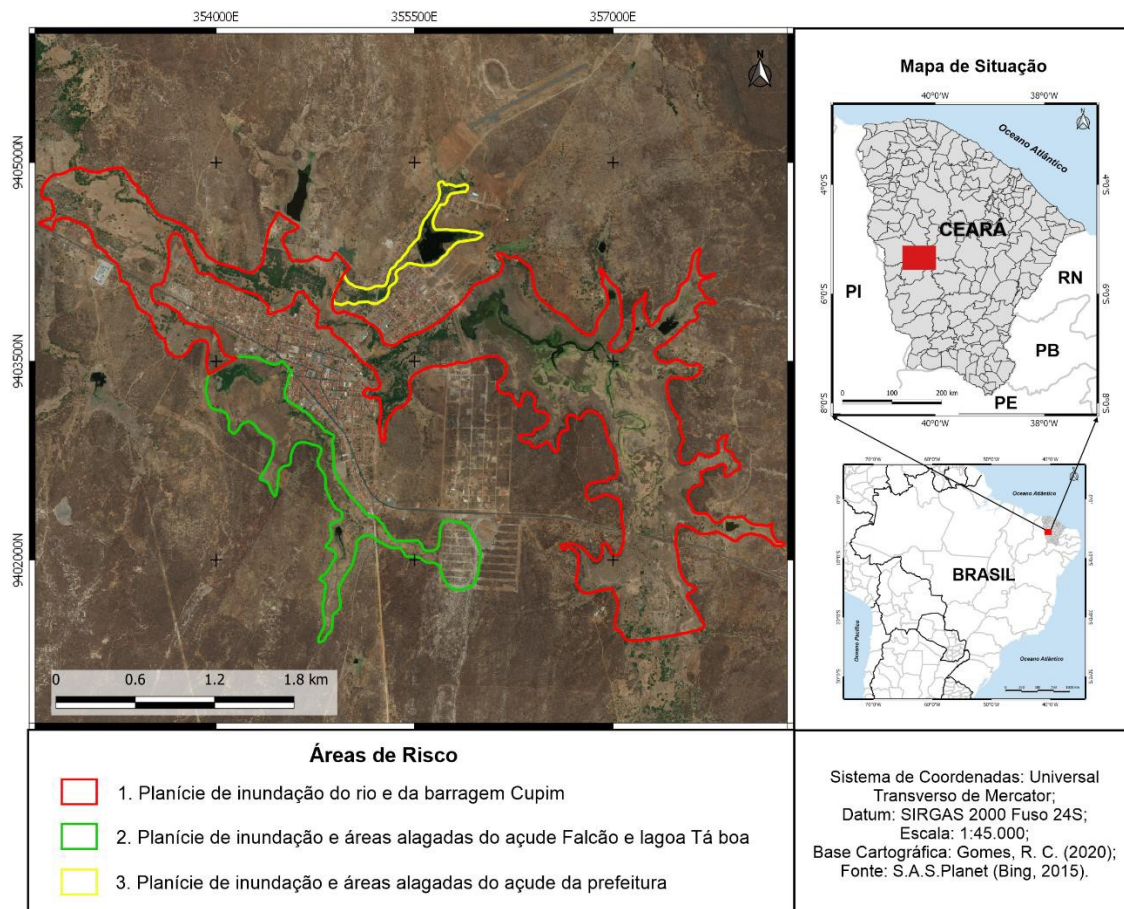
O mapa 16 demonstra a espacialização da malha urbana de Independência-CE, como também os principais sistemas fluviais e açudes construídos para o abastecimento humano e contenção de inundações. As manchas marrons acinzentadas sugerem os espaços desmatados e voltados para a expansão da zona urbana, principalmente nas extremidades dos eixos sudeste e nordeste. O mapa 16 também indica que o tecido urbano está em meio ao semiárido cearense,

sua edificação ocorreu nos topos das colinas dos pediplanos por estar entre o rio Cupim e seu tributário, o riacho da Traviata.

Foram delimitadas três áreas de riscos que compreendem a planície fluvial do rio Cupim e seus tributários, assim como as represas dos açudes da Prefeitura, Falcão e a barragem Cupim (Mapa 16). Essas compreendem os fundos de vales e são as áreas com acentuadas vulnerabilidades mediante eventos pluviométricos extremos por suas condições topográficas relativamente planas, com baixo gradiente de declividade e porque os canais são sinuosos nesses locais, diminuindo a velocidade do escoamento e criando áreas de *by pass* nas suas curvas dos canais, portanto inundando vastas áreas que chegam a 300 metros do canal em linha reta.

A área de risco que compreende o sistema fluvial do rio principal (Cupim) é a mais extensa e preocupante por ser palco de diversas ocupações irregulares (Figura 19) sem respeitar as determinações do Novo Código Floresta (BRASIL, 2012) ou mesmo as orientações preconizadas na lei dos desastres naturais (BRASIL, 2012a). Portanto, estando sujeitas a penalidade jurídicas, desapropriações como também aos impactos negativos de um ou vários desastres naturais cuja ações podem ocorrer em qualquer ano, sobretudo nos chuvosos pelo maior volume de água precipitada e pela possibilidade arrombamentos descontrolados de micros e macros barramentos feitos seu planejamento sistêmico à montante da área.

Sua ocupação tem sido ampliada (Figura 19) em razão da não ocorrência de inundações que atingisse o leito maior/excepcional do rio nas últimas duas décadas, por ser uma área próxima do Centro da cidade, é um lugar de passagem das pessoas para o setor nordeste da cidade e porque o preço da terra é baixo devido à sua localização e proximidade com o rio.



Mapa 16 – Delimitações das áreas de risco na zona urbana de Independência-CE. Sua ocupação tem sido ampliada (Figura 19) em razão da não ocorrência de inundações que atingisse o leito maior/exceptional do rio nas últimas duas décadas, por ser uma área próxima do Centro da cidade, é um lugar de passagem das pessoas para o setor nordeste da cidade e porque o preço da terra é baixo devido à a sua localização e proximidade com o rio.

A área de risco à jusante do açude da Prefeitura, embora seja espacialmente pequena, também desperta atenção pela vulnerabilidade socioeconômica da população que reside aí, geralmente, as mais pobres da cidade, pela falta de saneamento básico, rede de drenagem e ocupações, inclusive do canal fluvial que foi descaracterizado em prol da construção de moradias ou esgoto a céu aberto (Figura 20).

Trata-se de uma área cuja zona crítica, onde há maior parte do canal fluvial, ainda não foi totalmente ocupada pelas moradias, mas é imperativo que o poder público tome providências no sentido de revitalizar a área e proibir novas construções ou loteamento sob o risco de desastres naturais, perdas econômicas e acentuação da poluição dos recursos hídricos.

Historicamente, os terrenos alagáveis eram usados para campos agrícolas e como pastos, mas com o sutil crescimento socioeconômico da áreas atrelado aos auxílios governamentais, a área passou por incrementos socioespaciais, bem como por uma valorização.

Com a criação de loteamentos, a área foi submetida a especulação imobiliária, apesar de ser um dos locais com preço da terra mais baixo.



Figura 19 – Imagens da área de risco da planície do rio Cupim. Imagem superior esquerda retrata o canal fluvial e sua planície desmatada; a imagem superior direita mostra construções na área e a panorâmica ilustra a parte da planície fluvial e ao fundo o eixo nordeste da cidade.

O que desperta atenção é que não há uma consciência que ali haja uma área de risco perigosa e a prefeitura construiu uma quadra nas cercanias do espaço em apreço, mas não se preocupou com o saneamento básico e o planejamento espacial, sobretudo voltado para mitigação dos riscos de inundação.

Cabe citar, que a inoperância da sociedade, torna ações políticas inócuas, sobretudo quando fere interesses privados de grupos que possuem poder econômico e político. Os resultados são refletidos nas ocupações de áreas de risco e que posteriormente, a prefeitura terá que utilizar recursos financeiros para mitigar o problema.



Figura 20 – Imagens da área de risco da planície do rio do açude da Prefeitura. Imagem panorâmica superior retrata o canal fluvial com esgoto e sua planície desmatada; a imagem inferior direita mostra o esgoto que escorre pelo canal fluvial e uma arena de futebol ao fundo e a imagem inferior esquerda mostra o aterramento da planície de inundação para construções de casas.

A área de risco do Falcão é a menos problemática, razão das edificações situarem em porções mais elevadas e somente nas bordas da planície fluvial, não há muitas construções nas áreas críticas, apenas moradias cuja água da represa tende a chegar nos quintais quando o referido atinge sua cota máxima. No entanto, acredita-se que os níveis hídricos tenderão a subir rapidamente em decorrência da destruição da lagoa Tá boa e desmatamentos à montante para fins de implantação de um loteamento e moradias que sequer possuem saneamento básico, o que aumentará o deflúvio e risco de poluição das águas do açude tratado.

9.6.2 Identificação e análises dos eventos pluviométricos extremos na zona urbana de Independência-CE

Identificadas as áreas de risco, procedeu-se a análise dos eventos extremos que ocorreram no período estudado. Desse modo, detectou-se 120 eventos durante toda a série estudada. Os únicos anos que não registraram eventos extremos (iguais e maiores a 40 mm) foram 1982, 1990, 1994, 1998, 2003, 2012 e 2013 e isso geralmente está associado aos anos secos sob influências de *El Niño* e com totais pluviométricos anuais inferiores à média histórica obtida.

Quanto aos demais anos, exibiram números diferenciados dessas manifestações, contudo os anos de 1974, 1984, 1991, 1995, 2000, 2006, 2007, 2011 foram aqueles que tiveram

maiores expressões desses eventos, respectivamente, seguem números de eventos e as variações das intensidades das chuvas: 6 (44-86mm); 5 (43-116mm); 5 (44-52mm); 5 (42-103mm); 6 (41-82mm); 7 (41-61mm); 7 (41,5-77,5mm); 6 (43,5-84mm). Destes, os anos com maiores ocorrências foram 2006 e 2007 e aqueles que expuseram maiores variações nas intensidades das chuvas foram 1984 e 1995.

