



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

**ALISSON HARIFE LIMA SANTOS**

**ANÁLISE DOS ESTILOS FLUVIAIS E DA CAPACIDADE DE AJUSTE DO ALTO**  
**CURSO DO RIO PARAÍBA - PB**

**João Pessoa – PB**

**2017**

**ALISSON HARIFE LIMA SANTOS**

**ANÁLISE DOS ESTILOS FLUVIAIS E DA CAPACIDADE DE AJUSTE DO ALTO  
CURSO DO RIO PARAÍBA - PB**

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

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

**João Pessoa – PB**

**2017**

Catálogo na publicação  
Universidade Federal da Paraíba  
Seção de Catalogação da Biblioteca Setorial do CCEN

S237a Santos, Alisson Harife Lima.  
Análise dos estilos fluviais e da capacidade de ajuste do alto curso do  
Rio Paraíba - PB / Alisson Harife Lima Santos. – João Pessoa, 2017.  
87 p. : il. color.

Monografia (Bacharelado em Geografia) – Universidade Federal da  
Paraíba.

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

1. Estilos fluviais. 2. Dinâmica fluvial. 3. Rio Paraíba. I. Título.

BS-CCEN/UFPB

CDU 556.5(043.2)



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

PARECER DO TCC

Tendo em vista que o aluno (a) Lisson Haroldo Lima Santos  
 cumpriu ( ) não cumpriu os itens da avaliação do TCC previstos no artigo 25º da  
Resolução CCG/CCEN/UEPB N. 01/2016 somos de parecer  favorável ( )  
desfavorável à aprovação do TCC intitulado: Análise dos Estímulos  
Fluviais e da capacidade de ajuste de alto  
curso de rio Paraíba - PB

Nota final obtida: 9,5

João Pessoa, 09 de novembro de 2017.

BANCA EXAMINADORA:

Jonas Souza  
Professor Orientador

Professor Co-Orientador (Caso exista)

Francisco Vilas do Araújo Segundo Neto  
Membro Interno Obrigatório (Professor vinculado ao Curso)

[Assinatura]  
Membro Interno ou Externo

Dedico este trabalho ao meu avô, Severino dos Ramos Lima, nascido em 21/04/1948 e falecido em 29/06/2017. Homem de caráter, sincero, trabalhador e honesto.

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço ao nosso Senhor e Salvador, Jesus Cristo, pois tudo o que existe foi criado por ele e para ele. A sua graça me sustentou e me deu forças nos momentos que mais precisei, e sem ela eu não teria executado este trabalho.

Agradeço à minha família, que tem me apoiado nas decisões que tenho tomado ao longo da minha vida, especialmente na vida acadêmica e profissional. Especialmente aos meus pais, Francisco das Chagas e Cláudia, pelo amor, carinho e educação que me deram. Agradeço também aos meus irmãos Miguel Santos, Alexandre Santos e Jéssica Santos.

Sou muito grato a Deus pelos grandes amigos que conheci no curso de Geografia, e que têm me ajudado na realização deste trabalho. Em especial, Charles, André Victor, Jullyane, Rosiene, Irla e André Luis. Agradeço ainda pelo apoio dos meus eternos amigos Filipe Estrela, Alberson Ferreira, Cássia Teixeira, Angela Trajano, Daniel Gomes e Brunno Torres.

Agradeço ao meu professor e orientador Jonas Souza pelo, apoio e incentivo; e também a todos os demais professores que contribuíram para a produção desta monografia. Sou grato pela colaboração dos colegas do Grupo de Estudos em Ambientes Fluviais Semiáridos, em especial Jefferson, Camila, Mariá, Gabriel e Rachel.

A todo o departamento de Geografia da Universidade Federal da Paraíba, por nos oferecer um bom curso, além de oportunidades de progredir na vida acadêmica e docente.

Enfim, agradeço a todos que, direta ou indiretamente, me ajudaram nesta boa e laboriosa tarefa de produzir um trabalho de conclusão de curso. Que Deus continue abençoando a todos.

No Éden nascia um rio que irrigava o jardim, e depois se dividia em quatro. O nome do primeiro é Pison. Ele percorre toda a terra de Havilá, onde existe ouro. O ouro daquela terra é excelente; lá também existem o bdélio e a pedra de ônix. O segundo, que percorre toda a terra de Cuxe, é o Gion. O terceiro, que corre pelo lado leste da Assíria, é o Tigre. E o quarto rio é o Eufrates.

(Gênesis 2:10-14)

## RESUMO

As águas dos rios são fundamentais para a manutenção da vida e, além disso, tendem a ser escassas em ambientes áridos e semiáridos. Sabendo disso, este trabalho executará uma análise no alto curso do rio Paraíba, localizado no estado da Paraíba, levando em consideração que o canal recebeu as águas do projeto de Integração do Rio São Francisco. A partir disso será possível classificar os trechos do canal e também identificar as áreas capazes de se ajustar a possíveis mudanças. Para que isso seja possível, será utilizada a abordagem dos Estilos Fluviais (*River Styles*), que surge como uma classificação fluvial que tem a análise da dinâmica fluvial como seu principal intuito. Essa abordagem diz respeito a caracterização de segmentos de rios, onde esses segmentos apresentam um conjunto comum de características geomórficas e hidrológicas; e sua aplicação permite um melhor planejamento e gestão de bacias hidrográficas, além de possibilitar a recuperação da área degradada. Além disso, é importante identificar os trechos fluviais que possuem diferentes capacidades de se ajustar às mudanças. A problemática consiste em compreender como se comporta e qual a dinâmica do canal principal da bacia do Alto Paraíba, a partir da caracterização dos segmentos desses canais e da capacidade de ajuste deles. Diante disso, algumas etapas metodológicas foram cumpridas, como: levantamento de dados físicos da bacia por meio de sensoriamento remoto e trabalho de campo; grau de confinamento dos canais, delimitação de unidades geomórficas do canal; textura do material do leito e margens do rio. No canal principal do alto curso do rio Paraíba foram encontrados quatro tipos de Estilos Fluviais: Canal Não Confinado com Barras Arenas, Canal Semiconfinado com Leito Cascalho-Rochoso, Canal Semiconfinado com Ilhas de Vegetação e Canal Confinado com Leito Rochoso. Dentre os quatro, este último foi o que menos apresentou capacidade de se ajustar às mudanças na vazão do rio.

**Palavras Chave:** Estilos Fluviais; capacidade de ajuste; dinâmica fluvial.

## ABSTRACT

The river waters are fundamental to a life sustaining and in addition, they tend to be scarce in arid and semi-arid environments. About knowing this, this monograph will analysis the Upper Basin of the Paraíba River, located in the state of Paraíba, analyzing the receipt of waters from Integration project of the São Francisco River. From this, it is possible to classify the stretches of the river channels and also identify as areas capable of adjusting a possible changes. For this to be possible, a River Styles solution is used as a river classification that has an analysis of river dynamics. This concept shows a characterization of river segments, where these segments are a common set of geomorphic and hydrological characteristics, better planning and management of watersheds, and to enable the recovery of the degraded area. In addition, It is important to identify fluvial stretches that have different capacities to adjust to changes. The problem is to know how the main channel of the Upper Paraíba Basin behaves and what the dynamics of the Upper Paraíba Basin are, based on the characterization of the channel segments and their adjustment capacity. Therefore, some methodological steps were accomplished, such as: physical data collection of the basin through remote sensing and field work; degree of confinement of channels, delimitation of geomorphic units of the channel; texture of the bed material and river banks. There are no main channels in the Upper Basin of the Paraíba River. There are four types of Fluvial Styles: Unconfined Channel with Arrested Bars, Semiconfined Channel with Gravel and Rocky Bed, Semiconfined Channel with Vegetation Isles, and Channel Confined with Rocky Bed. Among the four, the latter was the one that presented the capacity to adjust to the changes in the flow of the river.

**Keywords:** River Styles, capacity of adjustment, fluvial dynamics.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Visão longitudinal, transversal e em planta dos principais tipos de rios.....	30
Figura 2: Mapa de localização da bacia do Alto Paraíba, PB.....	41
Figura 3: Mapa de Modelo Digital de Elevação da bacia do Alto Paraíba, PB.....	43
Figura 4: Mapa de classes de declividade da bacia do Alto Paraíba, PB.....	44
Figura 5: Gráfico com o perfil longitudinal e a área de captação do canal principal do Alto Paraíba.....	50
Figura 6: Mapa geológico da bacia do alto curso do rio Paraíba, PB.....	52
Figura 7: Mapa de compartimentos geomorfológicos do alto curso do rio Paraíba, PB.....	54
Figura 8: Mapa de unidades de paisagem do alto curso do rio Paraíba, PB.....	55
Figura 9: Mapa de grau de confinamento do alto curso do rio Paraíba, PB.....	57
Figura 10: Mapa apresentando a vegetação do alto curso do rio Paraíba, PB.....	58
Figura 11: Estilo Fluvial de Canal Não Confinado Com Barras Arenosas, alto curso do rio Paraíba – PB.....	60
Figura 12: Fotografia mostrando barra arenosa no leito do canal não confinado.....	61
Figura 13: Fotografia ilustrando rodovia desativada cruzando o canal não confinado.....	61
Figura 14: Estilo Fluvial de Canal Semiconfinado com Leito Cascalho-Rochoso, alto curso do rio Paraíba – PB.....	65
Figura 15: Fotografia exibindo planície de inundação presente no canal semiconfinado.....	66
Figura 16: Fotografia mostrando o leito rochoso do canal semiconfinado.....	66
Figura 17: Fotografia ilustrando as águas da transposição chegando no alto curso do rio Paraíba.....	67
Figura 18: Fotografia mostrando barra de cascalho no canal semiconfinado.....	67
Figura 19: Estilo Fluvial de Canal Semiconfinado com Ilhas de Vegetação, alto curso do rio Paraíba – PB.....	70
Figura 20: Fotografia destacando afloramentos rochosos e canal principal.....	71

Figura 21: Fotografia mostrando ilha com vegetação no meio do canal semiconfinado.....	71
Figura 22: Estilo Fluvial de Canal Confinado com Leito Rochoso, alto curso do rio Paraíba – PB.....	74
Figura 23: Ilha rochosa com vegetação no canal confinado.....	75
Figura 24: Fotografia destacando o leito rochoso do canal confinado.....	75
Figura 25: Fotografia apresentando barramento cruzando o canal confinado.....	76
Figura 26: Mapa identificando a localização dos quatro Estilos Fluviais encontrados no alto curso do rio Paraíba, PB.....	79

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Matriz de informações específicas sobre o Canal Não Confinado com Barras Arenosas.....	62
Quadro 2: Matriz de informações específicas sobre o Canal Semiconfinado com Leito Cascalho-Rochoso.....	68
Quadro 3: Matriz de informações específicas sobre o Canal Semiconfinado com Ilhas de Vegetação.....	72
Quadro 4: Matriz de informações específicas sobre o Canal Confinado com Leito Rochoso...	77

## Sumário

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>14</b>
2.1 OBJETIVO GERAL .....	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	14
<b>3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>15</b>
3.1 SISTEMA FLUVIAL SEMIÁRIDO .....	15
3.2 MODIFICAÇÕES FLUVIAIS E INTERVENÇÕES ANTRÓPICAS .....	21
3.3 CLASSIFICAÇÃO DE CANAIS E ESTILOS FLUVIAIS .....	26
3.4 CAPACIDADE DE AJUSTE E SENSITIVIDADE DA PAISAGEM .....	35
<b>4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....</b>	<b>41</b>
<b>5. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>45</b>
5.1 ESTILOS FLUVIAIS .....	46
5.2 CAPACIDADE DE AJUSTE .....	48
<b>6. RESULTADOS .....</b>	<b>50</b>
6.1 CANAL NÃO CONFINADO COM BARRAS ARENOSAS .....	59
6.2 CANAL SEMICONFINADO COM LEITO CASCALHO-ROCHOSO .....	63
6.3 CANAL SEMICONFINADO COM ILHAS DE VEGETAÇÃO .....	69
6.4 CANAL CONFINADO COM LEITO ROCHOSO .....	73
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>80</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>81</b>

## 1. INTRODUÇÃO

As águas dos rios existentes no planeta são fundamentais para a manutenção da vida humana e de suas atividades, além de ser de suma importância para a fauna e flora. Por conta de fatores de ordem natural (fatores climáticos, por exemplo) e antrópica (urbanização, dentre inúmeros outros exemplos) as águas desses rios têm se tornado escassas, principalmente em ambientes áridos e semiáridos.

Dentre as várias abordagens usadas para estudar as bacias hidrográficas utilizam-se as classificações fluviais, onde o principal intuito consiste em analisar a dinâmica fluvial. Nesta pesquisa será usada a abordagem metodológica chamada de Estilos Fluviais (*River Styles*), desenvolvida pelos pesquisadores Gary J. Brierley e Kristie Fryirs, na Austrália e Nova Zelândia, no ano 2000. A aplicação dessa abordagem permite um melhor planejamento e gestão de bacias hidrográficas, além de possibilitar a recuperação da área degradada, uma vez que ela proporciona a compreensão da dinâmica fluvial.

O método dos Estilos Fluviais consiste basicamente na caracterização dos segmentos dos rios, onde esses segmentos apresentam um conjunto comum de características geomórficas e hidrológicas; o principal objetivo desse método é compreender o comportamento dos rios. Uma vez que os rios encontrados nas bacias do semiárido do Nordeste brasileiro sofrem intensamente com escassez de águas, torna-se interessante utilizar a abordagem dos Estilos Fluviais nessas áreas. Esta pesquisa tem o intuito de usar esta abordagem especificamente no canal principal da bacia hidrográfica do alto curso do Rio Paraíba, localizada no estado da Paraíba.

O problema desta pesquisa consiste justamente em compreender como se comporta e qual a dinâmica do canal principal da bacia do Alto Paraíba, a partir da caracterização dos segmentos desse canal. Com base nisso se faz necessário responder as seguintes perguntas:

Quais os Estilos Fluviais encontrados nesse canal e como eles se comportam? A partir do entendimento da dinâmica fluvial desse rio é possível prever como eles se comportarão futuramente?

O Projeto de Integração do Rio São Francisco levará parte de suas águas, por meio de dois canais artificiais, para os estados da Paraíba, Ceará, Rio Grande do Norte e Pernambuco: Eixo Norte e Eixo Leste. No caso da Paraíba, as águas chegaram no município de Monteiro, em 2017, passando pelo alto curso do rio Paraíba.

As águas desse projeto de transposição possibilitarão que o nível de vazão seja regularizado. Assim, os trechos que antes sofriam com escassez de água, terão um fluxo de água mais estável. Essa mudança hidrológica, conseqüentemente, contribuirá com o processo de modificação no transporte de sedimentos. Isso fará com que esse rio se ajuste a essas mudanças.

Por isso a importância da aplicação da abordagem dos Estilos Fluviais no canal principal da bacia Alto Paraíba. Dessa forma, será possível analisar o comportamento e dinâmica do canal, atentando para as possibilidades de mudanças e também a capacidade de ajuste do canal geradas por esse projeto de integração de bacias hidrográficas.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Compreender o comportamento e a dinâmica do alto curso do rio Paraíba por meio da caracterização dos Estilos Fluviais e da análise da capacidade de ajuste.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Caracterizar as unidades geomórficas presentes em cada trecho de rio;
- Analisar as características ambientais dos trechos das áreas estudadas;
- Construir uma matriz de informação para cada um dos Estilos Fluviais identificados e mapeados.

### 3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Serão trabalhados a seguir os temas que são a base deste trabalho. São eles: sistemas fluviais semiáridos, modificações fluviais e intervenções antrópicas, classificação de canais e estilos fluviais, e por fim, capacidade de ajuste e sensibilidade da paisagem.

#### 3.1 SISTEMA FLUVIAL SEMIÁRIDO

A partir do início do século XIX iniciou-se uma busca, por parte dos estudiosos, por uma compreensão ampla e sistemática a respeito do comportamento dos ambientes naturais, pois eles perceberam que as teorias científicas que explicavam os fenômenos naturais eram de singular importância, porém não respondiam a todas as questões levantadas e, de certa forma, limitavam o entendimento desses fenômenos tornando-os mecânicos. Daí o termo mecanicismo (VICENTE; PEREZ FILHO, 2003). Em 1937, em um seminário em Chicago surgiu a chamada Teoria Geral dos Sistemas, elaborada pelo biólogo Ludwig von Bertalanffy, onde de acordo com essa teoria o todo é considerado maior que a soma de todas as partes e esse todo é indivisível. O estudo desse todo deve ser feito de modo que se consiga entender as relações entre as partes, porém não tentando compreender essas partes de maneira individualizada. (MARQUES NETO, 2008).

A Teoria Geral dos Sistemas foi bem aceita pela Geografia Física após os trabalhos geomorfológicos realizados por Arthur Strahler, sendo essa teoria implantada na Geomorfologia em 1952 (CHRISTOFOLETTI, 1990). Porém, a ideia de sistema na Geografia já era identificada no início da fase de sistematização dessa ciência, por Alexander von Humboldt, no final do século XVIII. Humboldt analisava o meio geográfico como um todo, e não tentando compreendê-lo por partes individualizadas (MARQUES NETO, 2008).

O pedólogo russo Vassili Dokuchaev, ainda no final do século XIX, formulou a base teórica do que mais tarde viria a ser chamada de teoria do Geossistema. Somente após a Segunda Guerra Mundial e com um novo olhar sobre o espaço natural e geográfico, a Geografia passou a ter uma maior aceitação referente à teoria sistêmica. No início da década de 1960, Sotchava teve a ideia de incorporar a Teoria Geral dos Sistemas às chamadas Ciências Naturais, surgindo assim o conceito de Geossistema, que consiste num sistema natural complexo que tem uma dinâmica de energia e matéria, onde estes se relacionam com o

meio, e levando em consideração o homem na sua interação com o meio (VICENTE; PEREZ FILHO, 2003).

É de fundamental importância, para entender o funcionamento dos sistemas, saber que as mudanças que ocorrem nos processos ambientais podem afetar a forma do sistema, e vice-versa; podem também comprometer a estabilidade e equilíbrio do sistema. Elas podem ainda alterar os limiares de mudança, que são os limites que, quando ultrapassados, geram a mudança. Um elemento muito significativo para a compreensão dos sistemas complexos é a chamada retroalimentação, que consiste no impacto primário que gera um secundário, isto é, uma mudança inicial que cria outras (SOUZA, 2013).

Compreender a abordagem sistêmica é de suma importância, pois a partir desse entendimento será possível entender teorias que são inteiramente alicerçadas nessa abordagem, como os sistemas fluviais, por exemplo. Estes sistemas são entendidos juntamente com a paisagem que os cercam e todos os componentes físicos e biológicos; isto significa que eles são compreendidos não de maneira isolada, mas como um todo, levando em consideração as suas interações.

Sabe-se que as correntes fluviais são consideradas um dos agentes geomorfológicos de maior relevância e também são fundamentais para a manutenção da vida biológica. Antigas civilizações, como a egípcia, por exemplo, se desenvolveram às margens de grandes e importantes rios. O termo “rio” diz respeito a um fluxo de água canalizado que faz parte de um sistema de drenagem; essa drenagem, que é responsável por levar água de uma região para outra, depende de diversos fatores para que funcione, tais como: topografia, pluviosidade, tipo de solo, estrutura vegetal, litologia e estrutura das rochas. A partir de então, quando se tem um conjunto de canais de um mesmo sistema de drenagem interligados entre si, têm-se a chamada bacia de drenagem, também denominada bacia hidrográfica (BIGARELLA; BUGUIO; BECKER, 1979). É necessário levar em consideração os limites dessa bacia, pois eles são responsáveis por definir a separação do escoamento de um sistema hidrológico para outro (FRYIRS; BRIERLEY, 2013).

Segundo Fryirs e Brierley (2013), a análise dos sistemas fluviais deve ser feita enfatizando como eles se comportam, porque eles se ajustam de determinada forma e atentando também para a aparência (forma) do sistema; tomando cuidado para não levar em consideração somente este último fator. Sabendo que cada sistema fluvial tem o seu comportamento, a análise do comportamental fluvial implica na consideração da capacidade

de ajuste dos diferentes tipos de rios, e de acordo com esses autores, essas considerações determinam o regime comportamental de cada rio.

É oportuno dizer que os rios não são responsáveis apenas por transportar águas, mas também sedimentos dos mais diversos tipos. Por conta do processo erosivo realizado nas margens e no leito do rio, os sedimentos gerados por esse processo acabam sendo transportados pelas águas. Em toda a bacia hidrográfica ocorre o processo de sedimentação fluvial, que é feito por etapas: remoção, transporte e deposição. Sendo assim, os ambientes onde ocorrem o processo de sedimentação fluvial são de fundamental importância para a interpretação da evolução histórica das paisagens (CHRISTOFOLETTI, 1981).

Cada canal fluvial apresenta um arranjo espacial específico, ou seja, existem tipos diferentes de canais fluviais. Christofolletti (1981) salienta que:

Os tipos de canais representam mecanismos de ajustagem entre as variáveis implicadas neste sistema geomorfológico, constituindo respostas que se somam e se entrosam com as relacionadas à seção transversal e ao perfil longitudinal dos cursos de água. Cada tipo de canal possui maneiras diferentes de afetar a resistência do fluxo, e há relacionamento acentuado entre a quantidade e características da carga sedimentar disponível e a quantidade e variabilidade do débito, de um lado, e a tipologia dos canais, de outro (CHRISTOFOLETTI, 1981, p.145).

Christofolletti (1981) complementa dizendo que para o planejamento referente a áreas ribeirinhas e também do leito do canal fluvial é primordial conhecer os processos e a morfologia de cada canal.

Para uma compreensão adequada sobre o sistema fluvial é preciso entender os conceitos de uniformidade dos processos, limiares de mudança, evolução da paisagem e respostas complexas. O primeiro diz respeito à permanência das leis físicas espacial e temporalmente; pode-se dizer que os limiares de mudança são os limites que, quando ultrapassados, ocorre a mudança; o atual estado da paisagem e a sua alteração no decorrer do tempo geológico e antropológico dizem respeito a evolução da paisagem; por fim, as respostas complexas são os ajustes e respostas que o sistema realiza após as mudanças (SOUZA, 2013).

De acordo com Souza (2011), as forças que distribuem matéria e energia no sistema fluvial são modificadas pelos processos geomórficos, regime de fluxo, vegetação associada e disponibilidade de sedimentos; isso determina as características e distribuição dos elementos no sistema fluvial.

O sistema fluvial pode estar em equilíbrio ou em desequilíbrio. O primeiro pode ser entendido como constância de transporte de sedimentos. Contudo, uma verdadeira estabilidade raramente existe num rio natural. Essas relações são mediadas pela distribuição natural dos elementos de resistência, ou seja, elementos que resistem às mudanças. O desequilíbrio dentro de um sistema fluvial ocorre como um processo de ajustamento em direção ao equilíbrio, mas, por causa dos longos tempos de resposta, o tempo entre o distúrbio inicial e eventos de distúrbios subsequentes tal como o sistema é insuficiente e incapaz de se ajustar em direção a um estado estável. O sistema responde continuamente a contínuos eventos de distúrbios sem manter uma condição de equilíbrio (FRYIERS; BRIERLEY, 2013). Estes mesmos autores, Fryirs e Brierley (2013), afirmam que o termo distúrbio diz respeito uma mudança na intensidade do processo. Nos sistemas fluviais, os distúrbios se referem a algum fator que afeta as condições limites sobre as quais o rio age. Isso sugere mudanças nos controles geológicos impostos às condições limites. Os padrões e taxas de ajustamento dos rios apontam a origem do distúrbio.