Agrupou-se os números dos eventos aludidos por décadas e destacou-se as variações de intensidades dos eventos no intervalo considerado para aferir se haveria alterações significativas entre os períodos, assim a década de 1974 a 1984 teve 32 chuvas (43-116mm), 1985 a 1995 ocorreram 25 chuvas (40-103mm), 1996 a 2006 houve 31 chuvas (40,1 - 140,1mm), 2007 a 2017 teve 26 chuvas (40-114,2mm) e entre 2018 a 2019 houve 7 (42-54 mm). Tais dados não evidenciam modificações expressivas entre as décadas, não obstante, ocorreram variabilidades nas amplitudes das chuvas que no intervalo de 1996 a 2006 demonstraram os maiores valores.

Além disso, percebeu-se que esses eventos extremos ocorrem majoritariamente nos meses de janeiro, março e abril, os quais representam os meses mais chuvosos e sob influências dos Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis – ZCAN e da Zona de Convergência Intertropical – ZCIT. Os dados indicaram que o mês de abril é o que mais concentra esses eventos, indicando que a ZCIT é o sistema com potencial de causar chuvas extremas na área em apreço.

Os dados também indicam que os números dos eventos discutido estão diretamente associados aos anos chuvosos no município e no Estado, cujas manifestações climatológicas apresentam intensas atividades convectivas e conseqüentemente chuvas torrenciais de alta energia. Além disso, os eventos, como exposto, estão vinculados também a anos chuvosos sob influências da *La Niña*, a qual tem sido vastamente apontada como intensificadora dos eventos pluviométricos.

Com base nas informações postas juntamente com os relatos coletados, verificou-se a manifestação de pelo menos três episódios de inundação de toda a planície do rio Cupim que também implicaram nas demais áreas de riscos. Convém citar, que as pessoas consultadas possuem memórias nítidas dos eventos de maiores proporções na planície do rio Cupim, enquanto nas demais as informações aferidas foram esparsas e vagas.

Desta feita, o primeiro evento de inundação da planície do rio Cupim identificado ocorreu em 20 de dezembro de 1972, um ano chuvoso sob influência de *La Niña* em um momento histórico em que o município sofria com a escassez hídrica provenientes das secas de

1970 a 1971. Essa inundação ocorreu em razão do arrombamento da barragem Cupim, um ano depois de sua construção devido aos problemas técnicos em sua concepção.

Desse modo, a planície não inundou por uma ação pontual de um evento pluviométrico extremo, mas por uma falha humana. A inundação ocupou toda a planície fluvial, que segundo observadores, “era um mar de água que as pessoas atravessam com água até o pescoço”. A partir das referências do ponto máximo onde a inundação atingiu, notou-se que essa ocupou, aproximadamente, 300 metros da planície da margem esquerda (olhando da barragem para jusante), não foi fornecida uma referência do ponto máximo da margem direita.

Não houve registros de perdas de vidas ou prejuízos socioeconômicos expressivos decorrentes da inundação da planície fluvial, visto que seu interior não era ocupado por moradias, mas era empregado como áreas de captação hídrica, campos agrícolas, pasto e local onde havia estradas de acessos entre o Centro e COHAB, assim como com a zona rural. Esse fato, serve didaticamente como um alerta que fundamenta a não ocupação das áreas de riscos por serem instáveis morfodinamicamente, por isso susceptíveis à desastres naturais ou por desastres tecnológicos.

Os relatos contam que houve inundações de todas as planícies fluviais/áreas de riscos no ano de 1974, porém nenhum dos participantes soube informar a data ou mês de referência, por isso essa inundação não foi considerada para apreciação nesse trabalho. Porém, em abril de 1984, houve outros eventos de inundações das planícies fluviais, porque nesse mês choveu 513,5 mm, isto é, quase toda a média anual de 577,5mm.

Os relatos sinalizam que a maior planície fluvial foi tomada inicialmente por um “mar de água” após a chuva de 5 de abril que foi de 116 mm, mas o evento prolongou-se porque as chuvas extremas de 14, 16 e 17 de abril foram, respectivamente, de 43, 43 e 55 mm. Por isso, as pessoas questionadas diziam que a “barragem sangrava alto e inundava tudo”. Esses disseram que este evento foi mais intenso que o provocado pelo arrombamento da supracitada. Acredita-se que o primeiro evento gerou uma enxurrada e a água corrente não permaneceu por muitos dias na planície em razão de ausências de chuvas durante o episódio, o que não foi o caso das inundações de abril de 1984, no qual a água inundou um raio de 300 metros da margem esquerda e 80 metros margem da direita da planície.

Quanto a área de inundação do rio do açude da prefeitura, os relatos sugerem que toda a planície foi inundada e que a água chegava no joelho das pessoas, cerca de 40 cm, nas bordas da referida. O impacto nesse espaço foi pequeno por não haver moradias, tendo em face sua

utilização para a agricultura e pecuária. Enquanto isso, a área de Falcão também sofreu com esse processo, que bloqueou a estrada para o Iapi, porém não causou estragos nas edificações porque essas estavam em uma distância segura dos impactos desse evento.

Com base nos antecedentes, acredita-se que esses eventos extremos foram causados pela ZCIT fortalecida pela *La Niña*, porque o mês de abril é o de maior atuação daquele sistema atmosféricos, sendo que os VCAN não costumam atuar nesse mês e quando isso esporadicamente ocorre, esses são enfraquecidos ou anulados pelas ações da ZCIT.

Os informantes também afirmaram que houve outras inundações em 1987, mas acredita-se que na realidade isso ocorreu em 1985, quando choveu 1137,8mm e houve quatro eventos extremos entre janeiro e fevereiro, sendo que os ocorrentes nos dias 18 e 24 de janeiro chegaram a 87 e 65mm, representando um caso típico de precipitações oriundas do sistema VCAN e que possibilitou inundar as planícies fluviais porque o ano anterior foi chuvoso e os reservatórios já estavam significativamente cheios. Após, esses eventos as narrativas somente versam sob eventos de menores expressões espaciais e na zona rural.

Em 31 de março de 2014, houve um evento extremo que causou a inundação da planície do rio do açude da Prefeitura. A água chegou a 40 cm de altura e bloqueou a avenida Pelo Sinal por alguns dias e amedrontou moradores que expandiram suas propriedades sobre as áreas de risco. Depois desse evento, não houve mais incidentes por causa dos anos estios, os açudes inibem parte das inundações, houve reduções dos eventos pluviométricos de grandes magnitudes, criaram muitos microbarramentos à montante da bacia hidrográfica do rio Cupim que controlaram o fluxo de água para jusante.

9.7 Considerações finais

A Cidade de Independência foi edificada no topo das colinas dos pediplanos em razão de serem lugares estratégicos para a visualização do território, proteção das edificações em face das inundações periódicas dos rios, preservação das planícies fluviais por serem adequados ao desenvolvimento das atividades econômicas da época e para captação de água em cacimbas para o abastecimento humano da cidade.

Verificou-se que não há registros de trabalhos que tratem da identificação e delimitações de áreas de riscos na cidade, o que implica na ausência de políticas públicas voltadas para o controle das ocupações dessas áreas, o que agrava o problema socioambiental na Sede municipal.

Foram identificadas três áreas de riscos sobrepostas às planícies fluviais, visto que no município e em Independência, a exemplo de outras cidades nordestinas. os desastres naturais estão atrelados basicamente aos eventos hidrometeorológicos, sendo as inundações por eventos pluviométricos extremos e as secas os principais desastres naturais que atingem esse território.

Notou-se que as sucessivas ocorrências de anos estios e normais, implicaram no esquecimento popular de que as áreas de riscos apontadas são perigosas e sujeitas às inundações, pondo-se em riscos, comprometendo as vidas humanas e os seus patrimônios.

Foram detectadas ocorrências de quatro eventos, cujas planícies foram inundadas completamente, porém somente duas delas, foram examinadas com detalhes por falta de informações precisas. Essa questão corrobora com a necessidade de estudos mais profundos relacionados com essa temática, no âmbito local, na construção de um banco de dados para subsidiar nas decisões de políticas públicas voltadas para proteção das áreas de risco e da população.

Os eventos extremos de abril de 1984 foram os mais intensos detectados, no que tange as suas repercussões quanto às inundações das planícies, demonstrando que a ZCIT associada à eventos de *La nina* devem servir como alerta para eventuais ocorrências de eventos extremos. É possível terem ocorrido outras inundações importantes, porém os habitantes consultados não souberam informar sobre elas e nem há registros em documentos oficiais.

Atualmente, verifica-se uma expansão das construções nas áreas de risco, próximas ao Centro da Cidade, em que os proprietários desconhecem o fato de ocuparem as áreas de riscos, comprometendo as suas vidas e seus patrimônios. Além disso, não há evidências de que os órgãos ambientais competentes estão atuando para coibir as ocupações irregulares ou mesmo de evitar o lançamento de esgotos no rio.

As criações de micro barramentos à montante, ao mesmo tempo que, auxilia no controle de água para à jusante, cria uma situação perigosa, porque não foram projetados e são frágeis diante de eventos pluviométricos. Desse modo, chuvas excepcionais podem causar arrombamentos generalizados desses corpos hídricos, resultando no aporte repentino de grande quantidade de água na barragem Cupim, o que pode arrombá-la repentinamente e as áreas de riscos fiquem severamente afetadas, conforme ocorrido em 20 de dezembro de 1972.

10 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Atestou-se que os conceitos de BH, Sub-bacia e microbacia hidrográficas passaram por adaptações ao longo do tempo, para ser ajustados aos interesses e às escalas dos diversos trabalhos técnico-científicos que os criaram e aplicaram. Em razão disso, tais trabalhos apresentam diversas definições que podem criar confusões caso não sejam esclarecidas.

O sistema hierárquico de BH, formado por três categorias (BH, sub-bacia e microbacia), é permeado por problemas relacionados à imprecisão de seus conceitos, por fragmentar um sistema fluvial complexo somente em três segmentos cujas escalas são divergentes.

Há ausências de explicações do que os pesquisadores entendem ser uma microbacia e quais suas métricas, por isso a sua delimitação está relacionada a sua função ambiental, à subjetividade dos pesquisadores e à natureza do objeto tratado. Não há consenso sobre os parâmetros para definir o que é uma BH, sub-bacia ou microbacia.

Detectou-se que BH do rio Santa Cruz está majoritariamente situada no território de Independência-CE, concentrando um percentual de 93,75% da sua rede de drenagem e que orientada de leste a oeste devido à tectônica ruptural (falhas, fraturas e cisalhamentos) que geraram o vale do rio Poti.

A complexidade paisagística da área deve-se parcialmente às ocorrências de vários processos geológicos vinculados a agradação, erosão, dobramentos, distensão, tensão, cisalhamentos, intrusão de magma e outros ao longo de sua formação que remonta ao Pré-Cambriano que criaram a distribuição dos litotipos na BH, evoluindo-se até o Holoceno.

Há uma significativa diversidade paisagística na BH em decorrência das inúmeras inter-relações entre os elementos naturais. A análise das classes e tipos de uso da terra de 1985 e 2019 indicaram os aumentos dos desmatamentos para obtenção de recursos naturais e utilização de seus espaços para agricultura e pastagem que tende a ocupar quase todas a BH. Ademais, as pastagens foram expandidas devido à degradação das áreas agricultáveis associadas com as limitações da produção de sequeiro relacionadas às secas e falta de estímulos para o setor.

Quanto à análise morfométrica da BH, a delimitação automática é um procedimento que precisa ser aprimorado, como a resolução espacial e correções de ruídos das imagens, para

detectar rios com maior acuidade, especialmente os riachos de primeira ordem e menores que 100 metros, que podem ser mascarados pela vegetação ou pela sua diminuta expressão espacial.

Em decorrência do aplainamento dos pediplanos desta BH, a delimitação automática tende a representar os rios com vetores retilíneos e/ou arrestados onde há curvas. Esta característica demanda atenção porque subsidia interpretações errôneas sobre as morfologias dos canais fluviais e, conseqüentemente, do padrão de drenagem da BH. Além do mais, indicam inflexões bruscas (ângulos iguais ou próximos a 90°) sem que esses existam na realidade.

Os indicadores morfométricos utilizados subsidiam a inferência de que a BH em apreço não detém um potencial para causar alagamentos, contudo em razão da sua condição relativamente plana os rios podem gerar inundações, especialmente, no médio curso da BH, onde há condições de declividades, altimétricas e maior vazão fluvial para propiciar esses fenômenos.

Os elementos paisagísticos atuam diretamente nas morfologias da rede fluvial, porém a litoestrutura e morfoestruturas são os fatores que mais influenciam na configuração dos padrões de drenagens em razão do condicionamento estrutural. O caimento topográfico da BH influi sobretudo nas direções N-S das drenagens de primeira e segunda ordens, enquanto os lineamentos brasileiros agem nas orientações NE-SO, NO-SE.

No tocante aos estudos do condicionamento da drenagem e das origens das anomalias de drenagens, verificou-se que há áreas com superimposição da drenagem quanto com controle estrutural/morfoestrutural que implicam nas suas morfologias de modo que há a manifestação de padrões de drenagem distintos, como o paralelo, treliça e dendrítico e anomalias de drenagens, evidenciando o controle estrutural da paisagem.

Identificou-se que há quase três vezes mais lineamentos rúpteis do que dúcteis devido à suscetibilidade do primeiro a ser deformada por eventos tectônicos e pela acomodação crustal.

As direções dos rios, a maioria dos canais de 1° e 2° ordens estão direcionados de N-S, seguidos por aqueles NE-SO, NO-SE e L. Evidenciando o controle estrutural da drenagem, visto que estão concernentes com as direções dos lineamentos citados. Quando se observa os *trends* preferenciais dos rios de 3° a 6°, nota-se a dominância da orientação L-O, depois NNE-SO, N-S e NO-SE, também por serem influenciados pelas estruturas Neoproterozóicas e pela falha do rio Poti.

Os indicadores morfométricos não indicaram existência de anomalias vinculadas à eventos neotectônicos na BH, mas sim resultantes dos lineamentos pré-cambrianos que ainda persistem na paisagem.

Com relação às planícies fluviais, apresentam localizações e níveis de desenvolvimento distintos em razão dos contextos em que foram criadas e modeladas. Desse modo, os fatores ambientais modulam os processos genéticos que criam as planícies e implicando nas suas morfologias.

Os principais processos genéticos das planícies de inundações são a acresção horizontal, vertical e a combinação das ações de ambas que se manifestam por meio de diversas ações erosivas e agradacionais que criam e desenvolvem as planícies.

As planícies do médio e baixo curso fluvial as mais desenvolvidas devido às contribuições dos tributários, do controle estrutural que criam uma maior dissecação e rebaixamento do relevo. Além disso, as principais morfologias identificadas foram bacias de inundações, paleocanais e *bypass*. As ocorrências de diques marginais foram pontuais possivelmente por conta da descaracterização que a área sofreu ao longo dos anos em virtude das ações antrópicas.

As planícies são essencialmente formadas por sedimentos arenosos siliciclato que permitem a sua boa permeabilidade, coloração clara, elevada resistência à erosão pluvial e ser um aquífero importante no semiárido cearense. Ademais, verificou-se que as planícies tratadas são relativamente jovens e foram formadas a partir de 4.600 a.p, durante o Holoceno e quando o clima tropical quente semiárido já estava consolidado no Nordeste do Brasil.

Com base na análise da legislação ambiental conservacionista das APPs, percebeu-se que as leis foram criadas para atenderem interesses sociais específicos e são orientadas pelo antropocentrismo, logo os espaços protegidos possuem um cunho utilitarista para a sociedade e o valor intrínseco dos sistemas ambientais assume um papel secundário, embora seja usado como argumento para a preservação desses espaços.

A Lei nº 7.803 de 18 de julho de 1989 foi relevante para proteção das APPs ripárias pela indicação do referencial a partir do leito maior, logo toda a planície estaria protegida e parte da encosta adjacente. Porém, isso repercutiu negativamente na sociedade e seu referencial foi alterado.

As planícies do rio Santa Cruz e suas APPs são ocupadas e degradadas devido à agropecuária e extração de minerais ilegal. Isso ocorre em virtude da falta de consciência

ambiental, de práticas e tecnologias que ampliem o potencial produtivo de outras unidades de relevo, da ausência de fiscalização e das constantes flexibilizações que a legislação sofreu em prol de mitigar os conflitos ambientais e assegurar o sistema produtivo nas planícies postas.

O estudo de identificação das áreas de risco em Independência-CE apontou para a existência de três, todas representadas por planícies fluviais que bordejam ou cruzam a cidade. Em consonância com outras cidades nordestinas, os desastres naturais causados por eventos hidrometeorológicos, sendo as inundações por eventos pluviométricos extremos e as secas os principais desastres naturais que atingem esse território.

Detectou-se que expansão das construções nas áreas de risco, próximas ao Centro da Cidade, em que os proprietários desconhecem o fato de ocuparem as áreas de riscos, comprometendo as suas vidas e seus patrimônios. As criações de micro barramentos à montante da cidade, ao mesmo tempo que, auxilia no controle de água para à jusante, cria uma situação perigosa, porque não foram devidamente projetados e são frágeis diante de eventos pluviométricos.

REFERÊNCIAS

AMARO, V.E. **Análise conjunta de dados geológicos, geofísicos e de sensoriamento remoto do setor extremo nordeste da Província Borborema, nordeste do Brasil, com ênfase nas zonas de cisalhamento dúcteis Neoproterozóicas.** 1998. 393f. Tese (Doutorado em Geociências). Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1998.

ANA, Agência Nacional de Águas. **Região hidrográfica Atlântico Nordeste Oriental.**

Disponível em:

<http://www2.ana.gov.br/Paginas/portais/bacias/AtlanticoNordesteOriental.aspx>. Acesso em: 23 abr. 2018.

ANDRADES FILHO, C. de O.; ROSSETTI, D. de F. Intensidade da atividade tectônica na porção emersa da Bacia Paraíba e embasamento cristalino adjacente, Nordeste do Brasil. **Pesquisas em Geociências**, [s.l.], v. 42, p. 113-130, 2015.

ALLEN, J.R.L. *Sedimentary Structures. Their character and physical basis.* Amsterdam: Elsevier, 1984.

ALVES, F.E. **Duas terras: um filho.** Fortaleza: Premium, 2014. 220p.

ARAÚJO, C. E. G. de. *et al.* Extruding the Borborema Province (NE-Brazil): a two-stage Neoproterozoic collision process. **Terra Nova**, Lisboa, v.26, p. 157-168, 2014.

ARAÚJO, C.E.G. de; WEINBERG, R.F.; CORDANI, U.G. Extruding the Borborema Province (NE-Brazil): a two-stage Neoproterozoic collision process. **Terra Nova**, Lisboa, v. 26, n. 2, p.157-168, 2014. DOI: 10.1111/ter.12084

ARAÚJO, C.E.G. de. *et al.* U-PB detrital zircon provenance of metasedimentary rocks from the Ceará Central and Médio Coreaú Domains, Borborema Province, Ne-Brazil: Tectonic implications for a long-lived Neoproterozoic active continental margin. **Precambrian Research**, [s.l.], v.17, n. 206-207, p. 36-51, 2012.

ARAÚJO, J. C. de. Assoreamento em reservatório do semi-árido: modelagem e validação. **Revista Brasileiro de Recursos Hídricos**, [s.l.], v.8, n. p. 39-56, 2003.

ARTHAUD, M.H. A falha de Tauá (CE): zona de cisalhamento dúctil de alto ângulo de rejeito múltiplo. *In*: Congresso Brasileiro de Geologia, 34. Goiânia, 1986. **Anais do Congresso Brasileiro de Geologia Goiânia**, SBG. v. 2, 1986, p. 766-769.