Sobre distúrbios e dinâmica fluvial os ambientes semiáridos apresentam um menor número de trabalhos e estudos realizados em comparação aos ambientes úmidos, nesse sentido é interessante explanar sobre os sistemas fluviais no semiárido. Os sistemas fluviais em regiões áridas e semiáridas funcionam de maneira diferenciada das outras regiões. Os rios das áreas secas costumam ser intermitentes (nesse regime hidrológico o fluxo superficial de água, ou seja, o escoamento superficial é maior ao longo do seu ciclo hidrológico) ou efêmeros (o fluxo de água superficial ocorre somente após uma precipitação não previsível), com precipitações modestas e predominância de escoamento superficial. Vale salientar que em anos muito secos os rios intermitentes podem tornar-se efêmeros. O termo aridez pode ser entendido como uma falta de umidade no ambiente, e é uma importante característica de grande parte da superfície do planeta; as variações de aridez variam de lugar para lugar ao longo do tempo. Os sistemas fluviais podem ser considerados como produto de suas configurações ambientais, incluindo os fatores climáticos, tectônicos, estruturais, litológicos e associados a vegetação. Esses fatores influenciam o escoamento e fornecimento de sedimentos, onde essa interação intervém direta e indiretamente nos processos, formas e comportamentos fluviais (THOMAS et al, 2011; POMPÊO, 1999). Sobre regiões semiáridas, Medeiros, Moreira e Righetto (2007) afirmam:

As regiões de clima semiárido estão sujeitas aos efeitos sazonais de grande importância do ponto de vista hidrológico, notadamente as precipitações de alta intensidade. A precipitação se constitui num elemento chave para a compreensão

dos processos hidrológicos de uma bacia hidrográfica. Nesse contexto, a análise do comportamento espaço-temporal do evento chuvoso é fundamental na modelagem do processo chuva-vazão, uma vez que o escoamento superficial e sua distribuição na bacia é o resultado das características da chuva (MEDEIROS; MOREIRA; RIGHETTO, 2007, p.129).

Sabendo disso, é preciso considerar que nos ambientes semiáridos, os processos fluviais expressam características bastante diferentes das encontradas nos ambientes úmidos, e isso é consequência dos diferentes *inputs* (entrada) de energia no sistema. Pode-se dizer que diferenciação de formas e estruturas no sistema são produto da diferenciação dos processos (SOUZA; ALMEIDA, 2015). Com relação aos canais em áreas secas, Souza e Corrêa (2012) afirmam que:

As características do fluxo e da carga sedimentar dos canais nas terras secas, aliadas com as características do substrato geológico e estado da vegetação do vale fluvial vão controlar as formas desenvolvidas nos canais e adjacências, formando um complexo de formas particulares (SOUZA E CORRÊA, 2012, p. 152).

Com base nessas informações, sabe-se que a vegetação, dentre os elementos associados ao escoamento superficial, pode ser considerada como o elemento mais vulnerável a sofrer modificações, isto é, o mais sensível; onde elas são de ordem natural e principalmente antrópica. Souza (2014) complementa dizendo que:

Essas modificações influenciam diretamente o escoamento superficial, desse modo a modificação da distribuição e dos padrões da vegetação podem ser compreendidos como variável modificante para o escoamento superficial, principalmente quando a análise trabalhar com o tempo histórico (SOUZA, 2014, p. 30).

Fica claro, então, que é necessário entender a relação entre a vegetação e o escoamento superficial para se compreender as modificações ocorridas. Ainda sobre escoamento superficial, Feitosa et al (2010) afirma que:

Quando se considera na modelagem ambiental a ação conjunta das precipitações efetivas sobre o solo, a declividade e a cobertura do terreno é possível estimar e simplificar suas consequências efetivas, principalmente em função da dinâmica do escoamento superficial com base nos valores da vazão para uma chuva para fins de comparação com o ritmo da erosão e as características físicas da bacia hidrográficas. Os resultados indicarão as áreas mais sensíveis e as mais propensas aos efeitos dos escoamentos d'água. Além disso, pode-se estimar o tempo de permanência da água dentro da bacia e os principais fluxos da erosão, para fins do planejamento das atividades agrícolas (FEITOSA ET AL, 2010, p. 8).

O clima pode ser considerado como fator chave no padrão e distribuição de escoamento dentro de uma bacia hidrográfica, e o regime de escoamento é determinado pela natureza e distribuição da chuva. O escoamento é composto principalmente pela saturação de escoamento superficial (*saturation overland flow*), em regiões de clima úmido, ao passo que o escoamento superficial hortoniano (*Hortonian Overland flow*) é mais comum em ambientes semiáridos e áridos. Nestes ambientes não existem áreas de saturação para iniciar um escoamento rápido porque as chuvas não são frequentes e duram pouco. As áreas de produção de escoamento tendem a ser encontradas em regiões de alta declividade (BRACKEN; CROKE, 2007).

O estado de equilíbrio nos sistemas fluviais diz respeito a paisagens de forma constante, já o chamado equilíbrio dinâmico implica na relação entre processos e taxas de mudança, resultando em formas constantes. Para se demonstrar o potencial de equilíbrio de determinada área é necessária toda uma precisão matemática comparando e mensurando os processos. No caso de regiões semiáridas, as rápidas e frequentes mudanças nos canais são contrastadas com a ideia de que o estado de equilíbrio ocorre quando os canais são devidamente ajustados. Nessas regiões as formas existentes são resultado da última grande inundação e os períodos de reestabelecimento são longos se comparados com as escalas de tempo do estado de equilíbrio, e dessa forma, se o período de recuperação superar o intervalo médio de recorrência da inundação não existirá a possibilidade de equilíbrio entre a forma do canal e a descarga de um determinado canal (GALLAGHER; JONES; WAINWRIGHT, 2008).

Entendido isso, considera-se que através da seção transversal, da forma do canal e do perfil longitudinal é possível compreender a morfologia de um canal. O perfil longitudinal de um rio é formado pelo arranjo entre diversos trechos com distintas declividades. Os perfis transversais, por sua vez, se desenvolvem ao longo do perfil longitudinal. Dessa forma, cada rio cria seu próprio perfil de equilíbrio, por meio de fatores como: ajustes entre carga líquida, carga de sedimentos, declividade e material de fundo do leito do canal. Em áreas semiáridas, canais largos e rasos, e que apresentem barras interpostas no meio do canal e sensíveis à erosão, tendem a indicar instabilidade; e por conta disso, as barras são reelaboradas modificando o talvegue em pouco tempo e reposicionando o canal (CAVALCANTE; CUNHA, 2012). Nos ambientes semiáridos, as chuvas de alta intensidade juntamente com a rugosidade das encostas e dos canais de drenagem, originam o escoamento superficial, que por sua vez, origina um fluxo turbulento. Essas chuvas conduzem os sedimentos desagregados

pelo impacto da chuva e atuam como agentes erosivos por onde passam. Dessa forma, as correntes alargam as margens dos canais, deixando e retirando o material. Isso faz com que surjam canais com seções transversais retangulares que apresentam margens com tendência à verticalidade e leitos fluviais bastante extensos (RIBEIRO; MARÇAL; CORREA, 2010).

### 3.2 MODIFICAÇÕES FLUVIAIS E INTERVENÇÕES ANTRÓPICAS

Uma mudança no regime comportamental de um rio pode ser gerada por alterações no balance entre as forças de resistência (que é a capacidade que o sistema tem de absorver as forças de distúrbio) e de distúrbio (força que gera mudança no sistema), dessa maneira o alcance tende a gerar modificações morfológicas nos rios. Essa mudança na interação entre processo e forma ao longo de um alcance é entendido como mudança (ou modificação) fluvial. Essa modificação pode ocorrer devido ações naturais ou humanas, podendo ou não ser revertida (FRYIRS; BRIERLEY, 2013).

Para um conhecimento adequado sobre as modificações fluviais é primordial entender que cada ambiente fluvial tem a sua própria evolução ao longo do tempo. Segundo Fryis e Brierley (2013), evolução fluvial diz respeito ao estudo do ajustamento fluvial no decorrer do tempo. De acordo com esses autores, a avaliação da evolução de um rio é nessesária para saber se o ajustamento progressivo indica tendências a longo prazo ou desvios na trajetória evolutiva desse rio.

As respostas dos eventos de distúrbio em relação aos ajustes sobre os tempos geológico e histórico são modeladas de acordo com a análise da evolução de um rio. No decorrer de milhões de anos o ajuste tectônico exerce um controle primário sobre a topografia, determinando a declividade e ajustamento dos vales, que influencia a morfologia de comportamento dos rios, dessa forma os controles geológicos determinam as condições em que os rios operam. Com relação ao tempo histórico, os rios se ajustam às condições climáticas através de centenas ou milhares de anos. As mudanças de origem natural tendem a ser mais lentas que as modificações advindas das atividades antrópicas (FRYIRS; BRIERLEY, 2013).

Os distúrbios de origem humana, gerados a partir das intervenções antrópicas, modificam as condições limite sob as quais os processos fluviais operam. Esses distúrbios não alteram diretamente os processos hidráulicos e geomorfológicos fundamentais da mesma

forma que fazem o transporte de sedimentos, erosão e deposição ao longo dos cursos; porém, modificam a distribuição espacial e as taxas desses processos, o que resulta numa mudança na morfologia do rio. Compreender as atuais formas e processos dos rios são a chave para avaliar as respostas fluviais para diferentes distúrbios de origem humana, a partir de então podem ser feitas previsões sobre como os rios se comportarão futuramente (COSTA et al, 1995).

Os distúrbios antrópicos impactam o regime de fluxo, o regime de sedimento e a distribuição dos elementos de resistência no vale. Os padrões e a intensidade desses distúrbios são influenciados pelos fatores ambientais. A variedade de respostas fluviais aos diversos distúrbios ocorridos devido às intervenções antrópicas em diversas regiões do mundo pode mostrar uma variabilidade natural intrínseca aos sistemas fluviais; as formas, escalas e intensidade dos distúrbios antrópicos sobre um determinado sistema fluvial ou a sensibilidade relativa para gerar distúrbio num sistema fluvial (FRYIRS; BRIERLEY, 2013).

Os distúrbios originados devido às intervenções antrópicas podem ser de dois tipos: diretos ou indiretos. Os distúrbios diretos são aqueles que refletem atividades como: fornecimento de água e geração de energia; ou obras de engenharia estrutural para avaliar os efeitos das inundações. Em suma, são as atividades planejadas que modificam propositalmente o caráter e o comportamento do rio. Como exemplo de atividades humanas que geram distúrbios diretos, pode-se mencionar as barragens e transferências de água entre bacias, os programas de canalização, remoção de vegetação ripária e madeira, e também extração de areia e cascalho. Por sua vez, os distúrbios indiretos dizem respeito aos ajustamentos que surgem como resposta às mudanças de uso da terra que modificam a carga de sedimento do rio ou a descarga; tais distúrbios são intermediados pelas condições limites que afetam o fluxo de água e de sedimentos, ajustando dessa maneira as formas e processos fluviais. Como atividades que provocam distúrbios indiretos pode-se citar, por exemplo, a mineração, a urbanização e as atividades agropecuárias (FRYIRS; BRIERLEY, 2013).

Como exemplo de distúrbio indireto, podem ser citadas as mudanças de uso de solo nas bacias hidrográficas, que geram danos muitas vezes irreversíveis não somente para o sistema fluvial, mas para o ambiente como um todo. A cobertura vegetal é retirada para fins econômicos, muitas vezes sem o devido manejo do solo e não levando em consideração as condições climáticas, geológicas e geomorfológicas da área. Nessa perspectiva, Leite, Santos e Almeida (2011), com a intenção de entender e analisar as características ambientais e também as mudanças de uso da terra na bacia hidrográfica do rio Vieira, realizaram um estudo utilizando recursos do sensoriamento remoto e do SIG comparando os mapeamentos da

bacia entre 1989 e 2009. Descobriu-se que entres as atividades antrópicas realizadas na bacia, a que mais se destacava foi a ocupação por pastagem, correspondendo a mais de 30% da área estudada. Além, disso, a retirada da vegetação para a construção de loteamentos, comprometeu a qualidade da água dos canais e, conseqüentemente, a disponibilidade dos recursos hídricos. Verificou-se ainda que entre 1989 e 2009 ocorreu a expansão da vegetação natural, que, como resultado de políticas públicas, resultaram na implantação de unidades de conservação ambiental (LEITE; SANTOS; ALMEIDA, 2011).

Além disso, sabe-se que as precipitações de alta intensidade favorecem o aumento do escoamento superficial, conseqüentemente impulsionando o aumento do fluxo do canal. Este aumento no fluxo tende a ser de curta duração. Este processo é intensificado com a retirada da vegetação, favorecendo também a produção de sedimentos. A medida que ocorre o aumento da produção de sedimento num rio, sendo a carga de sedimento maior que a descarga, ocorre a deposição de sedimento; ao passo que quando ocorre o inverso disso acontece a erosão (FRYIRS; BRIERLEY, 2013).

É interessante também falar sobre a retificação de canais, que consiste basicamente em mudanças na forma dos canais por meio do aprofundamento ou alargamento da calha fluvial e a remoção dos meandros, tornando o canal retilíneo. Isso acaba gerando diversos impactos, como, por exemplo: mudança no comportamento fluvial, desaparecimento da sinuosidade do canal, possíveis mudanças no padrão de drenagem, modificação no regime de descarga, perda de habitats naturais e diversos outros impactos. A retificação tem como objetivo principal impedir ou minimizar as enchentes em uma planície de inundação (ASSUMPCÃO; MARÇAL, 2012). Os impactos diretos nos canais também podem ser originados a partir da extração de areia dos canais, onde os canais são escavados para que sejam retiradas areia e minerais para fins econômicos. Esse processo acaba gerando impactos por conta da retirada da mata ciliar, de mudança na textura de material do fundo do canal, e também na própria morfologia e dinâmica dos rios (NOBRE FILHO, 2011; SANTOS, 2013). Esses impactos podem ser desencadeados ainda devido a construção de barragens, que consistem em barreiras artificiais cujas principais funções são a produção de energia elétrica, irrigação das plantações, aumento da oferta hídrica para o uso industrial e doméstico, e também para o controle de cheias dos rios. Essas barragens acabam gerando impactos diretos no meio ambiente. A permanente inundação das áreas naturais onde é construído o reservatório acaba destruindo o habitat de diversas espécies, a cobertura vegetal também é totalmente danificada. A construção da barragem afeta também o transporte de sedimentos realizado pelo rio, e dessa

forma, na tentativa de compensar o abastecimento natural de sedimentos, a jusante da barragem o rio inicia o processo de erodir o seu leito, o que causa um aprofundamento e alargamento das margens. A interrupção do fluxo natural de um rio pode modificar as condições químicas e físicas das águas fazendo com que essas águas se tornem impróprias para o uso doméstico e na agricultura. Em regiões semiáridas frequentemente ocorrem problemas relacionados à salinização do solo, pois a escassez de chuvas impede que as águas transportem os sais acumulados no solo (VIANA, 2003).

De toda a água existente no planeta, apenas 0,75% pode ser considerada útil. Sabendo disso, fatores como a escassez de água, a poluição dos recursos hídricos e a desigual distribuição de água potável, tornam as transposições hídricas cada vez mais necessárias em diversas regiões do mundo (MATSUZAKI, 2007). Sobre a gestão de recursos hídricos em regiões semiáridas, Vieira (2003) ressalta:

Nas regiões áridas e semiáridas, a questão da gestão hídrica se torna mais imperativa e necessária, devido à escassez das reservas das reservas naturais de água e, sobretudo, à irregularidade, no tempo e no espaço, das precipitações e escoamentos superficiais (VIEIRA, 2003, p. 6).

As transposições hídricas, que consistem basicamente na transferência de águas fluviais de uma bacia hidrográfica para outra, têm como principal função atenuar os efeitos originados pela baixa oferta de água disponível em cada região. O processo de transposição é milenar, era praticado pelas primeiras civilizações históricas, como os egípcios, por exemplo. Atualmente, países do mundo inteiro utilizam métodos de transposição hídrica (MATSUZAKI, 2007). Em regiões de clima semiárido as transposições são de urgente importância, uma vez que a falta de água nesses lugares é constante (VIEIRA; SANTOS; CURI, 2010). No Brasil, os projetos de transposição, além de amenizar a escassez de recursos hídricos, estão relacionados com o fornecimento de energia elétrica (SEVÁ FILHO, 2005). Podem ser citados vários projetos históricos, como por exemplo, a inversão dos cursos de água do alto curso do Rio Tietê para a Baixada Santista executada na década de 1950, a transposição do rio Paraíba do Sul na mesma década para produzir energia elétrica suficiente para o abastecimento da região metropolitana do Rio de Janeiro, a transposição do rio Piracicaba para a região metropolitana de São Paulo nos anos 70, a transposição de águas do rio Jaguaribe para a região metropolitana de Fortaleza e a transposição de recursos hídricos do rio Paraguaçu para abastecer a região metropolitana de Salvador. Dentre os projetos mais

conhecidos está o famoso projeto que integra as águas do rio São Francisco, fazendo elas chegarem a alguns dos principais canais da região Nordeste (AZEVEDO et al, 2005).

Nos tempos que Dom Pedro II era imperador do Brasil já se falava nessa transposição como forma de amenizar a escassez de recursos hídricos causada pelas secas nordestinas do século XIX. A transposição desse rio voltou a ser levada em consideração com a criação do Departamento Nacional de Obras contra as Secas (DNOCS), criada durante o governo de Getúlio Vargas. O projeto foi repensado no governo de Fernando Henrique Cardoso e começou a ser posto em prática somente no governo posterior, do ex-presidente Luís Inácio Lula da Silva. Atualmente o projeto de transposição do rio São Francisco é de responsabilidade do Ministério de Integração Nacional, onde o objetivo de acordo com esse órgão é garantir o abastecimento de água, até 2025, das cidades das regiões semiáridas dos estados do Ceará, Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte. De acordo com esse projeto, serão construídos dois canais: o Eixo Norte e o Eixo Leste. O primeiro será responsável por transportar água para as áreas semiáridas de Pernambuco, Ceará, Paraíba e Rio Grande do Norte; já o Eixo Leste levará água para parte do Sertão e da região Agreste de Pernambuco e da Paraíba (CASTRO, 2011; SEGUNDO NETO, 2016).

No Eixo Leste está sendo construído o Canal Acauã-Araçagi, responsável por transportar a águas do rio São Francisco para as regiões citadas acima. No caso da Paraíba o canal integrará diferentes bacias hidrográficas e levará águas do semiárido paraibano para as regiões litorâneas e úmidas. O propósito desse projeto se configura na sustentabilidade hídrica das seguintes bacias hidrográficas: rio Paraíba, rio Gurinhém, rio Miriri, rio São Salvador, rio Mamanguape, rio Araçagi e rio Camaratuba. Os impactos ambientais causados pela obra podem ser os mais diversos, como, por exemplo, assoreamento e erosão nos rios, mudanças relacionadas aos perfis dos solos, inundação mudando a configuração da paisagem, mudanças hidrogeológicas, alteração na permeabilidade do solo, modificação relativa a qualidade da água e também a destruição de habitats naturais com conseqüente migração da fauna terrestre (SEGUNDO NETO, 2016).

Segundo o Ministério da Integração Nacional, em março de 2017 as águas do São Francisco chegaram aos estados de Pernambuco e Paraíba, pondo em funcionamento o Eixo Leste. Sertânia (PE) e Monteiro (PB) foram as primeiras cidades a serem beneficiadas com as águas da transposição. Seis estações de bombeamento do eixo citado estão em funcionamento. São elas: EVB-1, 2, 3, 4, 5 e 6. Estão localizadas entre Floresta, Custódia e Sertânia – municípios de Pernambuco. Essas águas já percorreram os 217 quilômetros dos canais e

estruturas que compõem o Eixo Leste, chegando no leito do Rio Paraíba, em Monteiro (PB). No mês seguinte o município de Campina Grande também começou a ser beneficiado pelas águas do São Francisco (MINISTÉRIO DE INTEGRAÇÃO NACIONAL, 2017).

### 3.3 CLASSIFICAÇÃO DE CANAIS E ESTILOS FLUVIAIS

Para compreender a dinâmica comportamental dos rios são necessárias as classificações, que por sua vez, já eram utilizadas na década de 1940 por William Davis, e três décadas depois passaram a ser incorporadas, pensando-se nas mudanças naturais e antrópicas, nos canais fluviais (MAIA, 2016). A redução de complexas unidades de estudo em unidades simples que facilitem o entendimento da dinâmica dos canais fluviais constitui um dos objetivos da classificação de canais fluviais, de acordo com a geomorfologia fluvial (FERNANDEZ, 2016)

Ao longo do rio, o leito desenvolve certos arranjos espaciais. Nesse sentido, os tipos de canais correspondem à maneira que esses arranjos se padronizam. Leopold, Wolman e Miller (1964) consideram que os tipos de padrões de canais mais importantes e que devem ser especialmente estudados são: os retilíneos (*straight*), os entrelaçados (*braided*) e os meandantes (*meandering*). Segundo esses autores, raramente o padrão de arranjo de um canal permanece retilíneo se percorrer uma distância de aproximadamente dez vezes a largura do canal, e dessa forma os canais podem ser retilíneos irregulares, sinuosos e não sinuosos. Eles afirmam também que não há uma distinção muito perceptível entre os padrões citados, portanto é necessário calcular a razão entre o comprimento do canal e a distância descendente. De acordo com Bigarella, Suguio e Becker (1979), a geometria dos canais é de fundamental importância para a classificação de canais fluviais e visualizando o canal a partir do seu perfil longitudinal é possível perceber os padrões retilíneos, entrelaçados e meandantes. Sobre esses tipos de canais, Maia (2016) comenta:

Esses tipos de canais resultam da carga líquida, profundidade do canal, rugosidade do leito, velocidade do fluxo e carga sedimentar, assim a inter-relação desses elementos irá condicionar a tipificação desses canais (MAIA, 2016, p. 25).

Os canais do tipo retilíneo são menos sinuosos (sinuosidade diz respeito ao grau de meandramento dos rios) e ocorrem com menos frequência que os demais, porém o talvegue tende a ser sinuoso por conta do surgimento de barras laterais localizadas de forma alternativa

nas margens dos canais (BIGARELLA; SUGUIO; BECKER, 1979; GUERRA, 2008). Bigarella, Suguio e Becker (1979), complementa dizendo:

O fluxo e o modelo deposicional dos canais retilíneos são semelhantes aos canais meandrantos, caracterizados por baixo volume de carga do fundo, alto volume de carga suspensa e declividade acentuadamente baixa. A erosão ocorre ao longo das margens mais profundas e a deposição nas barras de sedimentos. Este padrão é bem desenvolvido em planícies deltaicas de deltas construtivos (BIGARELLA; SUGUIO; BECKER, 1979, p. 22).

Percebe-se, dessa maneira, que apesar das diferenças existentes entre os tipos de canais, que os tornam distintos entre si, existem também características e processos que ocorrem em mais de um tipo de canal, tornando-os, de certa forma, semelhantes.

De acordo com Graf (1988), conforme citado por Souza e Corrêa (2012), em terras secas, os canais retilíneos surgem por conta do controle litológico das margens e da alta declividade que surge nas proximidades das cabeceiras dos rios.

Além dos canais retilíneos existem também os entrelaçados, que são caracterizados pela ocorrência de ramificações consecutivas e reencontros em seus cursos, o que causa o desmembramento entre ilhas assimétricas e barras arenosas; estas últimas são responsáveis por fragmentar o canal fluvial em diversos canais em períodos secos, e durante os períodos de cheias tendem a ficar submersas. Os canais entrelaçados são bastante largos e pode-se dizer que o seu padrão é determinado por quatro fatores: condições climáticas, natureza do solo, cobertura vegetal e gradiente. Com relação às condições climáticas, sabe-se que canais entrelaçados podem surgir em climas áridos ou semiáridos com fortes precipitações e também em climas frios com violentas nevadas e rápido degelo. Sobre o segundo, é necessário pontuar dizendo que em solos impermeáveis existe dificuldade de infiltração da água das chuvas e devido ao suprimento contínuo de água no subsolo, ocorre um escoamento mais rápido. Por conta do intenso escoamento superficial a presença de uma cobertura vegetal pouco desenvolvida. Por fim, com relação ao gradiente, pode-se dizer que ele é significativo quando a declividade é bastante saliente, e que o gradiente alto e um significativo volume de carga de fundo caracterizam um canal entrelaçado (BIGARELLA; SUGUIO; BECKER, 1979; GUERRA; CUNHA, 1994).

É importante salientar que no livro *Ambiente Fluvial*, Bigarella, Suguio e Becker (1979) denominam os canais entrelaçados como anastomosados. Porém, hoje se sabe que isso é inapropriado, pois os dois tipos de canal são distintos. Assim como os canais entrelaçados,

os canais anastomosados também são multicanais, no entanto, na maioria das vezes estes últimos surgem em ambientes de baixa energia próximo a um determinado nível de base. Pode-se dizer, desta forma, que os canais anastomosados são compostos por dois ou mais canais interligados que incluem as bacias de inundação. Os canais entrelaçados, no entanto, se caracterizam pela divisão de canais formando canais convexos em forma de barras (MAKASKE, 2001). Ainda sobre canais anastomosados, de acordo com Goudie (2004), eles ocorrem nos alcances dos rios onde a textura do material é fina, ou em bacias de deposição, pelo fato de a acreção vertical ser mais rápida e o potencial de preservação ser maior. Tendem a possuir canais fixos que se agregam unicamente com uma limitada migração lateral. Este mesmo autor define os rios entrelaçados dizendo que o que os caracteriza é a presença de múltiplos canais ativos; eles se dividem e se juntam formando um padrão de segmento de canais suavemente curvados e separados por barras expostas.

Com relação aos canais meandrantés, sabe-se que eles ocorrem frequentemente em áreas úmidas com vegetação ciliar e que possuem apenas um canal, com curvas semelhantes e harmoniosas. O estágio inicial do meandramento é retratado pela elaboração da sequência de depressões (*pools*) e umbrais (*riffles*) no decorrer do leito fluvial, o que delimita as margens de deposição e de erosão. As seções transversais dos canais meandrantés são desiguais e transportam predominantemente sedimentos finos (GUERRA; CUNHA, 1994). O padrão meandrante é comum em rios com gradiente razoavelmente baixo, e fluxo contínuo e regular. Os canais que possuem esse padrão transportam materiais de granulação fina e selecionada (BIGARELLA; SUGIO; BECKER, 1979).

Existem algumas diferenças entre os canais anastomosados e os meandrantés. A capacidade de transporte dos canais meandrantés é menor, se comparada a capacidade dos canais anastomosados (BIGARELLA; SUGIO; BECKER, 1979). Os rios que possuem o padrão meandrante possuem somente um canal, ao passo que os rios de padrão anastomosado têm múltiplos canais. Isto ocorre devido estes rios transportam grandes quantidades de material grosseiro formando um obstáculo natural que gera a ramificação do rio em diversos canais (CHRISTOFOLETTI, 1980). O perfil transversal dos canais meandrantés são desiguais, levando em consideração a evolução das curvaturas e nos pontos de máxima curvatura são assimétricos; ao passo que em canais entrelaçados, o perfil longitudinal é largo, raso, simétrico e possui concavidades moderadamente profundas e saliências irregulares (GUERRA; CUNHA, 1994).

Além das classificações de canais citadas acima existem muitas outras. Como já citado anteriormente também, Leopold e Wolman (1957; 1964) tiveram o êxito de reunir informações básicas sobre os padrões de drenagem retilíneos, anastomosados e meândricos. Baseado no nível de sinuosidade, que consiste na relação entre os comprimentos do talvegue e do vale, Schumm (1963) classificou os canais em: meandrante (tortuoso, irregular e regular), transicional e reto. Dury (1969) propõe a classificação dos padrões de drenagem dividindo-os em sete tipos: meandrante, anastomosado, reto, deltaico, ramificado, reticulado e irregular. A classificação de Chitale (1970) foi um pouco diferente, e se baseia nos canais únicos e múltiplos. Os canais únicos são compostos pelos padrões do tipo: reto, sinuoso, meandrante e tortuoso. Já os canais múltiplos são formados pelos padrões: ramificado, anastomosado, reticulado, deltaico e labiríntico em trechos rochosos). Além desses autores, Kellerhals et al. (1976) também contribuiu bastante com a sua classificação, onde além de considerar os padrões dos canais, leva em consideração também a presença de ilhas, bancos e de rugosidades no fundo do leito do canal.

Dessa forma, o padrão de canais contém: canal reto, com pouca curvatura; canal sinuoso, com pequena curvatura; canal irregular, sem repetição do padrão; meandro regular; meandro tortuoso. Com relação ao aparecimento de ilhas a ocorrência pode ser: ocasional, com o espaçamento com dez vezes a largura do canal ou mais; frequente, com espaçamento menor do que dez vezes a largura do canal; separada; anastomosada. Quanto aos bancos, a classificação envolve: banco lateral; cordão marginal convexo; banco de confluência; banco central; banco em losango; banco diagonal; ondas de areia (GUERRA; CUNHA, 1994).

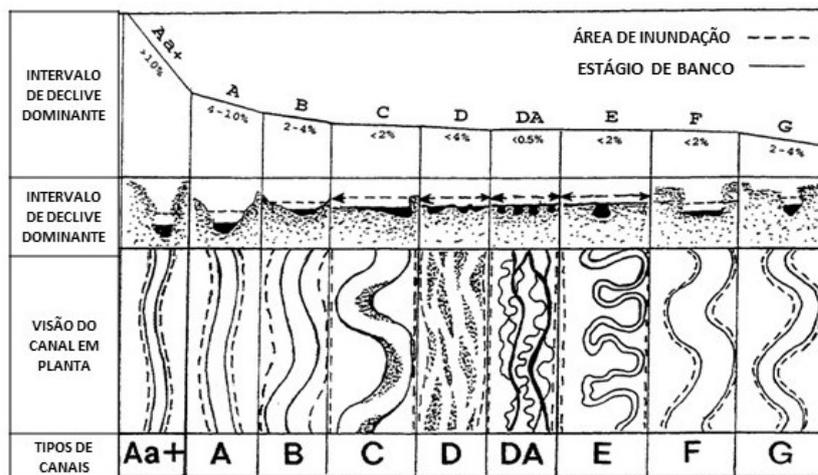
Além das classificações clássicas existem também as mais recentes, com destaque para a classificação Rosgen (1994), que tem sido bastante utilizada nos estudos que tratam de sistemas fluviais. Essa classificação trata da interpretação da morfologia do canal, onde este está intrinsecamente relacionado com as características de fluxo do canal (MAIA, 2016; ROSGEN, 1994).

Para Rosgen (1994), a classificação dos rios consiste basicamente em organização dos dados das características de fluxo através de combinações moderadas, onde essa organização deve ser proporcional ao objetivo do plano inicial. Por conta da variação desse objetivo, a hierarquia dos sistemas de classificação favorece a organização dos dados de inventário de fluxo em níveis de resolução, onde cada nível deve ter interpretações coerentes que expressem a especificidade do inventário. De acordo com esse autor, as características dos tipos de fluxos juntamente com as descrições gerais devem ser fragmentadas em níveis mais

específicos, onde estes têm o propósito de indicar alguns fatores tais como o potencial de fluxo e a estabilidade, com o intuito de responder dados e interpretação de resoluções maiores após a mudança de necessidade do planejamento.

A partir da classificação, que consiste basicamente em caracterizar a morfologia do canal com o intuito de classificar os sistemas fluviais, é possível, dentre outros fatores, prever o comportamento fluvial. É nessa linha de pensamento que Rosgen apresenta a caracterização “nível 1”, que tem a finalidade de caracterizar a morfologia do canal levando em consideração as características do relevo, a intervenção climática e os recursos dos rios. Dando continuidade, esse autor classifica em classes os canais fluviais, os quais seguem seus cursos de acordo com o perfil longitudinal. As classes Aa+, A, B, C, E, F e G, apresentam um único canal; e as classes D e DA, possuem múltiplos canais (ROSGEN, 1994).

**Figura 1: Visão longitudinal, transversal e em planta dos principais tipos de rios.**



Fonte: Adaptado de Rosgen, 1994.

Os padrões de fluxo do tipo Aa+ são bastante íngremes, tendem a transportar muito sedimento em seus fluxos, ao passo que o tipo A possui não é tão íngreme e apresenta cascatas. O tipo B é formado por corredeiras raramente espaçadas e situam-se em curvas de contração. Diferentemente dos padrões citados, os padrões do tipo C, DA, E e F possuem gradiente suave. O tipo G assemelha-se a voçorocas. Por fim, o tipo D são canais trançados de processo de convergência ou divergência. Dessa forma, o padrão dos rios é classificado como relativamente direto ou simples (tipo A), baixa sinuosidade (tipo B), sinuoso (tipo C), tortuoso/sinuoso (tipo E). Os padrões entrelaçados (tipo D) e anastomosados (DA), fazem parte dos complexos padrões que são encontrados em canais múltiplos (ROSGEN, 1994; MAIA, 2016).

A classificação de Rosgen (1994) tem sido usada amplamente. Em Portugal, no rio Neiva, ela foi aplicada por Oliveira e Alvez (2011), com o objetivo de analisar a morfologia e a dinâmica do rio Neiva. Descobriu-se que a classificação de Rosgen não é aplicável a este rio, pois os critérios desta classificação não foram atendidos pela maioria das áreas analisadas. Ela também foi aplicada na bacia hidrográfica do rio Oswego, Estados Unidos, por Epstein (2002). Neste rio ocorrem desvios na sequência natural e nos seus afluentes devido à intervenção antrópica, como construção de barragens e pontes. No Brasil também existem trabalhos que a utilizam. Fernandez (2016) aplicou essa classificação em córregos da região oeste do estado do Paraná, onde foi usado nível II da classificação de Rosgen (1994), onde os nove tipos de canais apresentados no nível I (Aa+, A, B, C, E, F, G, D e DA) são previstos numa divisão em noventa e quatro subtipos baseados no padrão fluvial, grau de entricheiramento do canal, relação entre largura e profundidade, índice de sinuosidade, declividade do fluxo e material de fundo. Foram estudados dezoito trechos, onde doze foram classificados nos subtipos E4, E5 e G5c. Nos outros seis canais não houve classificação devido à falta de enquadramento das variáveis sinuosidade e declividade dentro dos limites da vigente classificação.

Buscando uma nova forma de classificação fluvial os pesquisadores Gary J. Brierley e Kristie Fryirs, na Austrália e Nova Zelândia, no ano 2000, desenvolveram o método dos Estilos Fluviais (*River Styles*), que consiste basicamente na classificação dos segmentos dos rios, onde esses segmentos apresentam um conjunto comum de características geomórficas e hidrológicas; o principal objetivo desse método é compreender a dinâmica dos rios (MAIA, 2016).

A abordagem dos Estilos Fluviais fornece um modelo geomórfico onde, dentro do contexto da bacia, são avaliadas as relações temporais e espaciais dos processos biofísicos. Os Estilos Fluviais têm a função de registrar o caráter e o comportamento do rio. Além disso, essa abordagem também é usada na identificação de características geomórficas raras e que devem ser preservadas (BRIERLEY et al, 2002).

Levando em consideração uma bacia hidrográfica, os Estilos Fluviais dizem respeito a um grupo de informações de ordem física e ambiental, considerando as ações antrópicas, onde a partir dessas informações é possível caracterizar o comportamento dos rios. Dessa forma, torna-se factível a identificação das relações entre as formas e processos existentes onde o rio está localizado (MAIA, 2016).

A abordagem dos Estilos Fluviais possui quatro estágios. O primeiro trata da determinação da escala de alcance do comportamento e do caráter do rio. O relevo que constitui um determinado alcance oferece a chave para a interpretação dos processos que dão origem a cada característica, e essas características recebem o nome de unidades geomórficas. Assim, assembleias características de unidades geomórficas erosivas e deposicionais podem ser encontradas em compartimento de canais ou de planícies de inundação. A abordagem dos Estilos Fluviais é uma ótima ferramenta de aprendizagem, onde a montagem de unidades geomórficas ao longo de qualquer alcance é o fator determinante para o tipo de rio. A partir de então, se novas características ou combinações de características forem observadas, o rio passa a ser caracterizado como um novo tipo (BRIERLEY, 2008).

Ainda de acordo com o primeiro estágio, os Estilos Fluviais podem ser identificados de acordo com o tipo de vale, sendo eles: confinados, semiconfinados e não confinados. Os primeiros dizem respeito àqueles onde praticamente não ocorre a presença das planícies de inundação ao longo do rio. Os vales semiconfinados são aqueles nos quais ocorre a presença das planícies de inundação em alguns trechos e não em outros, e por fim, os vales onde existe a predominância de planícies de inundação em quase todo o trecho do rio recebem o nome de vales não confinados (BRIERLEY; FRYIRS, 2005).

Com relação ao segundo estágio, sabe-se que consiste na análise das condições geomórficas dos rios, avaliando a presente condição de alcance de algum Estilo Fluvial em relação a uma condição de referência. Para a avaliação dessas condições deve ser usado algum critério importante para o tipo de rio analisado. A configuração dos princípios é registrada para que os pesquisadores consigam usar os critérios apropriados para o tipo de rio que irão trabalhar. Dessa forma, os procedimentos são realizados analisando assim os padrões das condições fluviais na bacia, reconhecendo a distribuição dos bons padrões de alcance e também os padrões fluviais correspondentes aos distúrbios (BRIERLEY, 2008). Sabendo que cada Estilo Fluvial registra o caráter e comportamento dos alcances, no segundo estágio realiza-se a comparação desses alcances num mesmo Estilo Fluvial fornecendo a base para a avaliação das condições fluviais. Assim, é fornecida uma plataforma onde as mensurações da condição fluvial são avaliadas de maneira consistente, assegurando os critérios necessários. A condição do rio é analisada levando em consideração a forma do canal, a geometria do canal, o caráter do leito e também da unidade geomórfica no decorrer de um alcance (BRIERLEY; FRYIRS, 2005).

O terceiro estágio está ligado a previsão de uma futura condição fluvial com base na análise da recuperação potencial, e essa recuperação pode ser entendida como uma trajetória onde a mudança é direcionada em direção à melhoria. A recuperação dificilmente está ligada a um processo estável, ordenado e progressivo; além disso, a trajetória futura de recuperação está subordinada às condições de alcance, às condições de limite de fluxo e também à história de mudança, ou seja, se houve mudança geomórfica sem possibilidade de voltar ao seu estado natural. Assim, quanto mais baixa a escala de degradação, menos provável será a recuperação no decorrer do caminho de restauração. Aqueles alcances que sofrido mudanças geomórficas reversíveis possuem o potencial de recuperação ao longo do caminho (BRIERLEY; FRYIRS, 2005).

Finalmente, o quarto estágio visa estratégias de gestão para a reabilitação e conservação dos rios. Essas estratégias ecologicamente sustentáveis serão alcançadas a partir de procedimentos levando em consideração o comportamento natural dos rios, colocando em prática ações que visem conservar e recuperar os ambientes fluviais. Para que se consiga a recuperação do rio é fundamental entender o caráter, o comportamento, a condição e o potencial de recuperação dele. Os *insights* para a reabilitação fluvial são usados nas escalas de alcance, nas bacias e sub-bacias, baseado nas previsões de possíveis mudanças futuras e relacionadas com os insights do potencial de recuperação geomórfica de um rio (BRIERLEY; FRYIRS, 2005).

Vistos esses quatro estágios, é necessário ressaltar que a identificação e caracterização dos Estilos Fluviais não se resume apenas a avaliação visual de um determinado trecho, e sim uma compreensão básica de como o rio se comporta, de acordo com o ajuste do vale (BRIERLEY et al, 2002).

A abordagem metodológica dos Estilos Fluviais, desenvolvida na Austrália e na Nova Zelândia pelos pesquisadores Gary Brierley e Kristie Fryirs, tem sido utilizada em outros países, inclusive no Brasil.

Brierley e Fryirs (2000) usaram inicialmente a abordagem dos Estilos Fluviais na bacia do rio Bega, em New South Wales, Austrália. Perceberam que a bacia apresenta cinco unidades de paisagem: Planalto, escarpa, base de escarpa, contraforte e planície. Além disso, foram identificados nove Estilos Fluviais na bacia do Bega, classificando os canais em: Cabeceira de Drenagem, Garganta, Corte de preenchimento, Planície de Acreção Vertical, Leque aluvial, transição, Leque terminal, transferência e acumulação de planície de inundação.

Na Nova Zelândia, Reid e Brierley (2015) utilizaram essa mesma abordagem na bacia do rio Tongariro, relacionando com a capacidade de ajuste. Foram identificados quatro estilos fluviais (parcialmente confinado, wandering, leito de blocos, não confinado; entrelaçado, leito de cascalho, meandrante, leito arenoso, multicanais, e delta arenoso) ao longo do baixo curso do rio Tongariro, e com base nisso, cada estilo fluvial foi classificado como Alto (H), Moderado (M) e Baixo (L). Descobriu-se também que cada tipo de Estilo Fluvial apresenta diferente capacidade de ajuste.

No Brasil os Estilos Fluviais têm sido aplicados em diversos tipos de ambientes. Em Morretes, município do estado do Paraná, Kleina, Paula e Santos (2014) realizaram um trabalho de comparação de Estilos Fluviais. O objetivo foi realizar a análise comparativa dos Estilos Fluviais existentes no rio Sagrado, comparando os anos de 2006 e 2011, onde foram identificadas sete modalidades de Estilos Fluviais, sendo eles: Sinuoso de Vale Confinado, Sinuoso de Vale Parcialmente Confinado, Canal Irregular sem Deposição, Meandros Irregulares com Deposição, Meandros Tortuosos com Deposição, Sinuoso com Deposição e Sinuoso sem Deposição.

Lima e Marçal (2013), a partir da metodologia de classificação dos Estilos Fluviais, efetuaram a avaliação da bacia do rio Macaé, no Rio de Janeiro. Eles conseguiram identificar cinco distintos compartimentos geomorfológicos, sendo eles: Planícies Fluviais, Colinas, Morros, Morfologias de Transmissão e Escarpas Serranas. Além disso, sete Estilos Fluviais também foram reconhecidos: Cabeceiras Íngremes, Alargamentos Ocasiais em Vales Confinados, Garganta, Córregos Pedregosos, Vales Sinuosos, Meandros Arenosos e Retificado.

Com relação ao semiárido brasileiro, também existem alguns trabalhos que aplicam a abordagem dos Estilos Fluviais. Souza, Barros e Correa (2016) realizaram um trabalho na bacia hidrográfica do Riacho do Saco, no semiárido pernambucano, com o objetivo de identificar e fazer a descrição dos Estilos Fluviais existentes nessa área analisando o comportamento de cada um dos estilos. Foram encontrados sete tipos de Estilos Fluviais, sendo eles: Cabeceira de Drenagem, Canal em Garganta, Canal Entalhado em Voçoroca, Canal Rochoso com Planície Descontínua, Leque Fluvial, Canal Arenoso Descontínuo e Vale Preenchido Conservado. Descobriu-se também que o transporte de sedimento de fundo na bacia do Riacho do Saco tem sido afetado por conta do isolamento de áreas gerado pelos processos de agradação, estocagem de sedimentos e preenchimento de fundo de vale.

Na intenção de identificar e caracterizar os Estilos Fluviais da bacia do Riacho do Tigre, no semiárido paraibano, Maia (2016), usou no seu trabalho a metodologia dos Estilos Fluviais. Diferentemente do trabalho citado anteriormente, Rachel identificou oito diferentes tipos de Estilos Fluviais. São eles: Estilo Fluvial de Canais Entrelaçados, Estilo Fluvial de Vale Preenchido, Estilo Fluvial de Canal Arenoso de Planície Descontínua, Estilo Fluvial de Canal Semi-confinado com Controle de Afloramento Rochoso, Estilo Fluvial de Cabeceiras Íngremes, Estilo Fluvial de Canal em Garganta, Estilo Fluvial de Canal Arenoso com Soleira Rochosa e Estilo Fluvial de Canal Arenoso Confinado.

### 3.4 CAPACIDADE DE AJUSTE E SENSITIVIDADE DA PAISAGEM

A capacidade de ajuste de um rio denota a capacidade que ele tem de se adaptar às mudanças na vazão. Por exemplo, espera-se que um rio sinuoso (que possui muitas curvaturas) se ajuste lateralmente e que surjam formação de bancos de erosão nos bancos côncavos das curvas, levando em consideração que o deslocamento do talvegue é um atributo de um rio trançado. São esses ajustes que geram os distúrbios que uma variedade de habitats para os diferentes tipos de rios. É importante frisar que alguns rios são naturalmente impulsionados por um limiar de mudança (que é o limite que gera a mudança quando ultrapassado) e sensíveis aos ajustes, ao passo que outros ajustam-se aos poucos e podem ser considerados resilientes (capazes de retornar ao estado de equilíbrio) para mudar no decorrer de longos anos (FRYIRS; BRIERLEY, 2009).