ARTHAUD, M.H.; HARTMANN, M.B. A geologia da região de Independência (CE): um exemplo de tectônica de nappes no Ceará. *In*: Congresso Brasileiro de Geologia, 34. Goiânia, 1986. **Anais do Congresso Brasileiro de Geologia: Goiânia**, SBG. v.3, 1986, p. 1160-1169.

ATTANASIO, C. M. **Planos de manejo integrado de microbacias hidrográficas com uso agrícola: uma abordagem hidrológica na busca da sustentabilidade.** 2004.192f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 2004.

BAHAMONDES, R.; GAETE, N. Manejo de cuencas hidrográficas. **Serie Actas**: Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Temuco-Chile: P. Impreta, 2004. p. 1-14.

BARBOSA, T.S.; FURRIER, M. Aplicação de Índices Morfométricos para Análise Geomorfológica e Neotectônica da Bacia do Rio Marés-PB, Brasil. **Geografia** (Londrina), v. 26, p. 23-38, 2017.

BATISTA, C.T.; VERISSIMO, C. U. V. Vulnerabilidade Geoambiental da Região Metropolitana de Fortaleza - Análise comparativa de dois métodos com enfoque a processos erosivos. **Geociências** (São Paulo. Online), v. 31, p. 47-56, 2012.

BERTONI, J.; NETO LOMBARDI, F. **Conservação do Solo**. 6.ed. São Paulo: Ícone, 2008. 354p.

BEHLING, H. *et al.* Late Quaternary vegetational and climate dynamics in northeastern Brazil, inferences from marine core GeoB 3104-1. **Quaternary Science Reviews**, [s.l.], v. 19, n. 10, p. 981-994, 2000.

BERTALANFFY, L. V. **Teoria Geral dos Sistemas**. 3. ed. Petrópolis- RJ: Vozes, 1977. 351p.

BERTRAND, G. Paisagem e Geografia Física Global: esboço metodológico. *In: Caderno de Ciências da Terra*, v.13, São Paulo, IGEOG, USP, 1979.

BRIERLEY, G. J.; K. A. FRYIRS. **Geomorphology and river management**: applications of the river styles framework. Oxford: Blackwell, 2005.

BOTELHO, R. G. M. Planejamento ambiental em microbacia hidrográfica. *In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. da; BOTELHO, R. G. M. (Org.). Erosão e Conservação dos Solos - conceitos, temas e aplicações*. 4 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2009. p. 269-300.

BOTELHO, R. G. M.; SILVA, A. S. da. Bacia hidrográfica e qualidade ambiental. *In: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. (Org.). Reflexões sobre a geografia física no Brasil*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. p.153-192.

BRASIL. Presidência da República. **Decreto n.º 4.421, de 28 de dezembro de 1921**. Aprova a criação do Serviço Florestal Brasileiro. Rio de Janeiro: Diário Oficial da União - Seção 1 - 12/1/1922, p. 737.

BRASIL. Presidência da República. **Decreto n.º 23.793, de 23 de janeiro de 1934**. Aprova o Código Florestal que com este baixa. Rio de Janeiro: DOU de 21/3/1935.

BRASIL. Presidência da República. **Lei n.º 4.771, de 15 de setembro de 1965**. Instituto o Novo Código Florestal Brasileiro. Brasília: DOU de 28/09/1965.

BRASIL. SUDENE/EMBRAPA. **Levantamento exploratório de reconhecimento de solos do Estado do Ceará**. Recife: Bol. Téc. N.º 28, Série Pedologia, 1973.

BRASIL. Presidência da República. **Lei nº 7.511, de 7 de julho de 1986**. Altera dispositivos da Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, que institui o novo Código Florestal. Brasília: DOU de 08/07/1986.

BRASIL. Presidência da República. **Lei nº 7.803, de 18 de julho de 1989**. Altera a redação da Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, e revoga as Leis nº. 6.535, de 15 de junho de 1978, e 7.511, de 7 de julho de 1986. Brasília: DOU de 20/07/1989.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil, de 5 de outubro de 1988**. 11. ed. São Paulo: Atlas, 1998.

BRASIL. **Lei Nº 9.433, de 8 de jan. de 1997**. Dispõe sobre a instituição da Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 8 de jan. 1997. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/19433.htm. Acesso em: 14 abr. 2018.

BRASIL. Presidência da República. **Lei 9.985, de 18 de julho de 2000**. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Diário Oficial da União. Brasília, 18 de julho de 2000a. Brasília: DOU de 19.7.2000.

BRASIL. Presidência da República. **Decreto nº 6.514, 22 de julho de 2008**. Dispõe sobre as infrações e sanções administrativas ao meio ambiente, estabelece o processo administrativo federal para apuração destas infrações, e dá outras providências. Brasília: DOU de 23/07/2008.

BRASIL. Presidência da República. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Diário Oficial da União. Brasília, 25 de maio de 2012. Brasília: DOU de 28.5.2012.

BRASIL. **Cadastro do Bolsa Família de Independência-CE**. Disponível em: <https://aplicacoes.mds.gov.br/sagirmps/bolsafamilia/relatorio-completo.html>. Acesso em: 20 de dez. 2020.

BRICALLI, L.L. Procedimentos Metodológicos e Técnicas em Geomorfologia Tectônica. **Espaço Aberto**, Rio de Janeiro, v. 6, p.75-110, 2016.

BRITO, D.S. SILVA, J.M.O. Estudo dos impactos pluviométricos e os eventos extremos no município do Crato-Ceará. **Revista GeoNorte**, Manaus, v. único, p.964-976, 2012.

BULL, W.B.; MCFADDEN, L.D. Tectonic geomorphology north and south of the Garlock fault, California. In: VIII Geomorphology Symposium-Geomorphology in Arid Regions, 8., 1977, Binghamton. **Anais...** Binghamton: Doehring, D.O., 1977. p. 115-138.

CAPUTO, M.V.; IANNUZZI, R.; FONSECA, V.M.M. Bacia do Parnaíba. **Phoenix**, Aracaju, v. 7, p. 01-06, 2005.

CARVALHO, D.F.; SILVA, L.D.B. **Bacia Hidrográfica**. Disponível em: <http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/HIDRO-Cap3-BH.pdf>. Acesso em: 18 de maio de 2020.

CEARÁ. Instituto de Planejamento do Ceará-IPLANCE. **Atlas do Ceará**. Fortaleza: IPLANCE, 1997. 56p.

CEARÁ. Instituto de Pesquisas e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE). **Perfil Básico Municipal de Independência - CE**. Fortaleza: IPECE, 2017.

CEARÁ. Secretaria de Segurança Pública e Defesa Social. **Acompanhamento Sismográfico**. Disponível em: http://www.defesacivil.ce.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=301&Itemid=196. Acesso em 12 de jul. de 2020.

CHORLEY, R.J. Geomorphology and general systems theory. **Geological survey professional paper 500 b**. Washington: United States Government Printing Office, 1962, 11p.

CHRISTOFOLETTI, A. **Análise de Sistemas em Geografia**. São Paulo: HUCITEC: Ed. da Universidade de São Paulo, 1979. 106p.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2.ed. São Paulo: Edgar Blucher, 1980.p. 65- 121.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia fluvial**. São Paulo: Edgard Blucher, 1981. 313p.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Editora Blucher, 1999. 236p.

CLAUDINO SALES, V.; PEULVAST, J.P. Evolução morfoestrutural do relevo da margem continental do Estado do Ceara, Nordeste do Brasil. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, vol. 8, n. 20, p. 1-21, 2007.

CLIMATE PREDICTION CENTER (CPC). **Historical El Niño and La Niña**. Disponível em: https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php. Acesso em: 9 de ago. 2020.

CRUZ, M.L.B. da. **Uso da terra e relações de dependência com o ambiente nas planícies fluviais da sub-bacia do rio Cangati-CE**. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 2010. 199 p.

COSTA, L.R.F.; SANTOS, J.O.; OLIVEIRA, V.P.V. de. Abordagem Geoambiental na Análise da Degradação Ambiental na Bacia Hidrográfica do Rio Banabuiú-CE. **Revista Geoamazônia**, Manaus, v. 4, p. 27-45, 2016.

CORREA, A.C.B.; FONSÊCA, D.N.F. Lineamentos de drenagem e de relevo como subsídio para a caracterização morfoestrutural e reativações neotectônicas da área da bacia do rio Preto, serra do Espinhaço Meridional – MG. **Revista de Geografia**, Recife, v. 27, p. 72-86, 2010.

COUTO, E.V.; FORTES, E.; FERREIRA, J.H.D. Índices geomorfológicos aplicados a análise morfoestrutural da zona de falha do rio Alonzo - PR. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 14, p. 287-297, 2013.

CUNHA, S.B. da. Geomorfologia fluvial. In: CUNHA, S.B. da; GUERRA, A.J.T. (Org.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 7. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007. p. 211-252.

CUNHA, T.B. *et al.* (2012) Mapeamento e tipologia dos conflitos pela gestão e controle das águas no Estado da Paraíba. **Boletim de Geografia**, Maringá, v. 30, p. 31-43.

ECHEVARRÍA, L.H.; MONTOYA, R.O. Disponibilidade del recurso hídrico en la microcuenca del río Bermúdez, Región Central de Costa Rica. **Observatorio Medioambiental**, Costa Rica, v. 18, p. 165-181, 2015.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. In: **REUNIÃO TÉCNICA DE LEVANTAMENTO DE SOLOS**, 10, 1979, Rio de Janeiro. Súmula...Rio de Janeiro, 1979. 83p.

ERKENS, G. **Sediment dynamics in the Rhine catchment: quantification of fluvial response to climate change and human impact**. Utrecht University, 2009.

ETCHEBEHERE, M.L.; SAAD, A.R.; FULFARO, V.J.; PERINOTTO, J.A.J. Aplicação do índice “Relação Declividade ExtensãoRDE” na Bacia do Rio do Peixe (SP) para detecção de deformações neotectônicas. **Geologia USP: Série Científica**, São Paulo, v.4, n.2, p. 43-56, 2000.

FAO. Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura. Nota técnica N° 1 – **La microcuenca como ámbito de planificación de los recursos naturales**. Disponível em: <file:///C:/Users/raulc/Desktop/BH/Microcuenca%20FAO.pdf>. Acesso em: 28 de mar. de 2018.

FAUSTINO, J. **Planificación y gestión de manejo de cuencas**. Turrialba: CATIE, 1996. 90p.

FAUSTO, B. **História concisa do Brasil**. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2006. 318p.

FERREIRA, A.B. de H. **Dicionário Aurélio de Língua Portuguesa**. 5. ed. Curitiba: Ed. Positivo, 2014. 2272p

FERREIRA, A.G.; MELLO, N.G. da 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**. Rio de Janeiro. v. 1, n. 1, 2005. p. 15-28.

FERREIRA, G. Origem do nome do município de Independência. PORRONCA. Disponível em: <https://porronca.com.br/origem-do-nome-do-municipio-de-independencia/>. Acesso em: 22 de julho de 2020.

FIRMINO I.G. Avaliação de modelos cartográficos de índices morfométricos voltados à análise neotectônica. **Brazilian Geographical Journal: geosciences and humanities research medium**, v. 6, p. 168-182, 2015.

FRYIRS, K.A.; BRIERLEY, G.J. **Geomorphic analysis of river systems an approach to reading the landscape**. Wiley-Blackwell: Hoboken, 2013.

FORGIARINI, L.L. & BRAGA, I.F. **Carta geológica da folha Independência, SB.24-V-D-I**. Fortaleza: CPRM, 2011. Escala 1:100.000.

FUNCEME. FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS. **Índice de Aridez do Ceará**. 2020. Disponível em: <http://www.funceme.br/index.php/areas/17-mapastem%3%A1ticos/542-%3%ADndice-de-aridez-para-o-cear%3%A1>. Acesso em: 23 jul. de 2020.

GÁLVEZ, J. J. O. **Cartilha Técnica: águas subterrâneas – aquíferos**. Lima- Perú: Sociedad Geográfica de Lima, 2011. 43p.

GANGBAZO, G. **Gestion intégrée de l'eau par bassin versant: concepts et application**. Quebec- Canadá: Environnement Quebec, 2004. 46p.

GASPARI, F.J. *et al.* **Elementos metodológicos para el manejo de cuencas hidrográficas**. La Plata: Universidad Nacional de la Plata, 2013, 188p.

GÓES, A.M.O., SOUZA, J.M.P., TEIXEIRA, L.B. “Estágio Exploratório e Perspectivas Petrolíferas da Bacia do Parnaíba”, **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v.4, n.1, pp. 55-64, jan/mar.1990.

GÓES, A.M.O; FEIJÓ, F.J. **Bacia do Parnaíba**. B. Geoci. Petrobras, Rio de Janeiro: v.8, n.1, p.57-67, 1994.

GOMES, R.C. Análise geoambiental da degradação do sistema e subsistemas da microbacia hidrográfica do riacho Carrapateiras-Tauá/CE. Fortaleza: UFC, 2015. 296p.

GOMES, R.C.; OLIVEIRA, V.P.V. A Erosão Hídrica nos Solos do Município de Independência - CE. *In*: SEABRA, G.; MENDONÇA, I. (Orgs.). **Educação ambiental: Responsabilidade para a Conservação da Sociobiodiversidade**. 1. ed. João Pessoa - PB: Editora Universitária da UFPB, v. 3, p. 970-978, 2011.

GOMES, D.D.M. *et al.* Geotecnologias Aplicadas ao Diagnóstico Geoambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Jaibaras no Semiárido Cearense. RBC. **Revista Brasileira de Cartografia**, Uberlândia, v. 65, p. 35-52, 2013.

GOMES, R.C.; PAIVA, L.G.G.; OLIVEIRA, V.P.V. Elementos naturais que fundamentam a

conservação das serras semiáridas do centro-oeste cearense. **Revista de Geografia**, Recife, v. 34, p. 118-136, 2017.

GOMES, R.C.; ZANELLA, M.E.; OLIVEIRA, V.P.V. Análise das Características Climáticas do Município de Tauá-CE/Brasil. **Boletim de Geografia**, Maringá, v. 35, p. 83-98, 2017.

GOMES, R.C.; BIANCHI, C.; OLIVEIRA, V.P.V. Análise da Multidimensionalidade dos Conceitos de Bacia Hidrográfica. **Geographia**, Niterói, v. 25, p. 1-17, 2021.

GUATEMALA, Comisión Nacional de Microcuencas (Proyecto Tacaná). **Guia para la Elaboración de Planes de Manejo de Microcuencas**. San Marcos- Guatemala: Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, Oficina Regional para Mesoamérica, 2009. 66p.

GUERRA, A.T.; GUERRA, A.J.T. **Dicionário geológico-geomorfológico**. 6.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2008. 652p.

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

MEIRA, F.C. *et al.* Compartimentação e Evolução Geomorfológica da Planície do Rio Cuiabá, Pantanal Mato-Grossense. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 20, p. 159-183, 2019.

HACK, J.T. Streamprofile analysis and streamgradient index. **U.S. Geol. Survey, Jour. Research**, [s.l.], v. 4, n. 1. p. 421-429, 1973.

HOLLANDA, M. P. *et al.* Avaliação do TOPMODEL na estimativa do escoamento superficial em microbacia hidrográfica em diferentes usos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n.5, p. 489-496, 2015.

HORTON, R.E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geological Society of America Bulletin**. [s.l.], v. 56, n. 3, p. 275-370, 1945.

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

MEIRA, F.C. *et al.* Compartimentação e Evolução Geomorfológica da Planície do Rio Cuiabá, Pantanal Mato-Grossense. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 20, p. 159-183, 2019.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Enciclopédia dos Municípios Brasileiros**. v. XVI, Rio de Janeiro, IBGE. p. 269-274, 1959.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Município de Independência-CE**. Disponível em:< <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/independencia/panorama>>. Acessado em 29 de julho de 2020.

IORIS, A.A.R. Passado e presente da política de gestão dos recursos hídricos no Brasil. **Finisterra**, Lisboa, v.41, n. 82, 2006. p. 87-99.

KARMANN, I. Água: ciclo e ação geológica. *In*: TEIXEIRA, W. *et al.* **Decifrando a Terra**. 2. ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2009. p. 186-209.

KELLER, E.A.; PINTER, N. Active tectonics: Earthquakes, uplift and landscape: Upper Saddle River. NJ: **Prentice Hall**, 2002. 362 p.

LANA, C.E.; ALVES, J.M.P.; CASTRO, P.T.A. Análise morfométrica da bacia do rio do Tanque, MG - Brasil. **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 54, n.2, p. 121-126, 2001.

LIMA, A.G. A bacia hidrográfica como recorte de estudos em Geografia Humana. **Geografia**, Londrina, v. 14, p. 173-183, 2005.

LIMA, A.P.; Amorim, M.C.C.T. Análise de episódios de alagamentos e inundações urbanas na cidade de São Carlos a partir de notícias de jornal. **Revista Brasileira de Climatologia**, [s.l.], v. 15, p. 182-204, 2014.

OLIMPIO, J.L.S.; COSTA, M.C.L.; ZANELLA, M.E. Desastres naturais associados à dinâmica climática e à formação do território cearense. **Ateliê Geográfico (UFG)**, Goiânia, v. 9, p. 176-202, 2015.

LOWE, D.R. Water escape structures in coarse-grained sediments. **Sedimentology**, [s.l.], n. 22, n.2, p. 157-204, 1975.

MAIA, R.P. Origem e evolução natural do Baixo Jaguaribe – Ceará. *In*: SILVA, J.B. da; DANTAS, E.W.C.; ZANELLA, M.E.; MEIRELES, A. J. de A.(org.) **Litoral e sertão: natureza e sociedade no Nordeste brasileiro**. Fortaleza: Expressão Gráfica, 2006. 251- 266p.

MAIA, R.P.B. Neotectônica, Geomorfologia e Sistemas Fluviais: Uma análise preliminar do contexto Nordestino. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 12.3, p. 32-42, 2011.

MAIA, R.P.; BEZERRA F.H.R. Condicionamento estrutural do relevo no nordeste setentrional Brasileiro. **Revista Mercator**, Fortaleza, v. 13, n. 1, p. 127-141, 2014.

MAIA, R.P.; BEZERRA, F.H.R. Structural control of the relief in Northeastern Brazil. **Mercator**, Fortaleza, v. 13, p. 127-141, 2014.

MAIA, R.P.; BEZERRA, F.H.R. Neotectônica, Geomorfologia e Sistemas Fluviais: Uma análise preliminar do contexto Nordestino. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 12, n.3, p. 32-4-42, 2011.

MANSIKKANIEMI, H. The sinuosity of rivers in northern Finland. **Publicationes Instituti Geographici Universitatis Turkuensis**, [s.l.], n. 52, p.16-32, 1970.

MARQUES NETO, R.; PEREZ FILHO, A. Análise morfoestrutural e morfotectônica na bacia do Rio Capivari, sul de Minas Gerais: a neotectônica e as superfícies geomorfológicas. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 14, p. 271-277, 2013.

MARTINS, R.H. **Hidroterritórios: os territórios da água no Córrego Sossego – Itarana/ ES.** 2013. 80f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Centro de Ciências Humanas e Naturais, Universidade Federal do Espírito Santo, 2013.

MELO, E.T. A microbacia hidrográfica como unidade de planejamento ambiental: uma proposta para o semi-árido do Brasil. *In*: SAMPAIO, L. F.; SOUSA NETO, M. F. de; LIMA, A. E. F. *et al.* (org.). **Diálogos sobre sociedade, natureza e desenvolvimento.** Fortaleza: Edições UFC, 2009. p. 133-144.

MOLLE, F. River-basin planning and management: the social life of a concept. **Geoforum**, [s.l.], v. 40, p. 484-494, 2009.