A capacidade de ajuste está intrinsecamente ligada ao comportamento do rio. Desse modo, para se analisar o comportamento fluvial é necessário considerar como os diferentes tipos de rios se ajustam ou são capazes de se ajustar, determinando assim o regime comportamental de alcance fluvial. Os rios, portanto, se ajustam o tempo todo aos distúrbios e fluxos intensos de água e de sedimentos. Esses ajustes podem ser de três tipos: vertical, lateral e geral (*wholesale*). O primeiro aponta para a estabilidade vertical do rio; o ajuste lateral diz respeito à capacidade que o canal tem de alterar as suas margens; e o terceiro, por fim, refere-se à taxa de alteração na posição e forma do canal em relação ao fundo do vale (*valley floor*). Assim, com a análise dos ajustes vertical, lateral e geral é possível estabelecer o regime comportamental fluvial. Além disso, é importante saber que a capacidade de ajuste de um rio definirá se um distúrbio gerará algum tipo de ajustes em suas formas. Isso é determinado pela

interação entre a energia do fluxo de erosão e a organização dos elementos de resistência no decorrer de um alcance (FRYIS; BRIERLEY, 2013).

Como se sabe, as atividades humanas têm influência determinante no comportamento fluvial. Nesta perspectiva, vale salientar que os diferentes tipos de rios respondem de maneira diferenciada às diversas formas de intervenções humanas. O desmatamento removendo madeira e vegetação de forma geral facilita o ajuste do canal. Por exemplo, a regulação do fluxo de um rio tende a reduzir a capacidade de ajuste dele. Algumas vezes as perturbações humanas podem gerar a modificação da taxa e padrão de ajustes geomórficos (FRYIRS; BRIERLEY, 2009).

A migração lateral dos canais, um dos principais fatores estudados relacionados à capacidade de ajuste, pode ocorrer por diversos fatores. No caso de uma desembocadura (foz), são as forças que controlam um sistema de desembocaduras que determinam a migração ou permanência do canal. Dessa forma, se uma desembocadura estiver disposta em barreiras arenosas os canais tendem a migrar mais facilmente. A largura do canal e as descargas fluviais são fundamentais para compreender a dinâmica da migração de canais (SIEGLE; SCHETTINI, 2006; CASSIANO; SIEGLE, 2010).

Devido às ações naturais e antrópicas, ocorre não apenas a migração lateral dos canais, mas também outros impactos como modificações na morfologia dos canais fluviais. São muitas as ações antrópicas que modificam a morfologia dos canais. Como exemplo podem ser citadas as alterações causadas por obras de engenharia em áreas urbanas e modificações por conta da construção de barragens em áreas rurais. No caso das áreas urbanas, são realizadas diversas obras onde os canais fluviais naturais são canalizados, sendo modificada a sinuosidade dos canais e alterando assim os processos hidrológicos dos canais. A alteração na morfologia dos canais influencia a alteração nos fluxos fluviais. Além das canalizações, existem também as modificações causadas devido a construção de barragens. Neste caso o fluxo das águas dos canais é interceptado, afetando o transporte de sedimentos, a vazão e a velocidade do fluxo, e alterando a morfologia dos canais. Dessa forma, os ajustes à jusante das barragens tendem a ter início com a erosão do canal, ocorrendo o rebaixamento do leito e a transferência de sedimentos perto da barragem (OLIVEIRA; VESTENA, 2012; SIQUEIRA, 2013).

É importante considerar também que os rios que possuem uma boa capacidade de ajuste tendem a modificar com facilidade o caráter do leito, a morfologia do canal, as unidades geomórficas e a planta do canal; pois esses sistemas possuem a capacidade de

responder aos eventos de maneira rápida e são sensíveis a modificações externas e internas. Em contrapartida, aqueles rios que não possuem uma capacidade de ajuste limitada geralmente não causam respostas morfológicas às perturbações (BRIERLEY; FRYIRS, 2005).

A seguir, antes de entender o significado do termo sensibilidade da paisagem, é necessário saber o conceito de estabilidade da paisagem, que diz respeito à interação existente entre as resistências e os distúrbios presentes nas paisagens (BARROS; SOUZA; CORRÊA, 2010). Sabendo disso, é possível compreender a ideia de sensibilidade da paisagem, proposta por Brundsen (1996, 2001). Segundo este autor, a sensibilidade da paisagem implica na possibilidade de mudança nos controles do sistema e nas forças que estão sendo aplicadas sobre ele, de forma que conseqüentemente essa mudança gera respostas sensíveis e complexas no sistema. Assim, a sensibilidade da paisagem aponta as áreas mais susceptíveis às mudanças por conta de alterações no sistema. Sobre este assunto, Souza (2011) ressalta:

A sensibilidade da paisagem surge como uma organização lógica, conceitual, terminológica e metodológica de várias questões abordadas na geomorfologia. Organizando uma série de informações que possibilitam uma análise multivariada das questões relacionadas com mudanças nas paisagens, como também apresenta respostas complexas às mudanças (SOUZA, 2011, p. 46).

Não existem muitos estudos sobre sensibilidade da paisagem feitos no Brasil. Com relação a isto, este mesmo autor argumenta que:

No Brasil o conceito de sensibilidade da paisagem é ainda pouco difundido e trabalhado, sendo escassos os trabalhos que abordam de alguma maneira essa temática, normalmente ao falar da necessidade de realizar estudos a partir da abordagem da sensibilidade (MATTOS e PEREZ FILHO, 2004; CORRÊA e AZAMBUJA, 2005; SILVA e CORRÊA, 2007; VASCONCELOS, SOUZA et al., 2007; SOUZA, CORRÊA e BARROS, 2008; CORRÊA, SILVA et al., 2009) ou aplicando algumas das características levantadas pela sensibilidade da paisagem (THOMAS, 2002; BARROS, SOUZA e CORREA, 2010) (SOUZA, 2011, p. 52).

Sabendo disto, é importante considerar que avaliação da sensibilidade da paisagem constitui um fator essencial para um melhor planejamento e gestão dos recursos hídricos das bacias hidrográficas (ABREU et al, 2002). Além disso, para uma efetiva compreensão dessa sensibilidade é indispensável levar em consideração as resistências do sistema, analisando também os processos de retroalimentação operantes no sistema (SOUZA; CORRÊA, 2015). Uma compreensão adequada sobre a sensibilidade da paisagem possibilita a identificação de

pontos de mudança, processos de retroalimentação no sistema, que são de suma importância para fazer uma análise sobre o que pode ocorrer futuramente. As áreas que apresentem uma alta sensibilidade se caracterizam por possuir uma declividade média, cobertura formada por colúvios (material transportado por efeito gravitacional) e também pela remoção da vegetação primária. Essas áreas podem ser identificadas geralmente quando há a presença de voçorocas (SOUZA; CORREA, 2014).

É importante não confundir Sensitividade da Paisagem com Sensibilidade Ambiental, pois ambos os termos possuem significados diferentes. O primeiro diz respeito a imensa aptidão da paisagem em apontar mudanças nas formas de relevo e também na absorção dos impulsos gerados pelas mudanças verificadas no sistema. A Sensibilidade Ambiental, diferentemente do primeiro, se refere a sensibilidade das áreas levando em consideração ao derramamento de óleo (principalmente petróleo) tanto no oceano quanto em ambientes costeiros (VILLAS BOAS; MARÇAL, 2013; BRUNSDEN, 2001; MICHEL; HAYES; BROWN, 1978).

As mudanças que ocorrem no solo influenciam de forma significativa a sensibilidade da paisagem, principalmente as que dizem respeito ao uso da terra devido às atividades antrópicas. A agricultura tem sido uma das atividades que mais favorecem esse processo. Também é importante levar em consideração a cobertura vegetal, pois uma vez que a vegetação é danificada, o solo pode também sofrer alterações, tendo em vista que a vegetação protege aquele solo (GRIEVE, 2001). Ainda em relação a cobertura vegetal, é interessante considerar que fatores que influenciam as comunidades de plantas são responsáveis por mudanças na paisagem, influenciando a cobertura vegetal, que por sua vez interage com o solo. Esses fatores podem ser naturais, como mudanças climáticas, por exemplo, ou antrópicos, como o desmatamento (MILNE; HARTLEY, 2001). Essa interação intervém na sensibilidade da paisagem, que para ser entendida é necessário considerar as escalas espacial e temporal.

Com relação a isso, Fryirs, Spink e Brierley (2009) trabalham com as duas escalas ao mesmo tempo, analisando a sensibilidade e o ajuste fluviais na bacia superior do rio Hunter, em New South Wales, Austrália, numa escala temporal iniciando com a colonização europeia e indo até o ano de 2009. Na avaliação da sensibilidade do rio à mudança foram levadas em consideração a distribuição espacial e também o tempo necessário para cada tipo de ajuste acontecer. Com relação aos ajustes, a maioria foi classificada como não uniformes e localizados com rios resistentes a mudanças com capacidade de ajuste limitada. Ainda dentro de uma perspectiva escalar, pode ser citado também o trabalho de Thomas (2004), que trata da

sensitividade da paisagem levando em consideração áreas tropicais no tempo geológico quaternário. Segundo este autor, as mudanças são registradas no gelo e também nos oceanos tropicais, com períodos de rápido aquecimento seguido de resfriamento, podem influenciar nas respostas da paisagem. Com isso, mudanças de curto prazo podem ocorrer por conta de falhas na declividade, sedimentação e inundações, fazendo com que ocorra um significativo atraso na reorganização do sistema fluvial, podendo levar até milhares de anos. E nesse período ocorrem mudanças na cobertura vegetal. Isso pode influenciar os padrões regionais de mudanças climáticas e também a sensitividade da paisagem, ajudando a entender impactos de mudanças ambientais rápidas.

A sensitividade do rio aponta para a natureza e a taxa de ajuste do canal, e pode ser entendida analisando como o canal responde sensitivamente aos distúrbios. Se ele responder rapidamente é classificado como sensitivo, porém se as respostas forem consideradas inconstantes e irrelevantes é considerado resistente a mudanças. Atentando a isso, é importante destacar que os alcances sensitivos são submetidos as altas taxas de ajuste que surgem em resposta aos estímulos. Em contrapartida, os alcances que estão tentando voltar ao seu estado de equilíbrio possuem a capacidade de impedir a mudança, absorvendo parte da energia e também amenizando a extensão do ajuste em resposta aos estímulos. Dessa forma, a sensitividade fluvial serve como um importante instrumento na avaliação dos ajustes do rio e também na gestão de recursos hídricos (REID; BRIERLEY, 2015; BRIERLEY; FRYIRS, 2005).

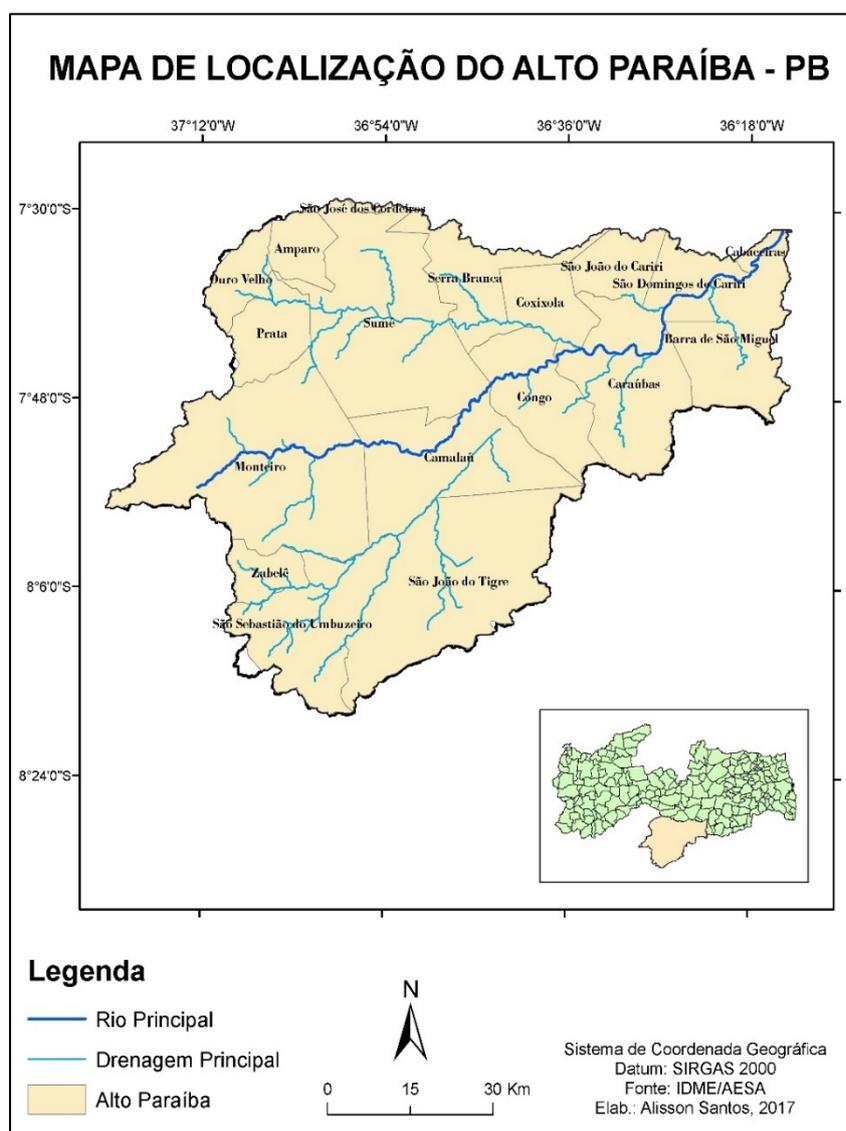
Com relação a trabalhos sobre sensitividade da paisagem realizados no Brasil, podem ser citados o estudo executado por Souza e Corrêa (2015) e o trabalho realizado por Kleina (2016). O primeiro trata da análise da sensitividade da paisagem feita na bacia do riacho do Saco, em Pernambuco, tentando identificar as áreas com maior probabilidade de sofrer mudanças. Neste trabalho foram identificadas apenas as áreas que apresentam uma alta sensitividade, as quais são geralmente caracterizadas por fatores como: presença de voçorocas, concentração de fluxo e falta de cobertura vegetal. Já o estudo realizado por Kleina (2016), também tratou de analisar a sensitividade da paisagem, porém na bacia do rio Sagrado, no Paraná. Foram identificados também os pontos que mais sofreram ajustes fluviais, a partir da divisão do perfil longitudinal em três partes: terço superior, médio e inferior. Kleina analisou ainda a concentração da erosão no rio; dessa forma, os trechos que apresentaram acréscimo de cinco metros ou mais de largura caracterizaram os que mais sofreram processo de erosão. O fluxo acumulado e a conectividade fluvial também foram

estudados. Por fim, o terço inferior e médio do rio Sagrado foi classificado como trechos de alta sensibilidade, apresentando maior concentração de erosão.

#### 4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O Alto Curso do rio Paraíba localiza-se a sudoeste do Planalto da Borborema, no estado da Paraíba. De acordo com a compartimentação morfoestrutural deste planalto, o Alto Paraíba está inserido entre a Depressão Intraplana Paraibana e os Maciços Remobilizados do Domínio da Zona Transversal. O canal principal passa pelos municípios de Monteiro, Camalaú, Sumé, Congo, Caraúbas, São Domingos do Cariri, Cabaceiras e Barra de São Miguel. O rio Paraíba, principal rio da região, é responsável por drenar uma área de cerca de 6.717 km<sup>2</sup>, e nasce no município de Monteiro, na divisa com Sertânia, em Pernambuco. Essa área situa-se na microrregião dos Cariris Velhos, que estão localizados na Borborema Central (CERH, 2003; CORRÊA et al, 2010).

**Figura 2: Mapa de localização da bacia do Alto Paraíba, PB.**



Entre os meses de julho e agosto as temperaturas mínimas variam entre 18 e 22 C°, e entre os meses de novembro e dezembro, atingem as máximas oscilando entre 28 e 31 C°. A umidade relativa do ar varia entre 60 e 75%, onde no mês de junho identificam-se os maiores índices, e em dezembro, os menores. Com relação ao regime pluviométrico da região do Alto Paraíba, sabe-se que as precipitações anuais médias estão entre 350 e 600 mm, porém existem maiores índices pluviométricos em áreas mais elevadas, e os períodos mais chuvosos dizem respeito aos meses de fevereiro, março, abril e maio (CERH, 2003). O principal tipo de vegetação encontrada nessa região é a caatinga hiperxerófila, os solos são rasos e com altos teores de salinidade, em muitos lugares; as cidades são de pequeno porte e com baixa densidade demográfica (SOUZA; SUERTEGARAY; LIMA, 2009).

A região do Alto Paraíba encontra-se inserida na escarpa sudoeste do Planalto da Borborema, região formada por compartimentos geológicos constituídos no proterozóico e arqueozóico, com presença de quartzitos, gnaisses, migmatitos, micaxistos, litologia relacionada ao complexo gnáissico e também rochas plutônicas e vulcânicas (CERH, 2003). As áreas localizadas na região oeste da bacia do Alto Paraíba são as que apresentam maior altitude, com máxima atingindo 1172 metros, correspondendo a compartimentação morfoestrutural do Planalto da Borborema denominada de Maciços Remobilizados do Domínio da Zona Transversal. Já as altitudes mínimas, atingindo 374 metros, estão localizadas na compartimentação chamada de Depressão Intaplanáltica Paraibana. É importante salientar que a maior parte do alto curso do rio Paraíba está localizado neste último compartimento (ver figura 3).

Com relação a declividade, a maior parte da bacia é composta por terrenos suave ondulados e planos, com algumas áreas onduladas e suave onduladas; as pouquíssimas áreas que podem ser classificadas como montanhosas encontram-se na parte sul da bacia do Alto Paraíba. No caso da declividade do Alto Paraíba, tanto a área que corresponde à compartimentação morfoestrutural dos Maciços Remobilizados do Domínio da Zona Transversal quanto a que diz respeito à Depressão Intraplanáltica Paraibana, possuem basicamente o mesmo tipo de classes de declividade: plano, suave ondulado e ondulado (ver figura 4).

Figura 3: Mapa de Modelo Digital de Elevação da bacia do Alto Paraíba, PB.

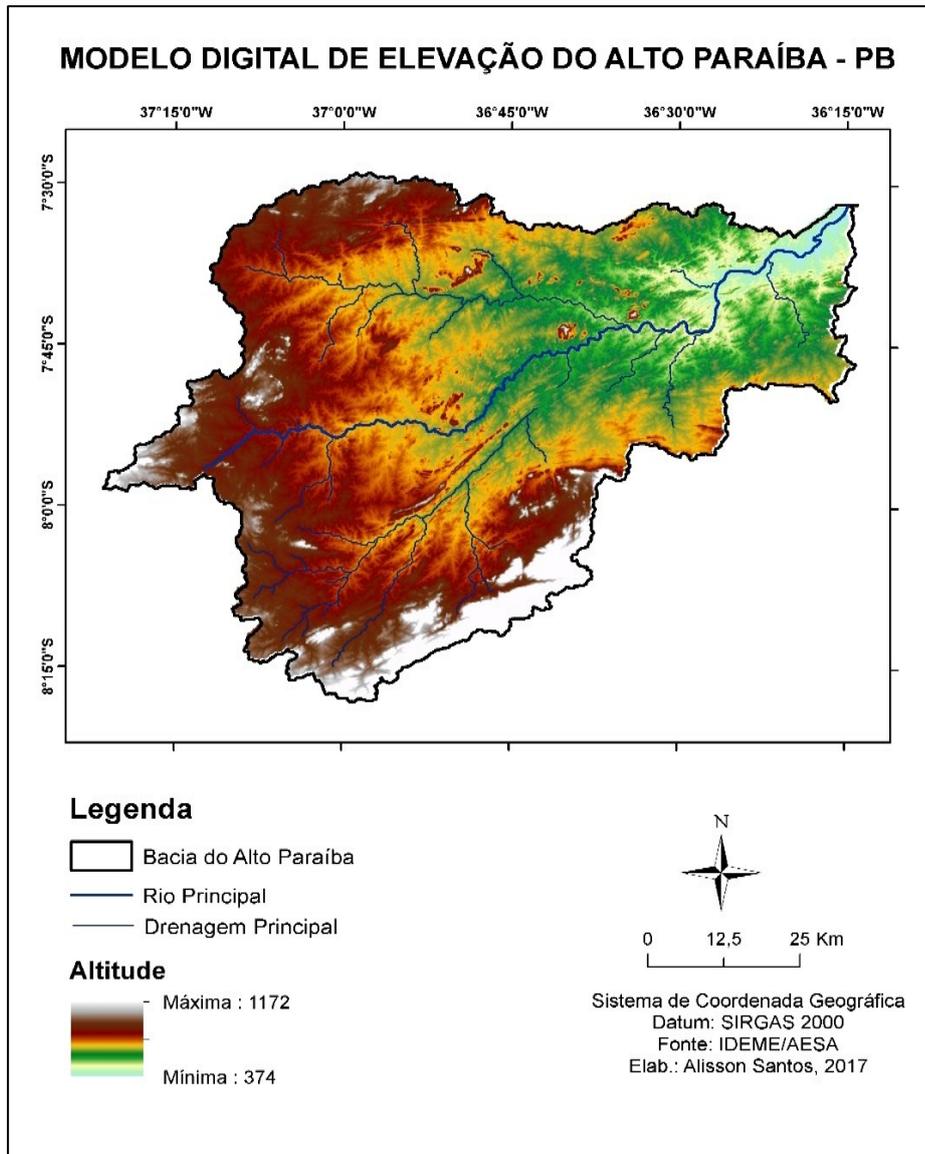
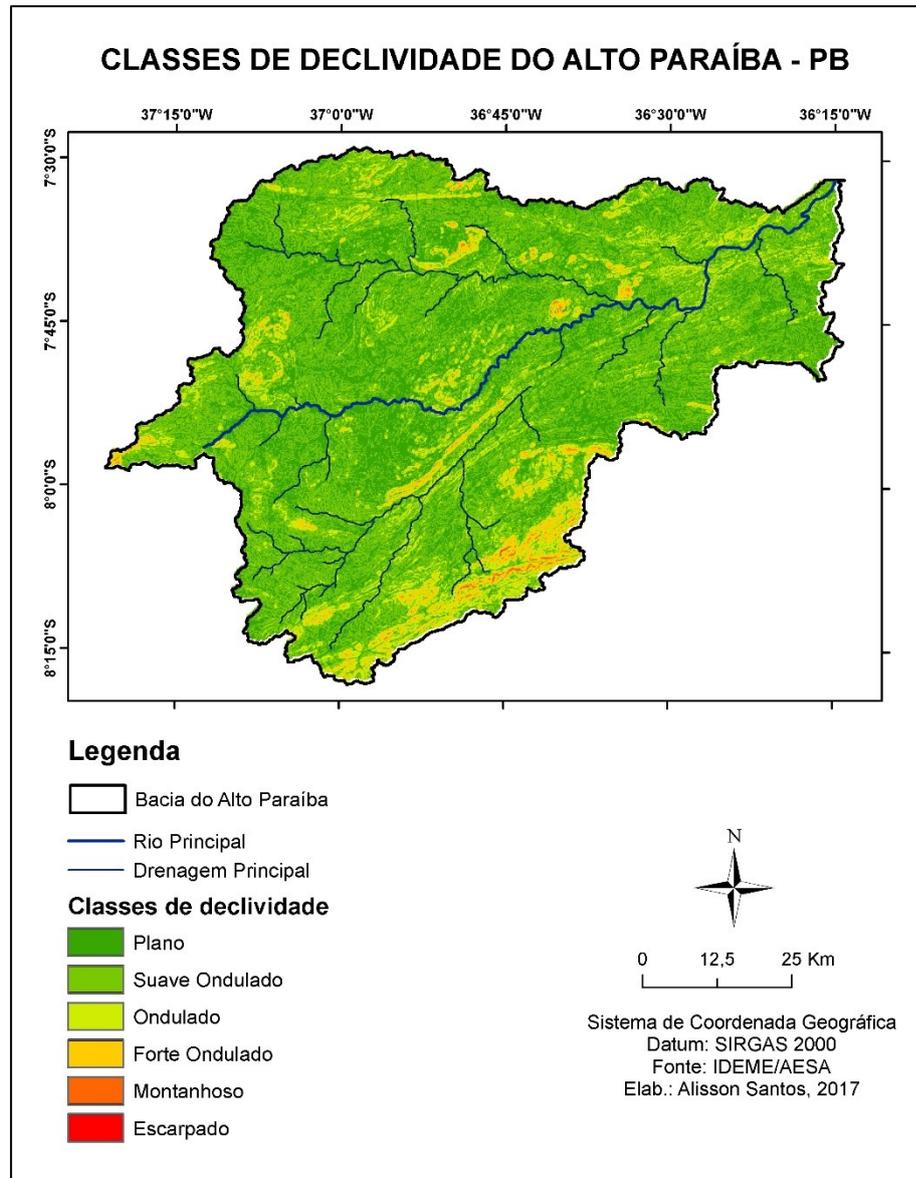


Figura 4: Mapa de classes de declividade da bacia do Alto Paraíba, PB.



Vale lembrar ainda que, como este trabalho trata do curso principal do rio Paraíba, não é possível levar em consideração as áreas de maior declive, uma vez que os canais de rios geralmente encontram-se localizados nas áreas de declive menos acentuado.

## 5. MATERIAIS E MÉTODOS

Almejando cumprir os objetivos desta pesquisa, foram seguidas algumas etapas metodológicas. Desta forma foi possível identificar e classificar os Estilos Fluviais existentes a bacia Alto Curso do rio Paraíba, tentando compreender a dinâmica e o comportamento dos canais que a compõem. Primeiramente foi realizada uma pesquisa bibliográfica, onde foram escolhidos livros, monografias, artigos, dissertações e teses para dar suporte teórico a este trabalho. Além disso, foram realizados dois trabalhos de campo, sendo o primeiro no dia 21 de setembro de 2017, e o segundo entre os dias 20 e 22 de outubro do mesmo ano, colhendo dados sobre a bacia do Alto Paraíba.

Para a coleta e tratamento dos dados foram utilizados procedimentos com GPS, Google Earth, ArcGis e Excel. Os pontos a serem visitados foram marcados com a ajuda do GPS e do Google Earth. O ArcGis e o Excel possibilitaram a elaboração do perfil longitudinal juntamente com o fluxo de acumulação, além das matrizes de informações e mapas temáticos e dos Estilos Fluviais encontrados.

Com o intuito de interpretar os controles sobre o caráter e comportamento da bacia do Alto Paraíba, foi elaborado, com a ajuda do ArcGis e do Excel, o perfil longitudinal do rio principal, que consiste num diagrama que permite a visualização do canal principal com todos os níveis de altitude. Vale destacar que a posição de cada alcance ao longo do perfil longitudinal, juntamente com a inclinação e a área de captação possibilita um guia inicial para a interpretação dos processos e formas do rio (BRIERLEY; FRYIRS, 2005). Para gerar o gráfico com o perfil longitudinal e a área de captação, no ArcGis, primeiramente foi feito o cálculo da direção do fluxo (na ferramenta *Flow Direction*), indicando assim para onde segue a direção do fluxo de água do canal. O segundo passo foi calcular a acumulação de fluxo (*Flow Accumulation*), que mostra o fluxo que o canal acumulou em cada ponto, sendo importante ressaltar que o arquivo gerado indica a quantidade de água acumulada em cada pixel. Feito isso, foi utilizada a ferramenta *Con*, onde todos os pixels que indicavam um valor maior que cem foram transformados em rio. Após este procedimento os canais foram vetorizados, usando a ferramenta *Stream to Feature*. Terminada esta parte, foi usada a ferramenta *Stack Profile*, onde foram gerados os dados pontuais de altitude para a elaboração do gráfico com o perfil longitudinal e a área de acumulação. Os canais foram ligados, após isso, e foi selecionado o canal principal da bacia do Alto Paraíba. Terminada essa etapa com o ArcGis, os gráficos foram feitos com a ajuda do Excel.

Além do perfil longitudinal, foram identificadas as unidades de paisagem dos principais trechos do canal principal da bacia estudada. Essas unidades são áreas caracterizadas por possuir topografia similar e padrão característico de relevos. Para a identificação das unidades de paisagem é preciso levar em conta alguns fatores como: declividade, topografia, geologia e posição (FRYIRS; BRIERLEY, 2013). Os dados do Modelo Digital de Elevação e da declividade foram obtidos a partir, respectivamente, do mapa de MDE e do de declividade. Já os dados da geologia onde está localizada a bacia do Alto Paraíba foram colhidos com base no livro Diversidade do Estado da Paraíba, da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM).

## 5.1 ESTILOS FLUVIAIS

Para a identificação e classificação dos Estilos Fluviais da bacia do Alto Paraíba foi utilizado o primeiro estágio da classificação de Brierley e Fryirs (2005), que diz respeito a determinação da escala de alcance do comportamento e do caráter do rio. Este primeiro estágio é dividido em três etapas. A primeira diz respeito a análise de configuração regional e da bacia, onde ocorre a configuração da bacia e o agrupamento das informações indispensáveis para descobrir os controles que dizem respeito ao caráter, o comportamento e os padrões a jusante do rio na terceira etapa do primeiro estágio. Para executar a primeira etapa do primeiro estágio foram necessários alguns procedimentos como: identificar as unidades de paisagem existentes na área estudada, analisar o perfil longitudinal do rio (o qual registra a inclinação do rio) e estudar os parâmetros morfométricos da bacia (padrão de drenagem, densidade de drenagem, forma de captação, entre outros). Para o canal principal da bacia do Alto Paraíba foi realizada uma avaliação inicial, primeiramente analisando cada ponto a partir de sensoriamento remoto e posteriormente em campo.

A segunda etapa consiste em definir e interpretar os Estilos Fluviais. Nesta etapa é importante saber que os Estilos Fluviais são identificados a partir de quatro parâmetros: configuração dos vales, assembleia de unidades geomórficas (componentes do canal e da planície de inundação) que formam um alcance, planta do canal e a textura do material do leito.

Com relação a configuração dos vales, eles podem ser de três tipos: confinados, semiconfinados e não confinados. Os primeiros dizem respeito àqueles onde praticamente não

ocorre a presença das planícies de inundação ao longo do rio (menos de 10% do canal). Os vales semiconfinados são aqueles nos quais a presença das planícies de inundação no canal varia entre 10% e 90%. Por fim, os vales onde existe a predominância de planícies de inundação em quase todo o trecho do rio (aproximadamente 90% do canal) recebem o nome de vales não confinados. É importante ressaltar que o confinamento do vale controla a capacidade de ajuste do canal com relação ao fundo do vale. Para o Alto Paraíba, os pontos de confinamento foram identificados a partir da visualização do canal principal a partir do Google Earth, onde foi reconhecida a ocorrência dos três tipos de vale; ressaltando que vale confinado é o que menos ocorre ao longo desse canal.

Sobre o segundo parâmetro da segunda etapa, é necessário considerar que as unidades geomórficas do canal e da planície de inundação fornecem a chave para a interpretação do caráter e do comportamento do alcance do rio. Essas unidades são a chave para a classificação dos Estilos Fluviais. Dessa forma, a definição dos distintos atributos de cada Estilo Fluvial é possível somente por causa da junção das unidades geomórficas ao longo do canal, da sua composição de sedimentos e também por causa da sua associação com a forma e geometria do canal. Para a identificação das unidades geomórficas do canal principal da bacia do Alto Paraíba foram identificadas ilhas, barras e áreas alagadas na planície de inundação, primeiramente a partir do sensoriamento remoto, e posteriormente, em campo.

A planta do canal, terceiro parâmetro, baseia-se em três fatores: número de canais (onde os rios são identificados levando em consideração se eles possuem canais únicos, até três canais, mais de três canais ou canais descontínuos); sinuosidade e estabilidade lateral (diz respeito ao grau em que o canal é capaz de se ajustar em relação ao vale). A identificação da sinuosidade do canal principal foi feita com sensoriamento remoto, analisando cada meandro por meio do Google Earth, e a confirmação foi realizada com trabalhos de campo. Com relação a estabilidade do canal, foi identificada também com sensoriamento remoto, com o objetivo de apontar as marcas de mudança do canal, e o trabalho de campo serviu para reconhecer os processos erosivos nas margens.

O quarto parâmetro diz respeito a textura do material do leito, que é diferenciada com base no calibre dominante do material encontrado ao longo do leito do canal. E assim, o tamanho do material do leito pode ser muito variado, com cascalhos e material grosseiro. Em campo, a textura do material do leito foi avaliada com base no diagrama de Thien (1979), onde essa textura é obtida com a modelagem manual de amostra de terra umedecida formando

uma massa homogênea, podendo ser áspera, macia ou pegajosa. Para a identificação da textura, esse método é o mais utilizado (CAVALCANTI, 2014).

Por fim, a terceira etapa do primeiro estágio consiste na avaliação dos controles sobre o caráter, comportamento e padrões de Estilos Fluviais à jusante. Para tanto, observações iniciais são feitas após a elaboração dos padrões dos Estilos Fluviais à jusante para o perfil longitudinal, orientando a relação entre declividade e descarga e apresentando um suporte na avaliação das ligações ao longo dos cursos dos rios, onde cada alcance é posicionado em seu eixo de captação.

O caráter e o comportamento de um rio refletem um contínuo (*continuum*) multivariado com infinitas e complexas associações. Pensando nisso, a melhor forma de avaliar e analisar os controles sobre o caráter e o comportamento fluvial é estabelecendo as condições em que todos os exemplos de um Estilo Fluvial particular operam; neste contexto, são analisadas as diferenças, semelhanças e sobreposições nos controles dos Estilos Fluviais. Também é necessário considerar que da mesma forma que parâmetros distintos determinam o caráter e comportamento dos Estilos Fluviais, a influência dos diferentes controles possibilitam a presença ou ausência dos mesmos. A partir de então os Estilos Fluviais são comparados com o objetivo de esclarecer os controles dominantes sobre o caráter e o comportamento de cada Estilo. No fim desse processo, todas as anomalias são explicadas.

É interessante frisar que as mudanças que ocorrem na configuração do vale influenciam diretamente os Estilos Fluviais, modificando-os também. Essas mudanças geralmente estão associadas as modificações que ocorrem à jusante em unidades de paisagem.

## 5.2 CAPACIDADE DE AJUSTE

A metodologia de Brierley e Fryris (2005), além de ser usada para a identificação e caracterização dos Estilos Fluviais encontrados na bacia do Alto Paraíba, também foi utilizada na avaliação da capacidade de ajuste da mesma bacia. Para os Estilos Fluviais foi executado o primeiro estágio (primeira, segunda e terceira etapas) da classificação desses autores. Já para a capacidade de ajuste foi cumprido o segundo estágio (apenas a primeira etapa), identificando pontos representativos primeiramente por meio de sensoriamento remoto, e posteriormente, confirmados em campo.

Esse segundo estágio trata da avaliação da evolução do rio e da condição geomórfica do mesmo, e a primeira etapa deste estágio trata justamente da determinação da capacidade de ajuste dos Estilos Fluviais. E para cumprir esta etapa é preciso saber como o rio pode se ajustar conforme o conjunto de características de fluxo, sedimento e vegetação. Dentro desta perspectiva, os alcances com capacidade de ajuste significativa são considerados sensíveis a mudanças, ao passo que aqueles com o potencial de ajuste localizado são considerados resistentes a mudanças. Isso serve para saber quais os tipos de rios que são mais propensos a sofrer alterações geomórficas irreversíveis.

A primeira etapa do segundo estágio lida com a determinação dos geoindicadores que são relevantes para o grau de liberdade lateral e vertical de cada Estilo Fluvial. Assim, muitos geoindicadores são avaliados dentro de cada grau de liberdade com o objetivo de estabelecer a capacidade que cada alcance terá para se ajustar dentro da configuração do vale. Para a bacia do Alto Paraíba foram utilizados apenas dois geoindicadores: material do leito e margem, e vegetação. No caso do primeiro, foi analisado o material do leito e das margens utilizando o diagrama de Thien. Com relação a vegetação, foi levada em consideração a forma de crescimento, onde as plantas foram classificadas como: herbáceas (não possuem lenho), arbustivas (não possuem tronco principal e ramificam a partir da base) e arbóreas (possuem tronco principal) (CAVALCANTI, 2014). A análise do material foi realizada em campo, e a identificação da vegetação foi feita primeiramente por meio do Google Earth, e posteriormente conformada em campo.

## 6. RESULTADOS

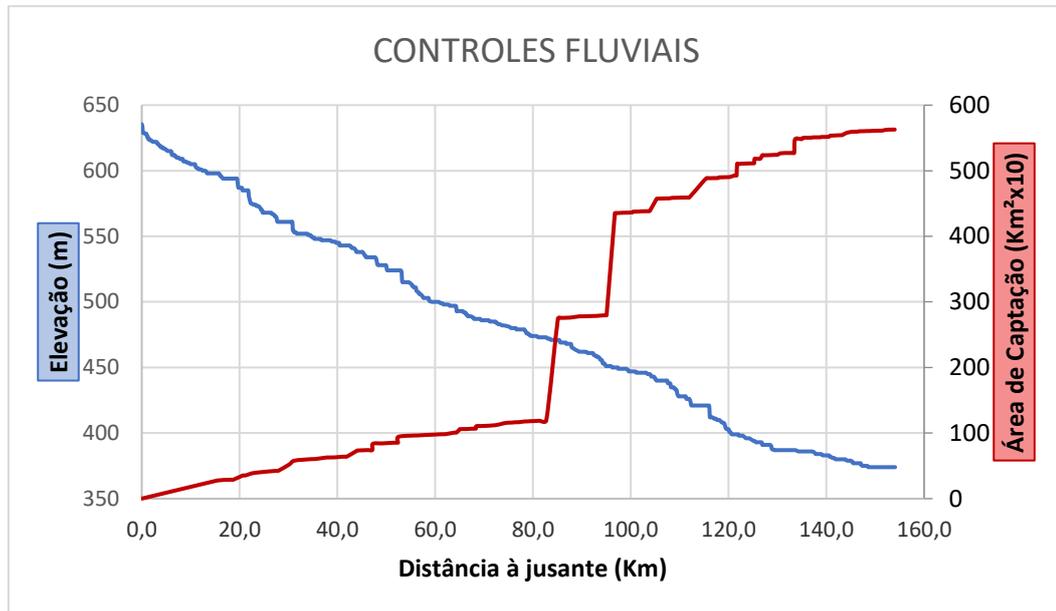
O canal principal da bacia do alto curso do rio Paraíba possui níveis diversos de elevação, de Monteiro a Cabaceiras (ver figura 2), e possui uma extensão de aproximadamente 155 quilômetros. O gráfico abaixo mostra esses níveis de elevação ao longo desse rio, delineando o seu perfil longitudinal (em azul) e a área de captação do mesmo canal (em vermelho). O perfil longitudinal indica que as áreas de cabeceira possuem uma elevação próxima de 650 metros de altitude, enquanto as áreas (áreas de transporte e deposição de sedimentos) mais baixas do Alto Paraíba atingem aproximadamente 350 de altitude. Vale salientar que o perfil do Alto Paraíba é razoavelmente retilíneo, não apresentando grandes variações, mas apenas uma sequência de pequenas quebras que indicam as áreas rochosas do rio; o trecho confinado do canal, localizado no município de Caraúbas é um exemplo disso.

Já o gráfico da área de captação indica a área de captação para cada trecho do canal, e consequentemente as áreas de maior descarga. Os dois grandes aumentos que o gráfico apresenta dizem respeito a entrada de dois grandes afluentes, sendo eles o rio do Espinho e o rio Sucuru. O primeiro, com os seus subafluentes, está localizado entre os municípios do Congo, Camalaú, Zabelê, São Sebastião do Umbuzeiro e São João do Tigre. Ele conecta-se ao alto curso do rio Paraíba no quilômetro 82, à jusante da cabeceira desse rio, e possui uma área de captação de 1150 km<sup>2</sup>.

O rio Sucuru e seus subafluentes, por sua vez, encontram-se na parte norte da bacia do Alto Paraíba, abrangendo os seguintes municípios: Coxixola, Serra Branca, Sumé, Ouro Velho e Prata. À jusante do rio do Espinho, o Sucuru conecta-se ao alto curso do rio Paraíba no quilômetro 94, e possui uma área de captação de 1560 km<sup>2</sup>. Neste caso, encontram-se no meio do canal e possuem, respectivamente, cerca de 2800 e 4300 quilômetros quadrados. A primeira área indicada por este gráfico diz respeito ao rio do Espinho, e a segunda compreende o rio Sucuru (figura 5).

O aumento repentino do fluxo de água com esses dois afluentes, possivelmente, favorecerá a diversidade fluvial. Isso se dá com as mudanças nas características do rio desencadeadas com esse aumento de fluxo. Este aumento gera, quando o material é arenoso, o aprofundamento do leito e do gradiente do canal (SANTOS, 2016).

**Figura 5: Gráfico com o perfil longitudinal e a área de captação do canal principal do Alto Paraíba.**



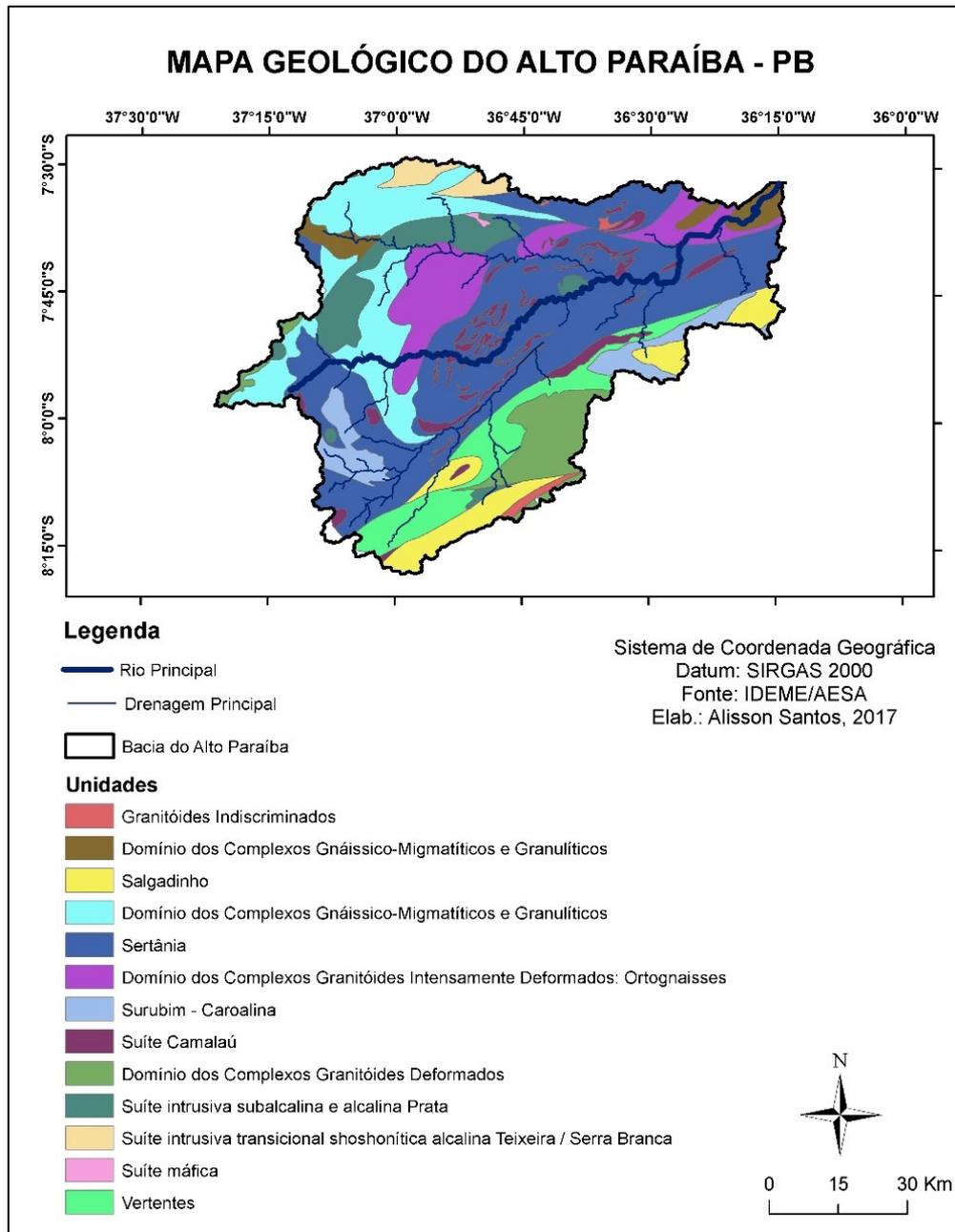
De acordo com o Levantamento da Geodiversidade do Estado da Paraíba (2016), esse estado é formado por 16 Domínios geológicos-ambientais. A bacia do alto curso do rio Paraíba está inserida entre alguns deles, e conseqüentemente, o canal principal dessa bacia passa por eles. O primeiro deles é denominado Domínio das Sequências Sedimentares Proterozóicas Dobradas, Metamorfizadas de Baixo a Alto Grau (DSP2), identificado no mapa geológico do Alto Paraíba como a unidade denominada Sertânia, e onde são encontrados metassedimentos com diferentes características nas suas estruturas, texturas e composição química (Figura 6).

O segundo domínio geológico-ambiental que cortado pelo canal principal da bacia do Alto Paraíba é o Domínio dos Complexos Granitóides Deformados (DCGR2), reconhecido no mapa geomorfológico dessa bacia como a unidade Suíte Intrusiva Calcialcalina de Alto a Médio K Itaporanga, o qual está localizado no município do Congo. Esses dois primeiros domínios citados até aqui apresentam potencialidades e limitações semelhantes, sendo que as diferenças entre eles estão relacionadas tanto a composição química quanto as formas de relevo.

Com relação ao terceiro domínio por onde passa o canal principal da bacia estudada neste trabalho, é necessário ressaltar que ele é denominado, pelo Levantamento da Geodiversidade da Paraíba (2016), de Domínio dos Complexos Granitóides Intensamente

Deformados: Ortognaisses (DCGR3), e que é identificado no mapa geológico do Alto Paraíba como unidade Sumé.