MONTEIRO, C.A.F. **Teoria de clima urbano.** São Paulo, IGEO- USP, 1976.

MONTEIRO, J. B. ; ZANELLA, M. E. . Desnaturalizando o desastre: as diferentes concepções teóricas que envolvem o conceito de desastre natural. **Revista da Casa da Geografia de Sobral (RCGS)**, Sobral, v. 21, p. 40-54, 2019.

MONTEIRO, J.B.; ZANELLA, M. E. Eventos extremos no estado do Ceará, Brasil: uma análise estatística de episódios pluviométricos no mês de março de 2019. **Geotextos**, [s.l.], v. 15, p. 149-173, 2019a.

MOTTA, L. N. **Histórias de Independência: minha terra e minha gente.** Fortaleza-CE. 57p. 1987.

MOSCA, A. A. de O. **Caracterização hidrológica de duas microbacias visando a identificação de indicadores hidrológicos para o monitoramento ambiental do manejo de florestas plantadas.** 2003. 88f. Dissertação (Mestrado em recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 2003.

MÜLLER, V. C. **A quantitative geomorphology study of drainage basin characteristic in the Clinch Mountain Area.** New York: Virginia and Tennessee. Dept. of Geology. n. 3, p. 30, 1953.

NANSON, G. C.; CROKE, J. C. **A genetic classification of floodplains.** **Geomorphology**, [s.l.], v.4, n.6, p. 459-486, 1992.

NAQVI, H. R. *et al.* Soil erosion planning using sediment yield index method in the Nun Nadi watershed, India. **International Soil and Water Conservation Research**, [s.l.], v. 3, p. 86-96, 2005.

NEVES, S. P. A Zona de Cisalhamento Tauá, Ceara: Sentido e Estimativa do Deslocamento, Evolução Estrutural e Granitogênese. **Revista Brasileira de Geociências**, Campinas, v. 21, p. 161-173, 1991.

NEVES, S. P. Diferenciação de Magmas Graníticos Em Zonas de Cisalhamento: O caso de Tauá, Ceara. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 19, p. 303-309, 1989.

NOVO, E.M.L. de M. Ambientes fluviais. *In*: FLORENZANO, T.G. (org.). **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008, p. 219-247.

OLIVEIRA, P. E. de. Paleoclimas da Caatinga Brasileira durante o Quaternário Tardio. *In*: CARVALHO, I.S.; GARCIA, M.J.; LANA, C.C.; STROHSCHOEN JR., O. (org.). **Paleontologia: Cenários de Vida – Paleoclimas**. 1ed. Rio de Janeiro: Interciência, v. 5, p. 501-516, 2014.

OLIVEIRA, V.F.; SILVA FILHO, W.F.; NOGUEIRA NETO, J.A. Atividade neotectônica na borda norte da bacia do Araripe-CE: evidências a partir de índices morfométricos. **Geociências**, São Paulo, v. 37, n. 3, p. 523-541, 2018.

OLIVEIRA, V.P.V. de. A problemática da degradação dos recursos naturais no domínio dos sertões do estado do Ceará- Brasil. *In*: SILVA, J.B.da; DANTAS, E.W.C.; ZANELLA, M.E.; MEIRELES, A.J.de A. (org.). **Litoral e Sertão: natureza e sociedade no Nordeste brasileiro**. Fortaleza: Expressões Gráficas, 2006. p.209-222.

OLIVEIRA, V.P.V de - **Prospección, Caracterización y Cartografía Edafopaisajística en una Región Montañosa del**. 2002. 750f. Tesis de Doutorado. Universidade de Almería-Espanha. 2002.

PINÉO, T.R.G. *et al.* **Mapa Geológico do Estado do Ceará – versão preliminar**. Estado do Ceará. Fortaleza: CPRM, 2018, 1:500.000, 1 mapa 2018.

PINÉO, T.R.G. *et al.* **Mapa Geológico do Estado do Ceará**. Estado do Ceará. Fortaleza: CPRM, 2020, 1:500.000, 1 mapa 2020.

PRADO, D.E. As Caatingas da América do Sul. *In*: LEAL, I.; TABARELLI, M.; SILVA, J.M.C. da. **Ed. Universitária da UFPE**, PE. 2003.

PUMO, D. *et al.* Annual flow duration curves assessment in ephemeral small basins. **Journal of Hydrology**, [s.l.], n. 519, p. 258-270, 2014.

QUEIROZ, P.H.B. de. *et al.* Caracterização multitemporal de barras e ilhas fluviais no baixo curso do rio Jaguaribe, Ceará-Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 19, n. 1, p. 169-188, 2018.

ROCHA, J. S. M. da. **Manual de projetos ambientais**. Brasília: MMA, 1997. 446 p.

ROCHA, C. Geomorfologia e áreas inundáveis na planície fluvial do alto rio Paraná. **Revista Geográfica Acadêmica**, Curitiba, v. 5, p. 98-117, 2011a.

ROCHA, P.C. Sistemas rio-planície de inundação: geomorfologia. **Caderno Prudentino de Geografia**, Presidente Prudente, v. 1, p. 50-67, 2011b.

RODRIGUES, W.F.; MAIA, R.P. Condicionamento morfoestrutural dos relevos no entorno do distrito de Taparuaba, Sertão Central do Ceará, Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 20, p. 35-52, 2019.

ROSGEN, D.L.A classification of natural rivers. **Catena**, Amsterdã, v.22, p.169-199, 1994.

SANJAUME, M.S.; VILLANUEVA, R.J.B. **Teoría y método em geografia física**. España: Editorial Síntesis, 1996. p. 67-89.

SANTOS FILHO, A.O. *et al.* **A evolução do código florestal brasileiro**. Caderno de Graduação - Ciências Humanas e Sociais, Tiradentes, v. 2, p. 271-290, 2015.

SANTOS, H.G. dos *et al.* **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília- DF: EMBRAPA, 2018.

SANTOS, R.D. dos *et al.* **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 6. ed. Viçosa – MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2013.

SANTOS, R.F. **Planejamento ambiental: teoria e prática**. São Paulo: Oficina de Textos, 184p, 2004.

SCHUMM, S.A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands of Perth Amboy. **Geological Society of America Bulletin**, Washington, n. 67, p. 597-646, 1956.

SCHUMM, S.A. Sinuosity of alluvial rivers on the great plains. **Geological Society of America Bulletin**. Michigan, v. 74, n. 9, p. 1089-1100, 1963.

SEEBER, L.; GORNITZ, V. River profiles along the Himalayan arc as indicators of active tectonics. **Tectonophysics**, v. 92, p. 335- 367, 1982.

SILVA, A.J.P., LOPES, R.C., VASCONCELOS, A.M., BAHIA, R.B.C. “Bacias Sedimentares Paleozoicas e Meso-Cenozóicas Interiores”. *In*: BIZZI, L. A., SCHOBENHAUS, C., VIDOTTI, R. M., GONÇALVES, J. H. G. (eds.), **Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil**, capítulo 2, Brasília, CPRM, 2003.

SILVA, F.F.; SANTOS, J.M. dos. Aspectos ambientais da extração de argila em áreas de planície fluvial do baixo Jaguaribe–CE. **Revista Geonorte**, Manaus, v. 5, n. 20, p. 135-140, 2014.

SILVA, E.G.B. da; OLIVEIRA, V.P.V. Análise das precipitações pluviométricas como indicativo de áreas susceptíveis à desertificação nos sertões de Santa Quitéria e Independência, Ceará. **REDE: Revista Eletrônica do Prodepa**, Fortaleza, v. 12.n.3, p. 07-17, 2018.

SILVA, I.C.; FURRIER, M. Análise morfológica e morfométrica das sub-bacias dos rios cascata e Tinto, Litoral Norte do Estado da Paraíba – Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 20, p. 239-254, 2019.

SILVA, M.B. da. **Geomorfologia e controle estrutural da rede de drenagem do alto curso do Rio Jaguaribe, Ceará**. 2017. 151 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

SILVA, M.B. da; MAIA, R.P. Caracterização morfoestrutural do alto curso da bacia hidrográfica do rio Jaguaribe, Ceará-Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 18, p. 637-655, 2017.

- SILVA, T.M. *et al.* Anomalias de Drenagem e Evolução da Paisagem no Médio Vale do Rio Paraíba do Sul (RJ/SP). **Anuário do Instituto de Geociências** – UFRJ, Rio de Janeiro, v. 29, n. 2, p. 210-224, 2006.
- SOARES, L.P.; FERREIRA, E.M.; CARNEIRO, C.S. Impactos hidrometeorológicos na cidade de Sobral-CE: episódio do dia 03 de novembro de 2013. **Revista de Geociências do Nordeste**, Caicó, v. 2. p. 375-384, 2016.
- SOUSA, F.R.C. de.; PAULA, D.P. de. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Tapuio (Ceará–Brasil). **Revista de Geociências do Nordeste**, Caicó, v. 2, p. 555-564, 27 out. 2016.
- SOUSA, M.M.; OLIVEIRA, W. de. Análise morfológica da rede de drenagem do alto Juruá/AC, extraída de mde-srtm. **Caminhos da Geografia** (UFU. Online), Uberlândia, v. 18, p. 44-64, 2017.
- SOUZA, A. de O.; PEREZ FILHO, A. Processos, ambientes deposicionais e geocronologias das coberturas superficiais sobre aplainamentos neogênicos e terraços fluviais na bacia do Ribeirão Araquá, Depressão Periférica Paulista. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 19, n. 1, 2018.
- SOUZA, A.O.; PEREZ FILHO, A. Mudanças na dinâmica fluvial da bacia hidrográfica do ribeirão Araquá: eventos tectônicos e climáticos no Quaternário. **Geosp** – Espaço e Tempo (Online), São Paulo, v. 20, n. 3, p. 636-656, 2016.
- SOUZA, C.M.P. *et al.* Machine learning algorithm in the prediction of geomorphic indices for appraisal the influence of landscape structure on fluvial systems, southeastern - Brazil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 21, p. 366-380, 2020.
- SOUZA, M.J.N. de; OLIVEIRA, V.P.V. de; Dinâmica das paisagens e degradação ambiental no semiárido do Ceará. *In*: CORREIA, L. J. de A.; OLIVEIRA, V. P. V. de; MAIA, J. A. **Evolução das paisagens e ordenamento territorial de ambientes interioranos e litorâneos**. Fortaleza: Expressão Gráfica e Editora, 2015. p. 216 – 228.
- SOUZA, M.J.N. de; SANTOS, J.O.; OLIVEIRA, V.P.V. de. Sistemas Ambientais e Capacidade de Suporte na Bacia Hidrográfica do Rio Curu-Ceará. **Revista Continentes** (UFRRJ), Rio de Janeiro, v. I, p. 119-133, 2012.
- SOUZA, M.S. Ceará: Bases de fixação do povoamento e crescimento das cidades. *In*: José Borzacchiello da Silva; Tércia C. Cavalcante; Eustógio Wanderley Correia Dantas. (org.). **Ceará: Um Novo Olhar Geográfico**. Fortaleza: Edições Demócrito Rocha, 2007. p. 13-31.
- SOUZA, M.J.N de; OLIVEIRA, V.P.V. de. Semiárido do Nordeste do Brasil e o fenômeno da seca *in*: HUPB, J.L y INBAR, M. (org.). **Desastres Naturales em América Latina**. ed. Fondo de Cultura Económica. México. 2002.
- STRAHLER, A.N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. **New Halen: Transactions**, American Geophysical Union, v. 38, p. 913-920, 1957.