**Figura 6: Mapa geológico da bacia do alto curso do rio Paraíba, PB.**



O quarto domínio é denominado de Domínio dos Complexos Gnáissico-Migmatíticos e Granulíticos (DCGMGL), que engloba duas unidades identificadas no mapa geológico do Alto Paraíba: Ortognaisses Graníticos Granordioríticos e Serra do Jabitacá. É formado por quatro unidades: unidade DCGMGLgno, unidade DCGMGLgnp, unidade DCGMGLmgl e unidade DCGMGLmo. Este domínio não possui nenhum tipo de relevo diferente dos citados

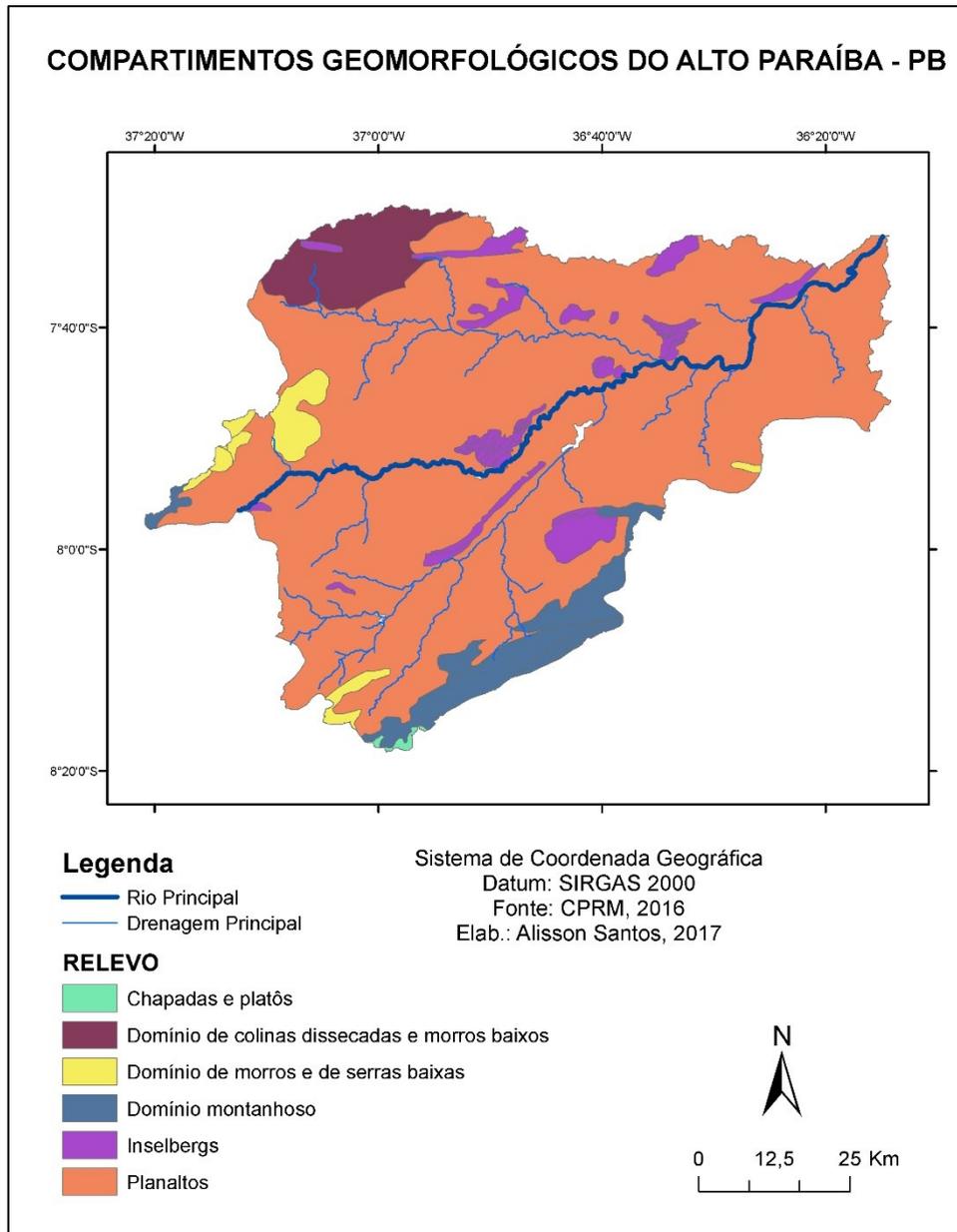
anteriormente. Os solos são bastante erosivos e pouco evoluídos, geralmente argilosos e siltosos.

É necessário ressaltar que as variações litológicas podem influenciar nas variações do canal gerando uma diversidade fluvial. É o que acontece com os trechos do alto curso do rio Paraíba que estão localizados nas seguintes unidades geológicas: Sertânia e Suíte Camalaú. Percebe-se claramente que, nesses trechos o rio faz uma curva forçada por conta dessas estruturas geológicas (ver figura 6).

Com base também no Levantamento da Geodiversidade da Paraíba (2016), foi possível também elaborar o mapa de compartimentos geomorfológicos para o alto curso do rio Paraíba (ver figura 7). Nele são apresentadas seis formas de relevo existentes na bacia desse rio: Chapadas e Platôs, Domínios de Colinas Dissecadas e Morros Baixos, Domínio de Morros e de Serras Baixas, Domínio Montanhoso, *Inselbergs* e, por fim, Planaltos.

O relevo do tipo Chapadas e Platôs possui uma declividade que varia entre 0 e 5 graus, e uma amplitude topográfica entre 20 e 50 metros. O Domínio de Colinas Dissecadas e Morros Baixos é caracterizado pela declividade, que varia entre 5 e 20 graus, e pela amplitude topográfica, variando entre 30 e 80 metros. No caso do Domínio de morros e de Serras Baixas, a declividade (entre 15 e 35 graus) e a amplitude topográfica (entre 80 e 200 metros) são bem maiores. No Domínio Montanhoso a declividade varia entre 25 e 60 graus, e a amplitude topográfica, a maior encontrada na área da bacia estudada, varia entre 300 e 2000 metros. Com relação ao tipo de relevo denominado de *Inselbergs*, sabe-se que ele é definido pela sua declividade, que varia entre 25 e 60 graus, e pela sua amplitude topográfica, variando entre 50 e 500 metros. Por fim, os Planaltos possuem declividade que varia de 0 a 5 graus e uma amplitude topográfica variando entre 20 e 50 metros (CPRM, 2016). No mapa de compartimentos geomorfológicos da bacia do Alto Paraíba é possível perceber que este último tipo de relevo citado é o que mais predomina.

Figura 7: Mapa de compartimentos geomorfológicos do alto curso do rio Paraíba, PB.

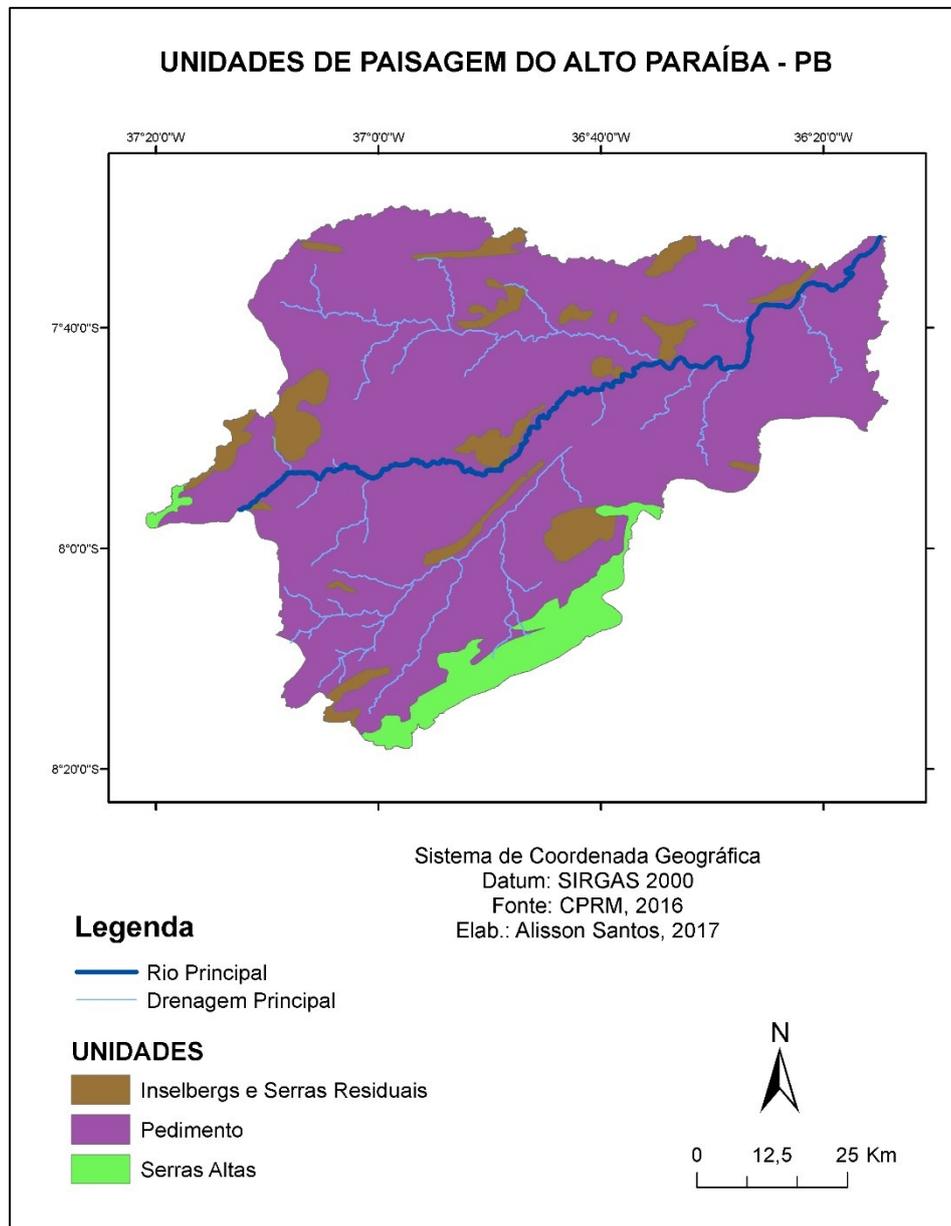


Para a identificação dos Estilos Fluviais é necessário identificar as unidades de paisagem presentes na bacia hidrográfica. Essas unidades são áreas com semelhante topografia. Para a identificação delas é necessário, não apenas levar em conta a topografia, mas também as unidades geológicas operantes na área, a declividade, a posição e a elevação da área (FRYIRS; BRIERLEY, 2013).

Na bacia do Alto Paraíba foram encontradas três unidades de paisagem: *Inselbergs* e Serras Residuais, Pedimento, e Serras Altas. A unidade Pedimento abrange a maior parte da

bacia e, conseqüentemente, compreendendo a maior parte do canal do Alto Paraíba. As Serras Altas são a única unidade que não está em contato direto com esse canal (Figura 8).

**Figura 8: Mapa de unidades de paisagem do alto curso do rio Paraíba, PB.**



Baseado em imagens de satélite do Google Earth e também por meio da confirmação em campo, foi identificado o grau de confinamento do alto curso do rio Paraíba (ver figura 9), analisando cada trecho. Os trechos que apresentavam planícies de inundação em mais de 90% da sua área foram denominados de não confinados, os que apresentavam planícies de inundação entre 10% e 90% da sua área foram denominados de semiconfinados ou parcialmente confinados, e por fim, aqueles com menos de 10% da área com presença de

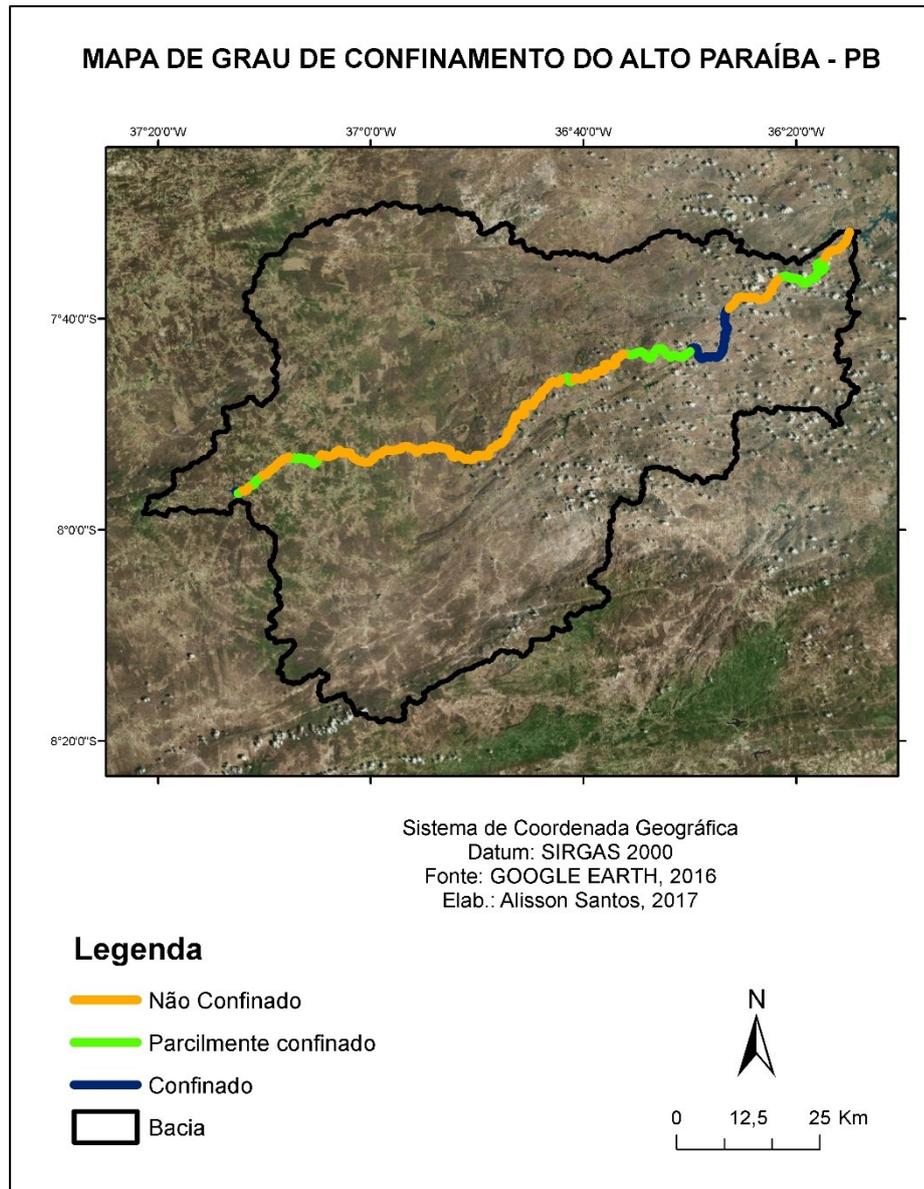
planícies de inundação foram denominados de confinados. O mapa abaixo mostra que a maior parte do canal estudado é composta por trechos não confinados; apenas em dois trechos é possível identificar vales do tipo confinado.

É importante dizer que, no caso do alto curso do rio Paraíba, a geologia influencia diretamente alguns trechos do canal, possibilitando que eles sejam semiconfinados ou confinados, e dessa forma, tornando-os menos capazes de se ajustarem a mudanças. Isso diminui, conseqüentemente, as possibilidades de erosão e migração lateral do canal, pois esses trechos geralmente apresentam leitos e margens rochosas. Pelo mapa de grau de confinamento (Figura 9) é possível ver os trechos do canal estudado (em verde e azul) que tendem a ser menos passíveis de mudanças.

Também baseado nas informações do Google Earth e do campo, foi possível identificar o tipo de vegetação predominante ao longo do canal principal (Figura 10). Os tipos de vegetação foram classificados como conservada (aquela cuja vegetação é mais densa, representada aqui pela cor verde) e degradada (cor amarela). O mapa abaixo mostra que pouquíssimas áreas ao longo das margens do canal que apresentam vegetação do tipo conservada. A maior parte da vegetação ligada ao canal principal (degradada), apresenta os seguintes tipos de vegetação: arbórea espaçada, arbustiva, gramínea e áreas totalmente desprovidas de vegetação.

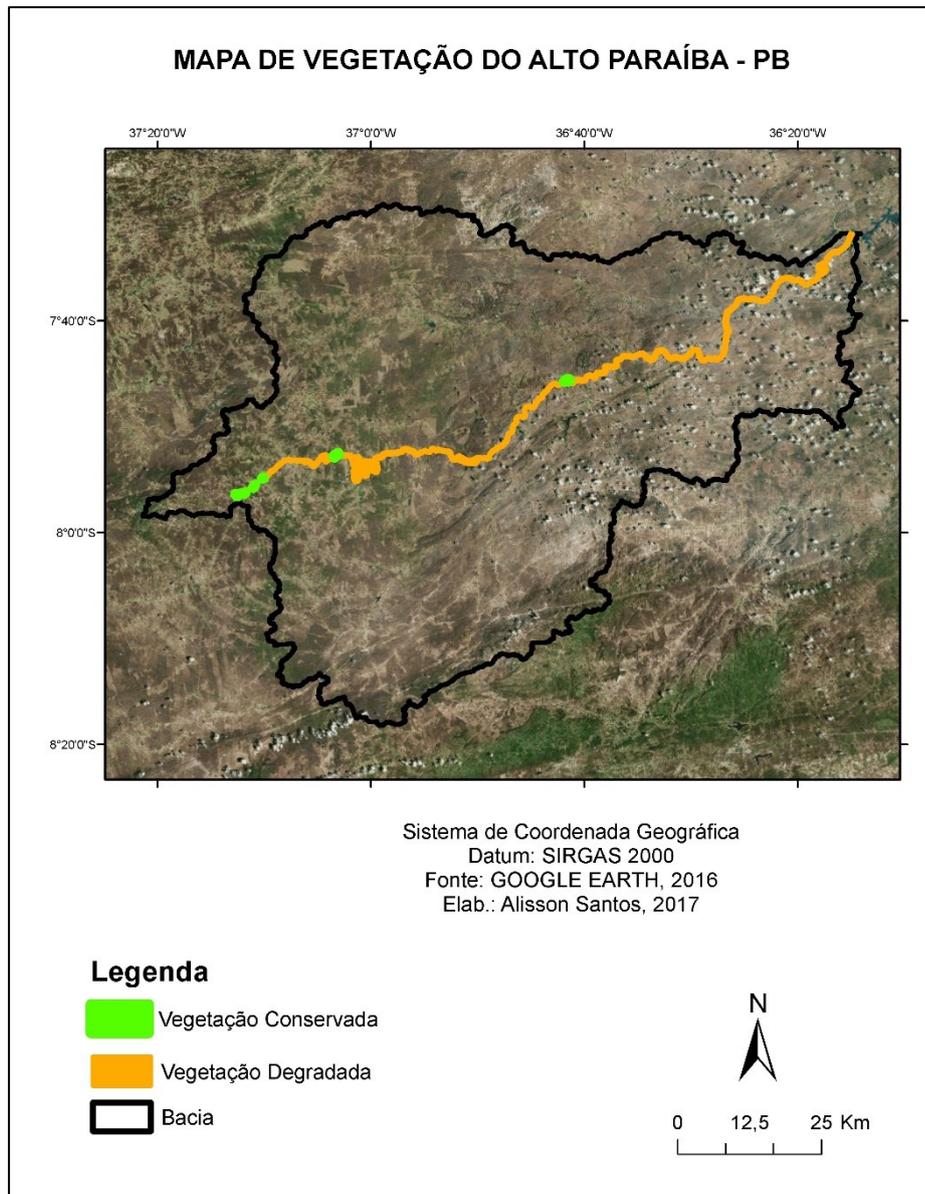
As áreas com vegetação degradada, apresentadas no mapa de vegetação abaixo, são aquelas onde não há vegetação ou onde a vegetação é escassa e espaçada. Essas áreas tendem a ser menos resistentes a mudanças, visto que a vegetação protege o solo de erosão. O aumento na remoção de vegetação dessas áreas favorece os processos erosivos em ambientes fluviais também. Não havendo vegetação nas margens, nas planícies de inundação e também nas barras que se formam no leito do canal, ele tende a ser menos resistente a mudanças. Além disso, com mudanças na vazão, o canal, tende a se ajustar com mais ou com menos facilidade. A vegetação é um fator importante também para analisar a capacidade de ajuste do canal. No caso do canal principal do Alto Paraíba, a maior parte da vegetação associada ao canal é classificada como degradada (Figura 10).

**Figura 9: Mapa de grau de confinamento do alto curso do rio Paraíba, PB.**



Ainda sobre o mapa de vegetação do alto curso do rio Paraíba, é necessário considerar que a maior parte das áreas com vegetação conservada está localizada no município de Monteiro. De acordo com as imagens de 2016 disponíveis no Google Earth, além do município citado, é possível encontrar vegetação conservada apenas no município do Congo, salientando que, devido ao aumento de áreas de plantação, que necessitam de irrigação, ocorre a tendência do aumento de retirada da vegetação natural; isso faz com que a vegetação, antes considerada conservada, se torne degradada.

**Figura 10: Mapa apresentando a vegetação do alto curso do rio Paraíba, PB.**



No canal principal da bacia do alto curso do rio Paraíba foram identificados quatro tipos de Estilos Fluviais, sendo eles: Canal Não Confinado com Barras Arenosas, Canal Semiconfinado com Leito Cascalho-Rochoso, Canal Semiconfinado com Ilhas de Vegetação e Canal Confinado com Leito Rochoso (ver figura 11). É necessário dizer que os mapas gerados para cada estilo foram feitos a partir de imagens do Google Earth, do ano de 2016. E dessa forma, sendo preciso ir à campo em setembro e outubro de 2017 para a confirmação dos dados, foi constatado que o rio estudado apresenta condições bastante distintas das apresentadas nas imagens de 2016; a principal delas é a presença de água em todo o canal, a partir do município de Monteiro, em março de 2017. Isso alterou toda a dinâmica fluvial do

canal estudado, uma vez que o regime hidrológico, que antes era intermitente, tornou-se perene, com o recebimento dessas águas.

Com base na predominância de trechos não confinados no alto curso do rio Paraíba, com presença de barras e ilhas vegetadas, foram elencados os pontos a serem estudados. Dessa forma, foi identificado um trecho não confinado, localizado em São Domingos do Cariri; dois trechos semiconfinados, sendo um localizado em Monteiro e outro, em Caraúbas, que foram escolhidos devido ao fato de os dois apresentarem diferenças significativas, sendo um localizado em área próxima da cabeceira do rio e o outro em área de transporte de sedimentos, por exemplo. E, por fim, foi identificado um canal confinado no município de Caraúbas.

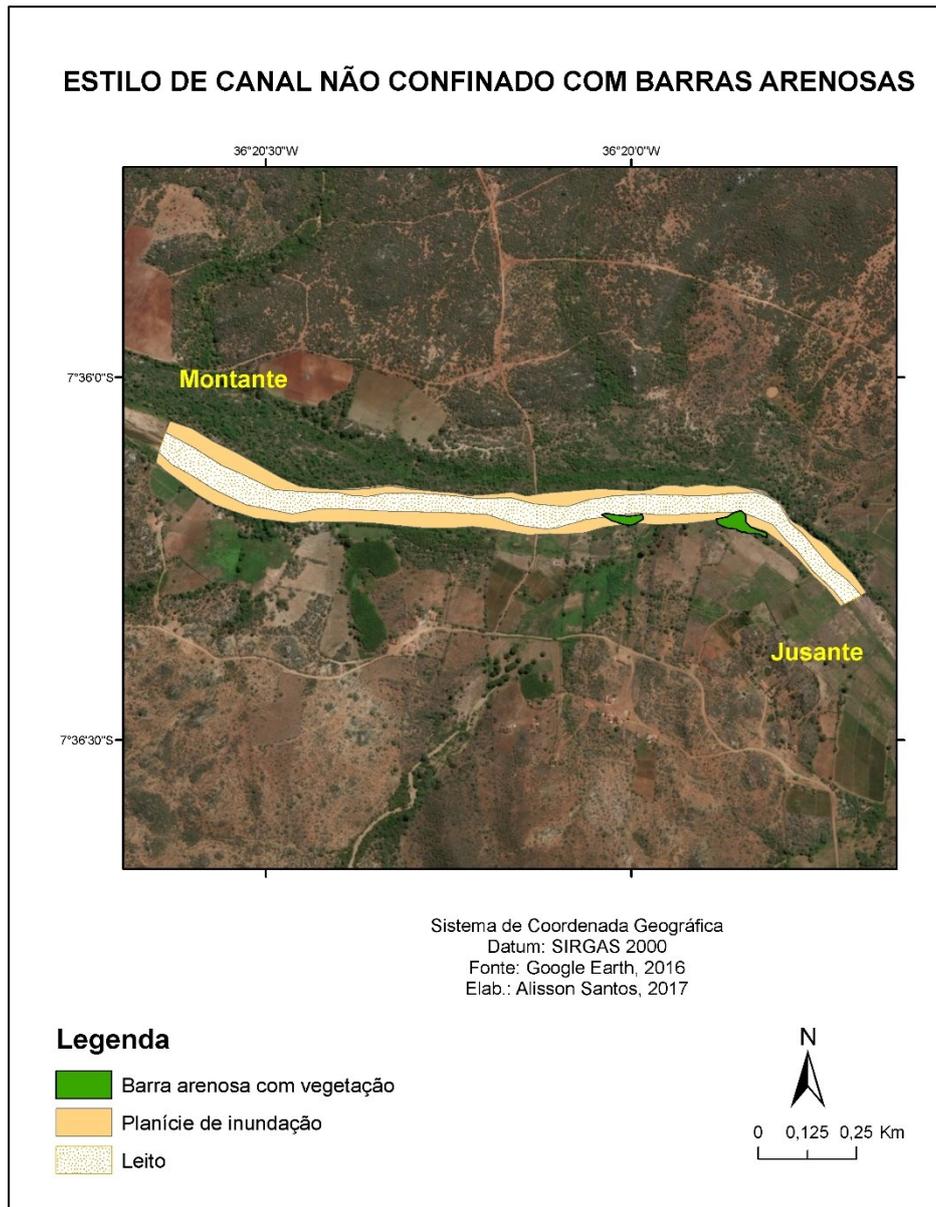
## 6.1 CANAL NÃO CONFINADO COM BARRAS ARENOSAS

O alto curso do rio Paraíba não apresenta apenas um trecho não confinado, porém o Estilo Fluvial denominado Canal Não Confinado com Barras Arenosas foi escolhido como o trecho representativo dos trechos não confinados do rio pelos seguintes motivos principais: apresentar barras arenosas com vegetação e uma rodovia cortando o rio. A partir de imagens de 2016, disponíveis no Google Earth, foi possível identificar as condições geomórficas do canal, além do tipo de vegetação e grau de confinamento. Dessa forma foi possível elaborar os mapas apresentando os Estilos Fluviais, porém é fundamental dizer que, a maioria das imagens não apresenta a água advinda do Projeto de Integração do Rio São Francisco, foi necessário acrescentar fotografias das áreas visitadas nos campos citados acima, realizados em 2017. Para cada Estilo Fluvial, além dos mapas e fotografias, foram também elaboradas matrizes de informações técnicas.

O Canal Não Confinado com Barras Arenosas, localizado no município de São Domingos do Cariri, apresenta margens simétricas com textura areia franca (ver figura 11). A vegetação desse trecho é composta basicamente por gramíneas, arbustos e árvores pouco desenvolvidas e espaçadas. Ocorre deposição de sedimentos nas margens e no leito do canal, onde é perceptível que as barras arenosas formadas no leito são compostas por material de aterramento e também natural. Em alguns trechos ocorre a presença de entrelaçamento do canal, devido as barras arenosas com vegetação. Além disso, canal é cortado por uma rodovia desativada e sem ponte.

Com bases nos trabalhos de campo foi possível identificar o que não pode ser visto no mapa acima, devido às limitações das imagens disponíveis no Google Earth. As imagens a seguir mostrarão a água do canal (não vista no mapa), além das barras arenosas dentro do canal, e também a rodovia que corta o canal (Figura 12, 13).

**Figura 11: Estilo Fluvial de Canal Não Confinado Com Barras Arenosas, alto curso do rio Paraíba – PB.**

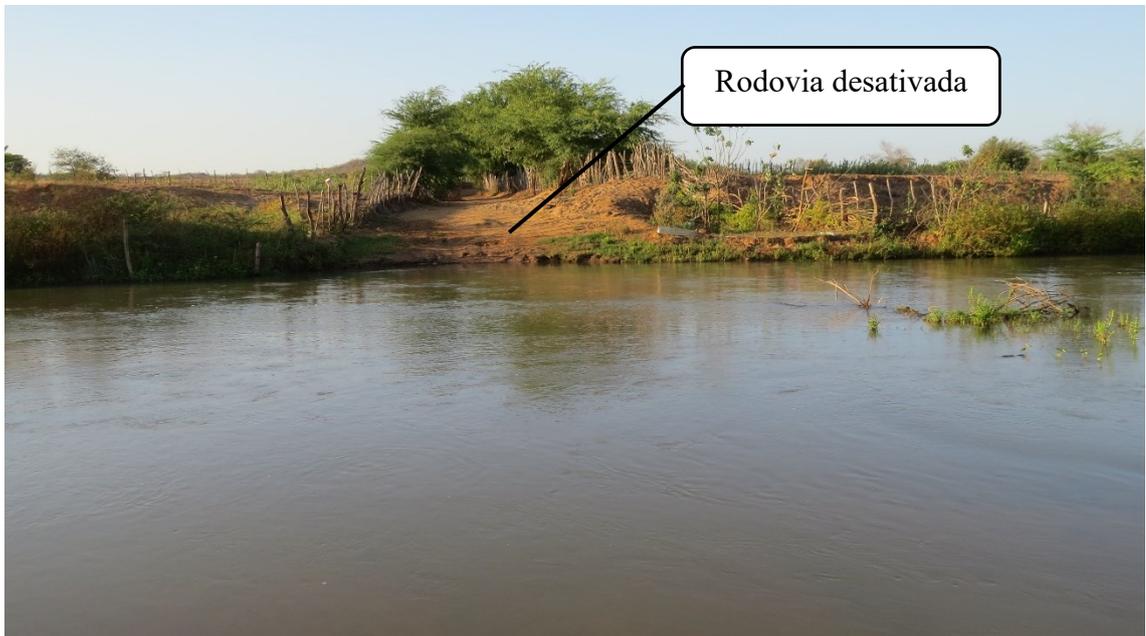


**Figura 12: Fotografia mostrando barra arenosa no leito do canal não confinado.**



**Fonte:** Alisson Santos, 2017.

**Figura 13: Fotografia ilustrando rodovia desativada cruzando o canal não confinado.**



**Fonte:** Alisson Santos, 2017.

As figuras 12 e 13 possibilitam visualizar mudanças não visíveis no mapa representado pela figura 11, atentando para as mudanças causadas no canal com o aumento do fluxo de água proporcionada pelo Projeto de Integração do Rio São Francisco. Este trecho do

canal principal do Alto Paraíba está situado na unidade geológica denominada Domínio dos Complexos Gnáissico-Migmáticos e Granulíticos, que é caracterizado por possuir solos muito erosivos argilosos, sílticos e arenosos; e estruturas geológicas bastante variadas apresentando descontinuidades estruturais dispostas em diversos ângulos de mergulhos. Por ser um trecho do canal com muitas planícies de inundação e com alto índice de sedimentos sendo transportados, o Canal Não Confinado com Barras Arenosas tende a ser passível de sofrer grandes mudanças devido ao aumento do fluxo de água. Devido a existência de vegetação nas barras arenosas presentes no leito do canal, essas barras tendem a serem resistentes a modificações. O aumento do fluxo também é responsável por tornar o canal mais largo devido as erosões das margens, e com o leito arenoso, também ocorre a possibilidade de aprofundamento do canal. Com relação à capacidade de ajuste, o Canal Não Confinado com Barras Arenosas mostra-se, portanto, passível de se adaptar aos ajustes sofridos com o aumento do fluxo de água.

Além do mapa e fotografias representando o Estilo Fluvial do tipo Canal Não Confinado com Barras Arenosas, também foi elaborada uma matriz de informação para esse estilo (ver quadro 1), apresentando, de forma descritiva, as informações específicas sobre o trecho do canal.

**Quadro 1: Matriz de informações específicas sobre o Canal Não Confinado com Barras Arenosas.**

<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>FLUVIAIS</b>
<b>Configuração do vale</b>	Não confinado
<b>Configuração em planta</b>	Canal arenoso com barras arenosas com vegetação, e terraço
<b>Textura de materiais de leito</b>	Textura arenosa
<b>Unidade geomórfica</b>	Geometria do canal: canal entrelaçado
	Formas associadas ao vale:
	Planície de inundação (textura: areia franca)
<b>Vegetação associada</b>	Área com presença de vegetação arbórea espaçada, arbustiva

<b>COMPORTAMENTO DO RIO</b>	
<b>Baixa vazão</b>	Presença de fluxo, com divisão em área de barras arenosas
<b>Média vazão</b>	Ausência de fluxo
<b>Alta vazão</b>	Ausência de fluxo
<b>CONTROLES</b>	
<b>Zona processual</b>	Zona de deposição e transporte de sedimento
<b>Competência do fluxo</b>	Transporte de sedimento do tipo areia
<b>Intervenção antrópica</b>	Rodovia desativada e sem ponte cruzando o canal

As informações contidas na matriz acima mostram que o que diferencia o Canal Não Confinado com Barras Arenosas dos demais Estilos Fluviais do Alto Paraíba é basicamente, além do trecho ser não confinado, a presença de barras arenosas com vegetação no leito do canal, a presença de entrelaçamento do canal em alguns pontos e a presença de uma rodovia desativada cruzando o canal.

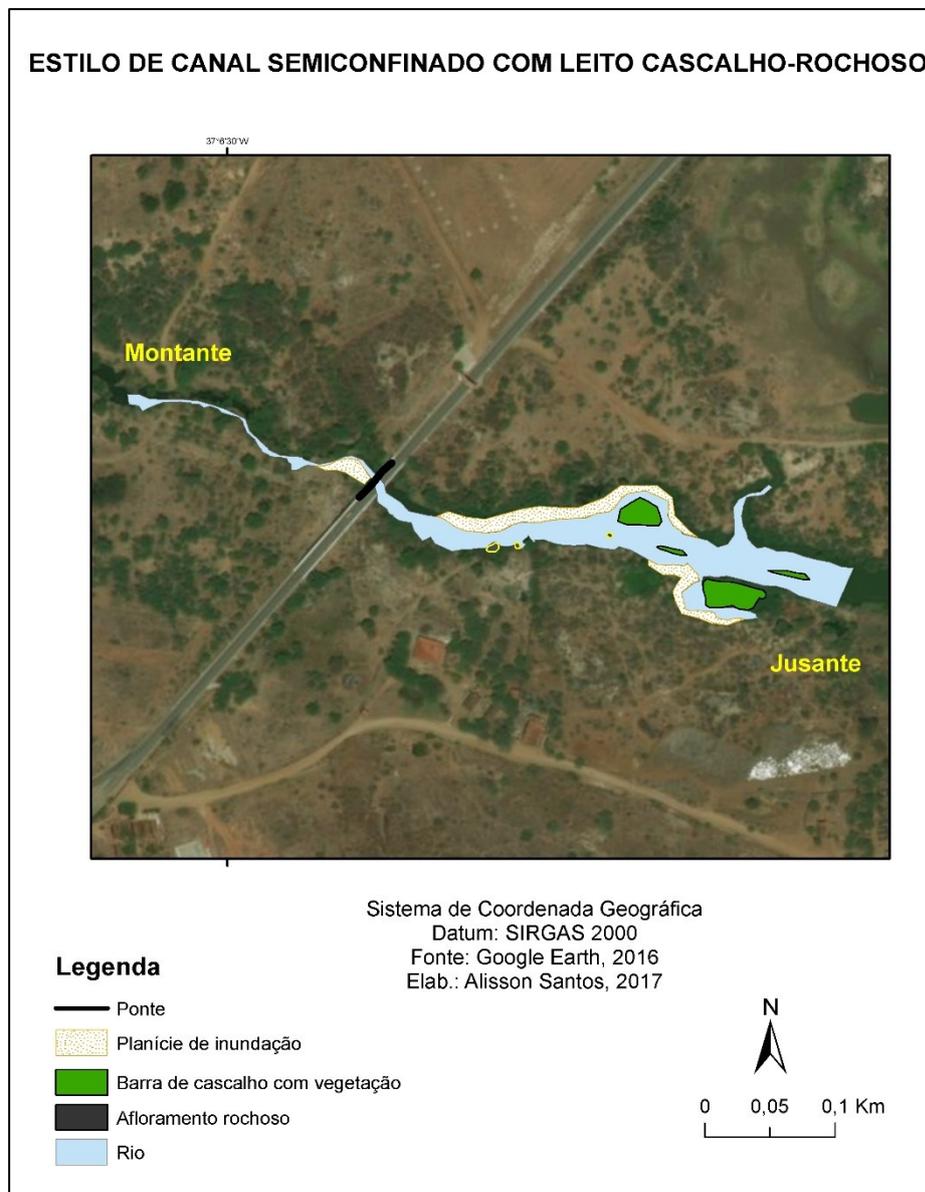
## 6.2 CANAL SEMICONFINADO COM LEITO CASCALHO-ROCHOSO

O Estilo Fluvial aqui denominado de Canal Semiconfinado com Leito Cascalho-Rochoso encontra-se localizado no município de Monteiro. É nesse ponto onde chegaram as águas do Projeto de Integração do Rio São Francisco. Por conta das obras realizadas nessa área, e principalmente do aumento do fluxo com a chegada dessas águas, o rio encontra-se bastante modificado.

Nas duas margens encontra-se vegetação do tipo arbórea, arbustiva e gramínea. O leito é rochoso com áreas arenosas, ocorrendo a presença de margens rochosas e pontos com planícies de inundação, alternando. Ocorre também a presença de barras de cascalho no leito do canal, forçadas por conta da vegetação presente nelas (Figura 14). Além disso, existe a presença de uma ponte, por onde passa a rodovia BR 412.

Este trecho do alto curso do rio Paraíba está localizado, assim como o Canal Não Confinado com Barras Arenosas, na unidade geológica denominada Domínio dos Complexos Gnáissico-Migmatíticos e Granulíticos, porém de acordo com o mapa de Modelo Digital de Elevação do Alto Paraíba (Figura 3), as altitudes são muito mais elevadas neste trecho do Canal Semiconfinado com Leito Cascalho-Rochoso, o que faz com que a configuração do rio e sua dinâmica seja totalmente diferente do outro trecho. Aqui, o canal já apresenta ocorrência de diversos afloramentos rochosos, não existindo tantas planícies de inundação quanto o primeiro Estilo Fluvial identificado e analisado. O mapa abaixo mostra a existência de água no canal antes de as águas chegarem a Monteiro. Comparando com as figuras 15, 16, 17 e 18, percebe-se que o canal sofreu modificações devido aumento do fluxo causado pelo Projeto de Transposição do Rio São Francisco, porém não tanto quanto o Canal Não Confinado com Barras Arenosas. Isso se dá devido a predominância de leito rochoso e presença de margens rochosas em alguns pontos. Além disso, e não menos importante, as barras de cascalho com vegetação também favorecem a resistência do canal às mudanças, principalmente por conta da presença de vegetação e de o cascalho ser um material mais difícil de ser transportado que a areia. Vale considerar que a presença de barras de cascalho aponta uma maior energia no rio. Dessa forma, então, o Canal Semiconfinado com Leito Cascalho-Rochoso torna-se menos capaz de se ajustar às modificações causadas pelo aumento do fluxo no canal.

**Figura 14: Estilo Fluvial de Canal Semiconfinado com Leito Cascalho-Rochoso, alto curso do rio Paraíba - PB.**



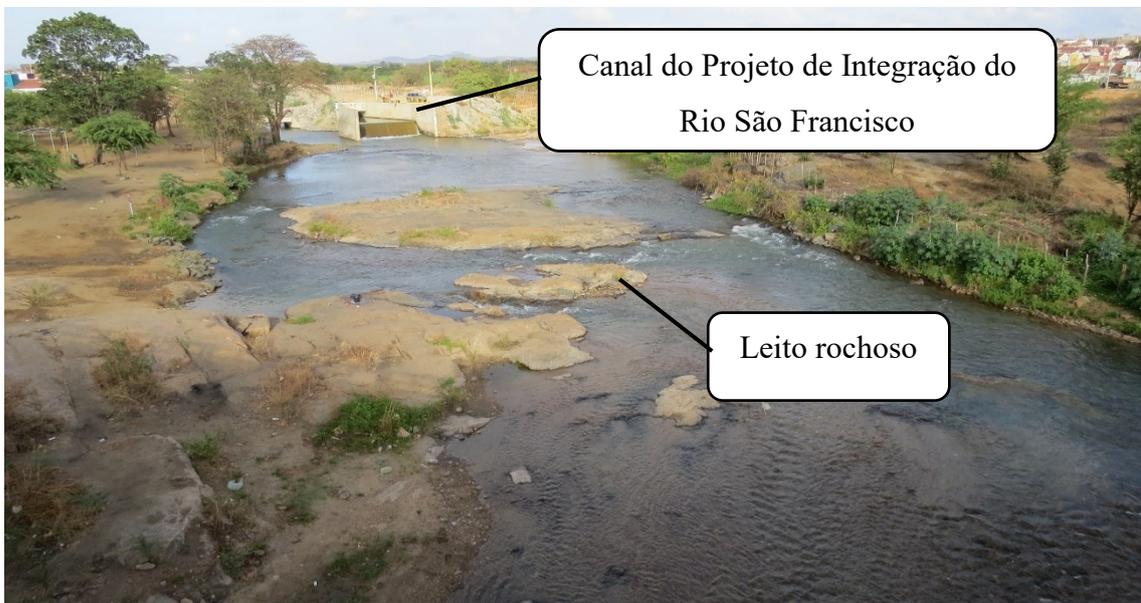
Nas imagens disponíveis no Google Earth para esta área foi possível visualizar a presença de água no canal, o que não ocorre nos mapas dos outros três Estilos Fluviais do Alto Paraíba. As imagens (ver figuras 15, 16, 17 e 18) a seguir mostrarão alguns elementos do canal, como: planície de inundação, leito rochoso e o canal artificial do projeto de integração depositando suas águas no canal principal do Alto Paraíba.

**Figura 15: Fotografia exibindo planície de inundação presente no canal semiconfinado.**



**Fonte:** Alisson Santos, 2017.

**Figura 16: Fotografia mostrando o leito rochoso do canal semiconfinado.**



**Fonte:** Alisson Santos, 2017.

**Figura 17: Fotografia ilustrando as águas da transposição chegando no alto curso do rio Paraíba.**



**Fonte:** Alisson Santos, 2017.

**Figura 18: Fotografia mostrando barra de cascalho no canal semiconfinado.**



**Fonte:** Alisson Santos, 2017.

A matriz de informações sobre o Canal Semiconfinado com Leito Cascalho-Rochoso (Quadro 2), a seguir, mostrará as características deste trecho do canal estudado.

**Quadro 2: Matriz de informações específicas sobre o Canal Semiconfinado com Leito Cascalho-Rochoso.**

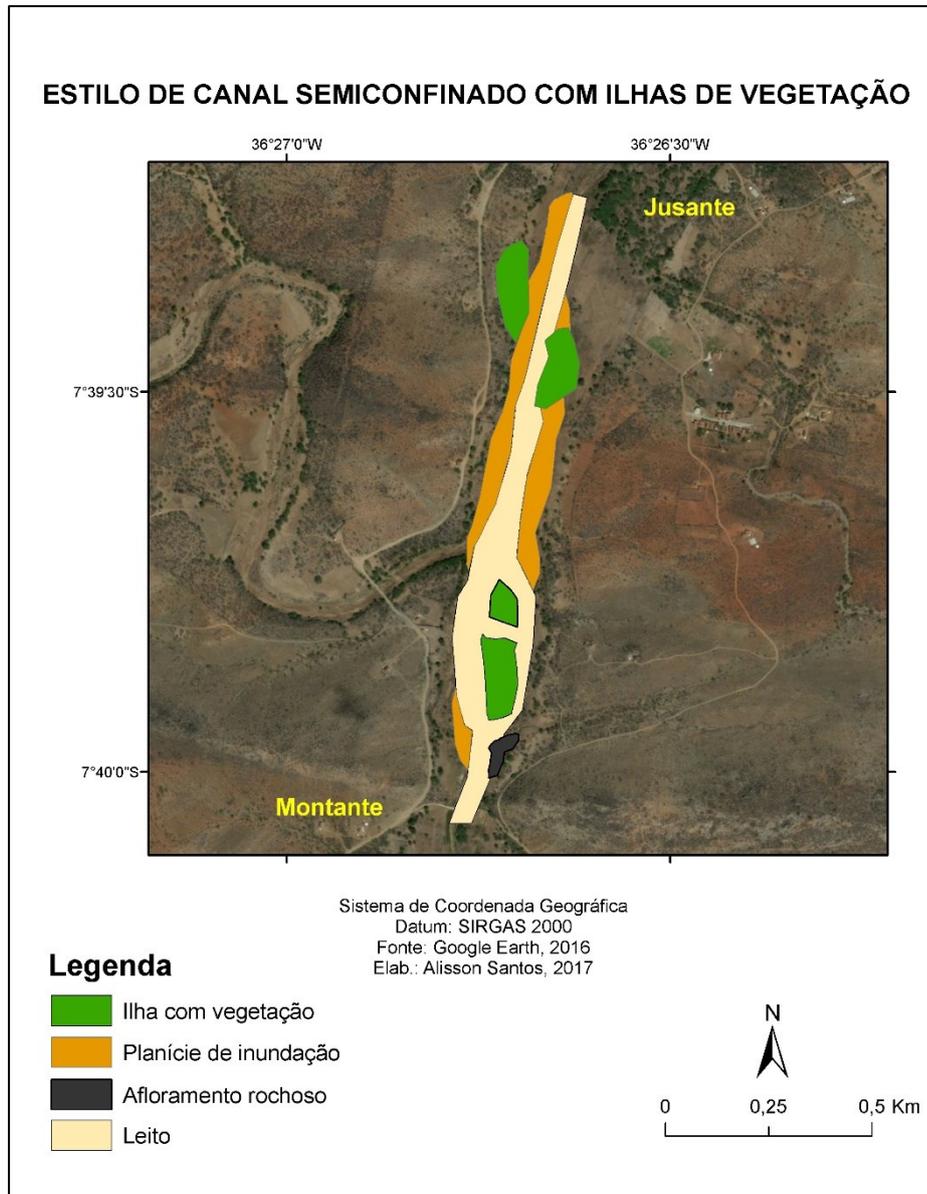
<b>CARACTERÍSTICAS</b>		<b>FLUVIAIS</b>
<b>Configuração do vale</b>	Semiconfinado	
<b>Configuração em planta</b>	Canal arenoso com presença de afloramentos rochosos	
<b>Textura de materiais de leito</b>	Arenoso e rochoso, com barra de cascalho com vegetação	
<b>Unidade geomórfica</b>	Geometria do canal: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

A matriz acima indica que os principais fatores que diferenciam o Canal Semiconfinado com Leito Cascalho-Rochoso dos demais Estilos Fluviais do Alto Paraíba são: a presença de leito rochoso e com barras de cascalho, transporte de cascalho, presença de ponte por cruzando o canal e a presença do canal do Projeto de Integração do Rio São Francisco.