STRAHLER, A.N. Las aguas de escorrentía y de saturación. *In*: STRAHLER, A. N. **Geografía física**. Barcelona: Ediciones Omega S. A. p.449-475, 1979.

SUGUIO, K. **Dicionário de geologia sedimentar e áreas afins**. (1998) Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1.222p.

SZATMARI, P. *et al.* Evolução tectônica da margem equatorial brasileira. **Revista Brasileira de Geociências**. Campinas, v. 17 (2), p.180-188, 1987.

TEODORO, V.L.I. *et al.* O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista UNIARA**, Uniara, v. 20, p. 137-156, 2007.

TEIXEIRA, P.C. *et al.* **Manual de métodos de análise de solo**. 3 ed. Brasília-DF: Embrapa, 2017. 573p.

THAYER, J.B.; ASHMORE, P. Floodplain morphology, sedimentology, and development processes of a partially alluvial channel. **Geomorphology**, Amsterdã, v. 269, p. 160-174, 2016.

THORNBRUGH, D.J. *et al.* Mapping watershed integrity for the conterminous United States. **Ecological Indicators**, [s.l.], v. 85, p. 1133-1148, 2018.

TORRES, A.T.G.; VIANNA, P.C.G. Hidroterritórios: a influência dos recursos hídricos nos territórios do semi-árido nordestino. **Terra Livre**, São Paulo, v. 2, p. 145-162, 2008.

TUNDISI, J.G. Recursos Hídricos no Futuro: problemas e soluções. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 22, p.7-16, 2008.

TUCKER, M.E. **Rochas Sedimentares: guia geológico de campo**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2014. 324p

VANDENBERGHE, J. The relation between climate and river processes, landforms and deposits during the Quaternary. **Quaternary International**, Amsterdã, v. 91, n. 1, p. 17-23, 2002.

VAZ, P.T., REZENDE, N. G. A. M., WANDERLEY FILHO, J. R., *et al.*, “A Bacia do Parnaíba”, **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v.15, n.2, p. 253-263, 2007.

VÉLEZ, A.S.S.; NÚÑEZ, R.M.G.; TRUJANO, A.P. **La cuenca hidrográfica: unidad básica de planeación y manejo de recursos naturales**. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2003. 49p.

VIJITH, H.V. *et al.* River and basin morphometric indexes to detect tectonic activity: a case study of selected river basins in the South Indian Granulite Terrain (SIGT), **Physical Geography**, [s.l.], v.38, p.13-35, 2017. DOI: 10.1080/02723646.2017.128347

VILLA, M.A. **Vida e morte no sertão: História das secas no Nordeste nos séculos XIX e XX**. São Paulo: Ática, 2000. 269 p.

WANI, S.P.; GARG, K. K. Watershed management concept and principles. **Best-bet Options for Integrated Watershed Management**. ICRISAT Patancheru, Andhra Pradesh, India, p.1-11, 2009.

WHEATON, J.M. *et al.* Geomorphic mapping and taxonomy of fluvial landforms. **Geomorphology**, Amsterdã, v. 248, p. 273-295, 2015.

APÊNDICE A - RESULTADOS DAS ANÁLISES MORFOLÓGICAS E FÍSICO-QUÍMICAS DOS PERFIS 1 E 2

Horiz.	Prof. (cm)	Cor			Estrutura		Ceros. *	Slickenside*	Consist. *	Trans.
		Úmida	Seca	Grau	Tamanho	Tipo*				
Perfil 1 -										
Ap1	0-38	10YR 3/2	x	M	Média/Grande/Muito Grande	BSa	Não	Não	D/F/NP/NPj	PD
Ap2	38-73	10YR 3/2	x	M	Média/Grande/Muito Grande	BSa	Não	Não	LD/Fr/NP/NPj	PD
2C1	73-110	10YR 4/3	x	M	Grande/Muito Grande	BSa	Não	Não	LD/Fr/NP/NPj	PD
3C2	110-145	10YR 4/3	x	M	Grande/Muito Grande	BSa	Não	Não	D/F/NP/NPj	PD
4C3	145-180	10YR 4/3	x	M	Grande/Muito Grande	BSa	Não	Não	LD/Fr/NP/NPj	PD
5C4	180-230	10YR 4/4	x	M	Grande/Muito Grande	BSa	Não	Não	LD/MFr/NP/NPj	PD
6C5	230-280+	10YR 4/3	x	M	Grande/Muito Grande	BSa	Não	Não	LD/MFr/NP/NPj	PD
Perfil 2 -										
Ap1	0-36	10YR 3/2	x	M	Média/Grande/Muito Grande	BSa	Não	Não	D/F/P/LPj	PD
Ap2	36-80	10YR 3/3	x	M	Média/Grande/Muito Grande	BSa	Não	Não	D/F/MP/LPj	PD
2C1	80-160	10YR 4/2	x	M	Grande/Muito Grande	Pr	Não	Não	MD/F/P/LPj	PD
3C2	160-210	10YR 4/2	x	M	Grande/Muito Grande	Pr	Não	Não	MD/F/P/LPj	PD
4C3	210-240	10YR 4/4	x	M	Grande/Muito Grande	Pr	Não	Não	MD/F/NP/NPj	PC
5C4	240-310	10YR 4/3	x	M	Grande/Muito Grande	Pr	Não	Não	D/F/LPj/LPj	PC
6C5	310+	10YR 4/4	x	F	Grande/Muito Grande	BSa	Não	Não	LD/Fr/NP/NPj	PC

Resultados das análises morfológicas dos perfis 1 e 2

*Estrutura: Fr- fraca; M- moderada; F- forte; Ma- maciça; GRs - grãos simples; Gr- Granular; BA- blocos angulares; BSa- bloco subangular; CO- colunar; Pa- paralelepédica; Pr- prismática; L- laminar. *Cerosidade: C/M- comum/ moderada; P/Fr- pouco/ fraca; A/Fr- abundante/ fraca; C/Fr- comum/ fraca e A/M- abundante/moderada.

* Slickenside- Slick. * Consistência: S- solta; Mc- macia; LD - ligeiramente dura; D- dura; MD - muito dura; ED - extremamente dura; Fr- friável; MFr - muito friável; F- firme; MF- muito firme; EF- extremamente firme; NP- não plástica; LP- ligeiramente plástica; P- plástica; MP- muito plástica; NPj- não pegajosa; LPj- ligeiramente pegajosa; Pj- Pegajosa e MPj- muito pegajosa.

*Transição: P- plana; O- ondulada; I-irregular; Qb- quebrada; A- abrupta; C-clara; D- difusa e G – gradual.

ANEXO A - RECOMENDAÇÕES PARA COLETA DE AMOSTRA DE SEDIMENTOS EM AFLORAMENTOS E TRINCHEIRAS PARA DATAÇÃO POR LUMINESCÊNCIA OPTICAMENTE ESTIMULADA (OSL) FORNECIDAS PELO LABORATÓRIO DE ESPECTOMETRIA GAMA E LUMINESCÊNCIA (LEGAL) – USP.

-Quartzo/feldspato na fração areia fina (125-250 μm) é o material ideal para sedimentos fluviais/eólicos/costeiros/marinhos. Portanto, tente amostrar camadas mais arenosas, com pouca lama. Fácies mais ricas em areia também garantem maior exposição dos grãos na superfície, antes da deposição. Depósitos de fluxos gravitacionais (colúvios) são mais complicados (ou inviáveis) para datar. Na ausência de areia, silte fino (4- 11 μm) também pode ser datado.

-Para a coleta, utiliza-se tubos de alumínio/aço (dimensão aproximada: 4-7 cm de diâmetro por 25-30cm de comprimento). As extremidades (3-5cm) serão descartadas no laboratório e somente a amostra da parte central do tubo será utilizada para análise.

Também pode-se usar tubos de PVC opacos (cor marrom ou preta). Porém, certifique-se de que os tubos de PVC não são translúcidos. Algumas marcas que se dizem opacas, não são. O melhor teste é olhar contra o sol para ver se passa luz. Se o sedimento for muito coeso, pode-se coletar um bloco (15x15x15cm). Neste caso, as faces (2-3cm) serão descartadas no laboratório.

-Limpe a camada a ser amostrada com auxílio de pá ou similar e “crave” o tubo no nível de interesse. Retire o tubo e tampe-o para que as pontas não recebam luz. Tente preencher completamente o tubo para que o sedimento não se misture após a coleta.

Se isso não for possível com o próprio sedimento amostrado, utilize algum material para preenchê-lo (ex. isopor, borracha ou similar).

-Para tampar o tubo, você pode usar tampa de borracha interna e fita isolante, crepe ou silver tape.

-Coletar cerca de 300-500 g de sedimento do mesmo local e acondicionar em saco plástico. Esta amostra vai ser usada para determinação da taxa de dose de radiação e pode ser exposta à luz. Se não for possível coletar esta amostra, podemos usar parte do sedimento do tubo, mas é preferível amostra independente, pois facilita os procedimentos de preparação e análise.

-Se o local de coleta do tubo estiver a menos de 30cm de camada de composição distinta (camada de argila por exemplo), colete também uma amostra desta camada distinta (400-500 g).

-Anote as coordenadas, cota da superfície (pode ser extraída de STRM) e profundidade do intervalo amostrado. Precisamos disto para determinação da taxa de dose da radiação cósmica. Se amostra for coletada abaixo do freático, anote isto. Em caso de dúvida, obtenha foto com escala.

Apesar dos detalhes, a essência é coletar amostra protegida da luz, com maior quantidade possível de areia. Em se tratando de sedimentos fluviais, as amostras ideais são fácies de topo de barra, mas nem sempre é possível avaliar isto.

**ANEXO B - RESULTADOS DAS ANÁLISES MOFOLÓGICAS E FÍSICO-QUÍMICAS
DO PERFIL 1**

Horizontes e Camadas	Complexo Sortivo (Cmolc/kg)							(mg/kg)	
	Ca	Mg	Na	K	H+Al	Al	SB	T	P
P1Ap	3,2	1,1	0,1	0,32	1,49	0,1	4,7	6,2	50
P1A2	3,7	1,2	0,13	0,14	1,32	0,15	5,2	6,5	46
P1C1	3	1,2	0,14	0,14	1,16	0,1	4,5	5,6	49
P1C2	4	0,8	0,14	0,15	1,16	0,1	5,1	6,2	46
P1C3	3,4	1,6	0,16	0,14	1,16	0,1	5,3	6,5	51
P1C4	2,8	0,8	0,15	0,09	1,16	0,2	3,8	5	56
P1C5	2	0,9	0,15	0,14	0,99	0,05	3,2	4,2	47
	pH (H ₂ O)	dS/m	(%)			(g/kg)			
			CE	V	m	PST	C	N	M.O.
P1Ap	6,6	0,1	76	2	2	3,05	0,33	5,26	9,2
P1A2	6,7	0,06	80	3	2	2,11	0,21	3,64	10,1
P1C1	6,5	0,07	79	2	2	1,53	0,16	2,63	9,5
P1C2	6,7	0,08	81	2	2	1,17	0,12	2,02	9,8
P1C3	6,8	0,11	82	2	3	1,06	0,11	1,82	9,6
P1C4	6,6	0,25	77	5	3	0,41	0,04	0,71	10,3
P1C5	7,2	0,13	76	2	4	1,11	0,11	1,92	10,1
	Composição granulométrica (g/kg)					Classificação Textural	Grau de Floculação (g/100g)	Densidade (g/cm ³)	
	Areia Grossa	Areia fina	Silte	Argila	Argila natural			Global	Partícula
P1Ap	331	458	151	60	14	Areia franca	77	1,52	2,72
P1A2	392	406	134	68	7	Areia franca	90	1,52	2,79
P1C1	243	570	105	82	15	Areia franca	81	1,5	2,76
P1C2	191	575	144	90	37	Franco arenosa	59	1,49	2,77
P1C3	225	587	97	91	27	Areia franca	70	1,49	2,59
P1C4	298	583	56	63	19	Areia franca	69	1,42	2,72
P1C5	417	468	44	71	33	Areia franca	53	1,43	2,68

Fonte: Laboratório de Solos (UFC).

ANEXO C - RESULTADOS DAS ANÁLISES MOFOLÓGICAS E FÍSICO-QUÍMICAS DO PERFIL 2

Horizontes e Camadas	Complexo Sortivo (Cmolc/kg)								(mg/kg)
	Ca	Mg	Na	K	H+Al	Al	SB	T	P
P2AP	5	1,7	0,14	0,24	1,32	0,1	7,1	8,4	36
P2A2	4,7	1,6	0,16	0,26	1,32	0,1	6,7	8	28
P2C1	4,8	2,2	0,19	0,22	1,65	0,2	7,4	9,1	24
P2C2	4	1	0,27	0,14	1,32	0,25	5,4	6,7	26
P2C3	2,3	0,9	0,24	0,08	0,99	0,05	3,5	4,5	27
P2C4	2,8	1,2	0,35	0,1	0,99	0,05	4,4	5,4	26
P2C5	1,4	1,1	0,19	0,04	0,83	0	2,7	3,6	17
	Ph (H ₂ O)	dS/m		(%)		(g/kg)			C/N
		CE	V	m	PST	C	N	M.O.	
P2AP	6,5	0,47	84	1	2	2,58	0,28	4,45	9,2
P2A2	6,5	0,18	84	1	2	2,93	0,32	5,06	9,2
P2C1	6,3	0,1	82	3	2	2,23	0,24	3,84	9,3
P2C2	5,9	0,4	80	4	4	1,41	0,15	2,43	9,4
P2C3	7,1	0,13	78	1	5	1	0,1	1,72	10
P2C4	7,3	0,12	82	1	6	0,7	0,06	1,21	11,7
P2C5	7,6	0,06	77	0	5	0,65	0,06	1,11	10,8
	Composição granulométrica (g/kg)					Classificação Textural	Grau de floculação (g/100g)	Densidade (g/cm ³)	
	Areia Grossa	Areia fina	Silte	Argila	Argila natural			Global	Partícula
P2AP	32	709	175	84	25	Franco arenosa	70	1,45	2,76
P2A2	27	713	168	92	37	Franco arenosa	60	1,43	2,75
P2C1	26	590	241	143	33	Franco arenosa	77	1,43	2,78
P2C2	16	766	130	88	29	Franco arenosa	67	1,43	2,69
P2C3	174	717	49	60	12	Areia	80	1,5	2,72
P2C4	54	774	87	85	18	Areia franca	79	1,44	2,72
P2C5	511	446	5	38	9	Areia	77	1,61	2,73

Fonte: Laboratório de Solos (UFC).

ANEXO D - RESULTADOS DAS IDADES OSL EM ALÍQUOTAS DE QUARTZO (LEGaL).

Código da Amostra	Código LEGaL	Número de Alíquotas	Recycling Ratio (média)	Taxa de Dose (Gy/ka)	Dose (Gy)		Idade (anos)
					(CAM)	OD (%)	(CAM)
P1 A1	L1052	18/32	0.96 ± 0.03	2.18 ± 0.18	2.3 ± 0.2	30.9	1056 ± 127
P1 A2	L1053	21/24	1.00 ± 0.02	2.03 ± 0.16	5.3 ± 0.1	6.6	2606 ± 213
P1 A3	L1054	19/24	0.99 ± 0.02	2.04 ± 0.17	6.4 ± 0.3	19.0	3131 ± 302
P1 A4	L1055	20/24	0.97 ± 0.02	1.94 ± 0.16	9.0 ± 0.3	11.9	4641 ± 423
P1 A5	L1056	20/24	0.99 ± 0.02	2.10 ± 0.18	8.4 ± 0.3	14.6	4002 ± 375
P2 A1	L1057	20/24	1.01 ± 0.02	2.90 ± 0.24	1.8 ± 0.1	18.2	620 ± 62
P2 A2	L1058	21/24	1.01 ± 0.03	2.92 ± 0.24	3.4 ± 0.2	18.0	1164 ± 118
P2 A3	L1059	17/24	1.01 ± 0.03	2.82 ± 0.23	3.4 ± 0.1	0.0	1204 ± 106
P2 A4	L1060	19/24	0.98 ± 0.03	2.37 ± 0.20	3.0 ± 0.1	9.4	1266 ± 114
P2 A5	L1061	19/24	0.99 ± 0.03	2.56 ± 0.22	3.8 ± 0.1	8.3	1485 ± 131
P2 A6	L1062	23/32	1.00 ± 0.02	1.88 ± 0.16	2.9 ± 0.1	16.9	1541 ± 145

CAM – Central Age Model
OD - Overdispersion

Código da Amostra	Código LEGaL	²³⁸ U (ppm)	²³² Th (ppm)	K (%)	Saturação de água	Taxa de dose cósmica (Gy/ka)
P1 A1	L1052	0.98 ± 0.04	7.07 ± 0.24	1.28 ± 0.05	0.0294	0.196 ± 0.038
P1 A2	L1053	0.99 ± 0.04	6.59 ± 0.23	1.23 ± 0.05	0.0498	0.181 ± 0.017
P1 A3	L1054	0.91 ± 0.04	6.33 ± 0.22	1.19 ± 0.05	0.0066	0.167 ± 0.013
P1 A4	L1055	0.88 ± 0.04	5.63 ± 0.20	1.16 ± 0.05	0.0054	0.155 ± 0.012
P1 A5	L1056	0.83 ± 0.04	5.58 ± 0.20	1.34 ± 0.06	0.0056	0.145 ± 0.011
P2 A1	L1057	1.49 ± 0.06	12.71 ± 0.40	1.44 ± 0.06	0.0081	0.195 ± 0.035
P2 A2	L1058	1.55 ± 0.06	13.22 ± 0.41	1.43 ± 0.06	0.0091	0.180 ± 0.016
P2 A3	L1059	1.51 ± 0.06	12.95 ± 0.40	1.36 ± 0.06	0.0073	0.173 ± 0.015
P2 A4	L1060	1.15 ± 0.05	10.01 ± 0.32	1.21 ± 0.05	0.0035	0.152 ± 0.012
P2 A5	L1061	1.27 ± 0.05	10.56 ± 0.34	1.35 ± 0.06	0.0067	0.140 ± 0.010
P2 A6	L1062	0.62 ± 0.03	4.71 ± 0.17	1.24 ± 0.05	0.0022	0.133 ± 0.010

Fonte: Laboratório de Espectrometria Gama e Limunescência – USP.