### 6.3 CANAL SEMICONFINADO COM ILHAS DE VEGETAÇÃO

Localizado no município de Caraúbas, o Estilo Fluvial do tipo Canal Semiconfinado com Ilhas de Vegetação apresenta margens irregulares com textura argilo siltosa, e vegetação arbórea espaçada e arbustiva. O canal apresenta ilhas com vegetação arbustiva no leito e próximo às margens do canal (Figura 19). Vale ressaltar que esta área é influenciada pela unidade geológica denominada Domínio das Sequências Sedimentares Proterozóicas Dobradas, Metamorfizadas de Baixo a Alto Grau, identificada no mapa geológico do Alto Paraíba como unidade Sertânia, fazendo com que o canal se ajuste a essas estruturas. Além disso, é importante dizer que existem afloramentos rochosos nas margens do canal, e em alguns trechos é possível visualizar a presença de aterro no leito e nas margens.

Figura 19: Estilo Fluvial de Canal Semiconfinado com Ilhas de Vegetação, alto curso do rio Paraíba – PB.



A seguir serão apresentadas algumas imagens deste trecho do canal mostrando o canal principal, as áreas de afloramento rochoso

**Figura 20: Fotografia destacando afloramentos rochosos e canal principal.**



**Fonte:** Alisson Santos, 2017.

**Figura 21: Fotografia mostrando ilha com vegetação no meio do canal semiconfinado.**



**Fonte:** Alisson Santos, 2017.

Diante do que foi dito acima, é importante enfatizar que o Canal Semiconfinado com Ilhas de Vegetação encontra-se situado na unidade geológica denominada Domínio das

Sequências Sedimentares Proterozóicas Dobradas, Metamorfizadas de Baixo a Alto Grau, caracterizada pela presença de metacalcário e metassedimentos a base de quartzo com alta resistência a intemperismos, e com solos arenosos e argilo-siltosos. A presença das ilhas com vegetação e afloramentos rochosos, além da não ocorrência de planícies de inundação em todo o trecho, possibilitam que os ajustes às mudanças causadas pelo aumento do fluxo de água sejam moderados. As ilhas são mais resistentes às modificações que as barras, e isso ocorre devido aumento de material mais fino e coeso, além da vegetação mais densa. Dessa forma, o Estilo Fluvial denominado Canal Semiconfinado com Ilhas de Vegetação, assim como o Canal Semiconfinado com Leito Cascalho-Rochoso, tendem a ser menos capazes de se ajustar às modificações do que o Canal Não Confinado com Barras Arenosas.

Todas as principais características fluviais do Canal Semiconfinado com Ilhas de Vegetação estão elencadas na matriz de informações a seguir (Quadro 3).

**Quadro 3: Matriz de informações específicas sobre o Canal Semiconfinado com Ilhas de Vegetação.**

<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>FLUVIAIS</b>
<b>Configuração do vale</b>	Semiconfinado
<b>Configuração em planta</b>	Canal arenoso com presença de rocha de controle
<b>Textura de materiais de leito</b>	Arenoso e rochoso
<b>Unidade geomórfica</b>	Geometria do canal: canal único
	Formas associadas ao vale:
	Planície de inundação (textura: argilo-siltosa)
<b>Vegetação associada</b>	Área com vegetação arbórea espaçada, arbustiva
<b>COMPORTAMENTO</b>	<b>DO RIO</b>
<b>Baixa vazão</b>	Presença de fluxo, com divisão em ilhas com

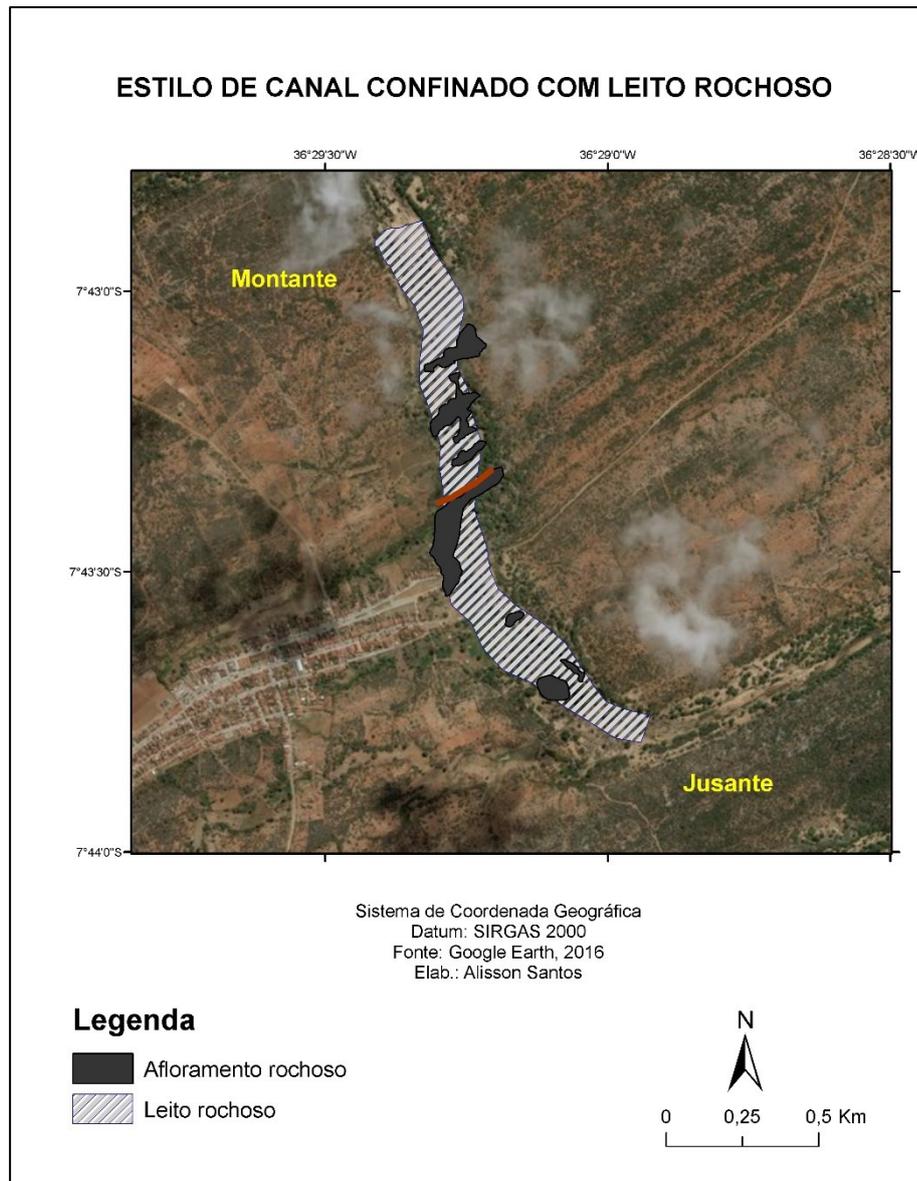
	vegetação
<b>Média vazão</b>	Ausência de fluxo
<b>Alta vazão</b>	Ausência de fluxo
<b>CONTROLES</b>	
<b>Zona processual</b>	Zona de transporte e deposição de sedimento
<b>Competência do fluxo</b>	Transporte de sedimento do tipo areia
<b>Intervenção antrópica</b>	Área de aterro

As informações da matriz acima indicam que o que diferencia o Canal Semiconfinado com Ilhas de vegetação dos demais Estilos Fluviais do Alto Paraíba é basicamente: a presença de ilhas com vegetação, transporte de cascalho e o fato de nesta área existir muito mais deposição de aterro do que nas demais.

#### 6.4 CANAL CONFINADO COM LEITO ROCHOSO

Diferentemente dos outros três Estilos Fluviais identificados no alto curso do rio Paraíba, o Canal Confinado com Leito Rochoso, localizado no município de Caraúbas, praticamente não possui planícies de inundação. Além disso o leito e as margens são bastante rochosos, apresentando grandes áreas de afloramentos. A vegetação é predominantemente arbórea de grande e médio porte, e arbustiva espaçada. Ocorre acúmulo de areia entre os blocos rochosos. À montante existe uma pequena barragem cruzando o canal. À jusante ocorre a presença de ilhas rochosas com árvores de diversos portes, não sendo possível identificá-las no mapa a seguir, por conta da limitação das imagens fornecidas pelo Google Earth (ver figura 22). Porém, será possível ver na figura seguinte. É importante dizer que a irregularidade do canal se dá devido ao comportamento do leito rochoso diante de soleiras e depressões.

Figura 22: Estilo Fluvial de Canal Confinado com Leito Rochoso, alto curso do rio Paraíba – PB.



A seguir, é possível ver uma ilha com vegetação de grande e médio porte (Figura 23). É notória a presença de rochas e material arenoso formando a ilha. Nota-se também as margens e o leito rochosos do canal, sem presença de planície de inundação (ver figura 24).

**Figura 23: Ilha rochosa com vegetação no canal confinado.**



Fonte: Alisson Santos, 2017.

**Figura 24: Fotografia destacando o leito rochoso do canal confinado.**



Fonte: Alisson Santos, 2017.

A figura 25 mostra o barramento que ocorre neste trecho do canal principal do Alto Paraíba. Na figura 24 não é possível vê-lo, a fotografia mostra ele muito distante. Além disso,

O quadro 4 abaixo traz a matriz de informação do Canal Confinado com Leito Rochoso, com as suas informações fluviais.

**Figura 25: Fotografia apresentando barramento cruzando o canal confinado.**



**Fonte:** Alisson Santos, 2017.

Com base no que foi exposto acima, pode ser dito que o Canal Confinado com Leito Rochoso é, dentre os quatro Estilos Fluviais identificados no alto curso do rio Paraíba, o que possui menos capacidade se ajustar às mudanças no fluxo das águas provenientes do Projeto de Integração do Rio São Francisco. Isso se dá devido a diversos fatores. Em primeiro lugar é necessário levar em consideração que este trecho do Alto Paraíba está situado na unidade geológica denominada Domínio das Sequências Sedimentares Proterozóicas Dobradas, Metamorfizadas de Baixo a Alto Grau, a mesma onde está inserido o Estilo Fluvial analisado anteriormente, denominado Canal Semiconfinado com Ilhas de Vegetação, porém este estilo localiza-se à jusante do trecho aqui analisado, que possui altitudes mais elevadas. Em segundo lugar é importante considerar que os afloramentos rochosos no Canal Confinado com Leito Rochoso são mais abundantes e de maior proporção que os dois Estilos Fluviais semiconfinados já discutidos. A presença de margens e leito rochoso é o principal fator que caracteriza este trecho de rio. Na figura 23 foi possível perceber que a formação de afloramentos rochosos com vegetação bastante desenvolvida, o que dificulta ainda mais que o trecho se ajuste às mudanças. Além disso, o canal é cruzado por uma barragem artificial, fator

que influencia diretamente a configuração atual do Canal Confinado com Leito Rochoso. Por fim, vale ressaltar que devido a existência desses fatores citados, associados à não existência (em praticamente todo o trecho) de planície de inundação, este Estilo Fluvial é aquele que mais possui uma menor capacidade de ajuste.

**Quadro 4: Matriz de informações específicas sobre o Canal Confinado com Leito Rochoso.**

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

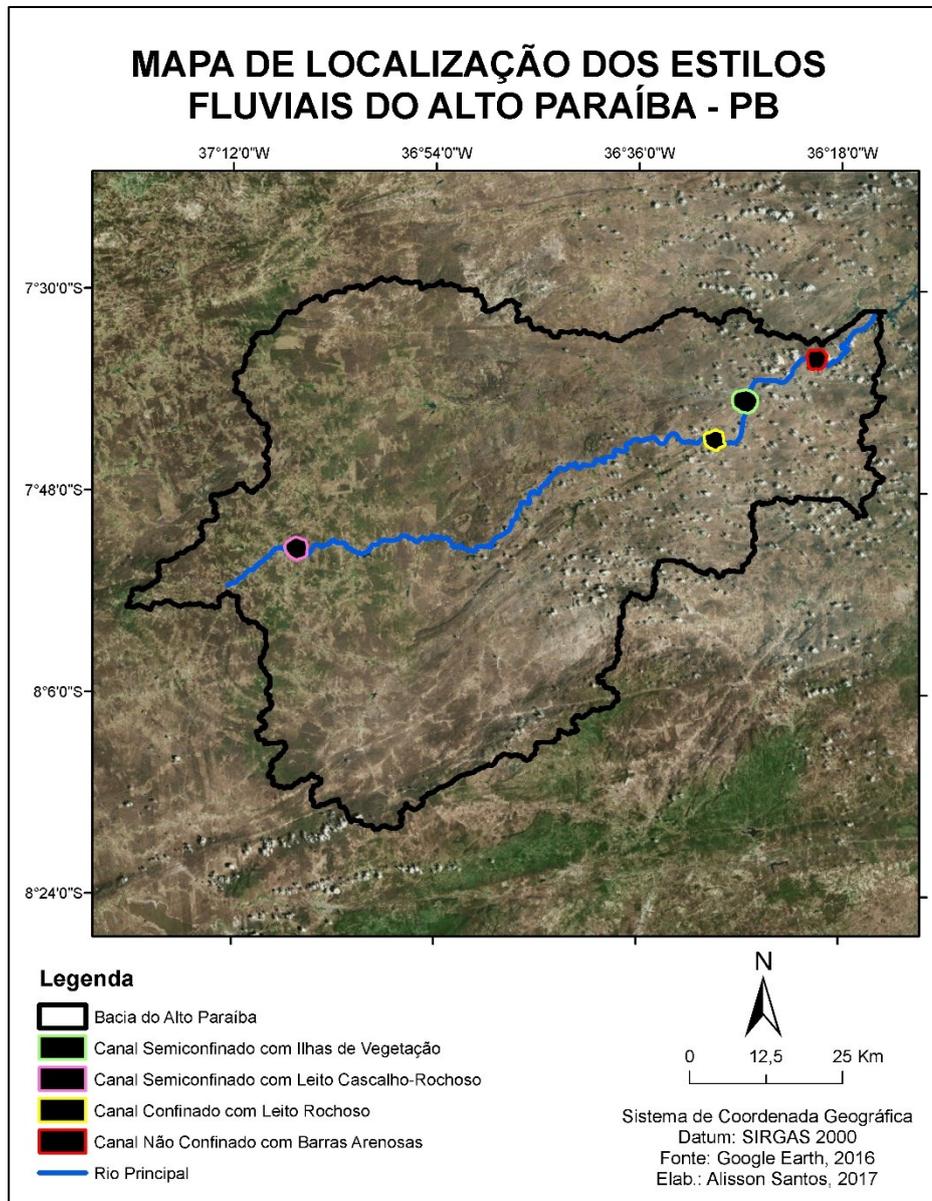
<b>Competência do fluxo</b>	Transporte de sedimento do tipo areia
<b>Intervenção antrópica</b>	Presença de barragem

As informações contidas na matriz acima indicam que os principais fatores que diferenciam o Canal Confinado com Leito Rochoso dos demais Estilos Fluviais do Alto Paraíba são: a presença de muitos afloramentos rochosos e de grande porte, e presença de barragem à montante.

É preciso destacar que as matrizes dos quatro Estilos Fluviais identificados no alto curso do rio Paraíba indicam que os trechos possuem uma baixa vazão, ou seja, nessas áreas ocorre o transporte mínimo de carga de fundo e um maior transporte de carga de suspensão, fazendo que não ocorra inundação nas barras, ilhas e planícies de inundação. Nessas áreas não foram identificados pontos com média e alta vazão, pois para que a vazão seja classificada como média é necessário que haja um aumento da energia do fluxo, onde ocorre erosão das margens e extravasamento do fluxo de água cobrindo ilhas e barras, e não cobrindo as planícies de inundação. No caso da alta vazão, as águas inundam tanto as barras e ilhas quanto as planícies de inundação, com diminuição da energia devido extravasamento das águas e também ocorre a deposição de material fino nas planícies de inundação, como silte e areia.

O mapa abaixo mostra a localização dos quatro Estilos Fluviais encontrados na bacia do alto curso do rio Paraíba (ver figura 26). É possível perceber que o Canal Semiconfinado com Leito Cascalho- Rochoso encontra-se distante dos demais.

Figura 26: Mapa identificando a localização dos quatro Estilos Fluviais encontrados no alto curso do rio Paraíba, PB.



## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O primeiro estágio da abordagem metodológica dos Estilos Fluviais possibilitou a identificação e análise de quatro distintos estilos de rios: Canal Não Confinado com Barras Arenosas, Canal Semiconfinado com Leito Cascalho-Rochoso, Canal Semiconfinado com Ilhas de Vegetação e Canal Confinado com Leito Rochoso. Já a primeira parte do segundo estágio contribuiu para analisar a capacidade de ajuste desses estilos identificados. O fato de o canal principal do Alto Paraíba não apresentar uma grande variação de unidades geológicas, unidades de paisagem, compartimentos geomorfológicos e declividade, além da predominância de trechos não confinados, possibilitou a identificação de poucos Estilos Fluviais.

Apesar de tudo isso, faz-se necessário o monitoramento dos trechos analisados, para a identificação de possíveis mudanças, levando em consideração que desde a perenização do canal estudado não houve nenhuma grande cheia, podendo acontecer futuramente. Além disso, é importante, em trabalhos futuros, trabalhar com os estágios e etapas (da abordagem dos Estilos Fluviais) que não foram trabalhados nesta pesquisa, para que esses trabalhos sejam mais aprofundados e apresentem informações ainda mais consistentes.

Existe também a necessidade de trabalhar com Estilos Fluviais em áreas que ainda não foram perenizadas, comparando o antes e depois do recebimento das águas e identificando as modificações físicas e na dinâmica do canal, criando uma rede de informações, servindo de base para futuras pesquisas. Em suma, é importante que outros trabalhos deem continuidade a trabalhos como este, visto que as análises da dinâmica fluvial são fundamentais para a gestão de recursos hídricos, em especial, em regiões como o alto curso do rio Paraíba, onde esses recursos são escassos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, M. M.; RIBEIRO, L.; ARSÊNIO, P.; BULCÃO, L. Dinâmica geomorfológica como metodologia básica na avaliação da sensibilidade da paisagem. Aplicação ao Ilhéu de Vila Franca do Campo, S. Miguel, Açores. **Associação Portuguesa de Geomorfólogos**, v. 1, APGeom, Lisboa, p. 49-58, 2002.

ASSUMPCÃO, A. P.; MARÇAL, M. dos S. Retificação dos canais fluviais e mudanças geomorfológicas na planície do rio Macaé (RJ). **Revista de Geografia (UFPE)**, v. 29, n. 3, 2012.

AZEVEDO, L. G. T. de.; PORTO, R. L. L.; MÉLLO JÚNIOR, A. V.; PEREIRA, J. G.; ARROBAS, D. L. P.; NORONHA, L. C.; PEREIRA, L. P. **Transferência de águas entre bacias hidrográficas**. 1ª ed, 93 p., Banco Mundial – Brasília, 2005.

BARROS, A. C. M. de.; SOUZA, J. O. P. de.; CORRÊA, A. C. de B. Sensitividade da paisagem na bacia do riacho do Mulungu, Belém de São Francisco, Pernambuco. **Revista de Geografia**, Recife: UFPE – DCG/NAPA, v. especial VIII SINAGEO, n. 2, set. 2010.

BIGARELLA, J. J.; SUGUIO, K.; BECKER, R. D. **Ambiente fluvial: ambientes de sedimentação, sua interpretação e importância**. 1ª ed. Curitiba: Editora da Universidade Federal do Paraná. Associação de Defesa e Educação Ambiental, 1979.

BRACKEN, L. J.; CROCKE, L. **The concept of hydrological connectivity and its contribution to understanding runoff-dominated geomorphic systems**. *Hydrological Process*, 21, 1749-1763.

BRIERLEY et al. Application of the river styles framework as a basis for river management in New South Wales, Australia. **Applied Geography**, v. 22, p. 91-122, 2002.

BRIERLEY, G. Geomorphology and river management. **KEMANUSIAAN**, v. 15, p. 13-26, 2008.

BRIERLEY, G. J.; FRYIRS, K. River styles, a geomorphic approach to catchment characterization: implications for river rehabilitation in Bega Catchment, New South Wales, Australia. **Environmental Management**, v. 25, n. 6, p. 661-679, 2000.

BRIERLEY, G.; FRYIRS, K. **Geomorphology and river management: applications of the river styles framework**. Blackwell Publishing. 2005.

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

BRUNSDEN, D. Geomorphological events and landform change. **Zeitschrift für Geomorphologie**, v. 40, p. 273-288, 1996.

CASSIANO, G. F.; SIEGLE, E. Migração lateral da desembocadura do rio Itapocú, SC, Brasil: Evolução Morfológica e Condicionantes Físicas. **Revista Brasileira de Geofísica**, vol. 28, p. 537-549, 2010.

CASTRO, C. N. de. **Transposição do Rio São Francisco**: análise de oportunidade do projeto. Rio de Janeiro: IPEA, 2011.

CAVALCANTE, A. A.; CUNHA, S. B. da. Morfodinâmica fluvial em áreas semiáridas: Discutindo o Vale do Rio Jaguaribe – CE – Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 13, n. 1, p. 39-49, jan./mar. 2012.

CAVALCANTI, L. C. de S. **Cartografia de paisagens**: fundamentos. São Paulo, Oficina do Texto, 2014.

CHRISTOFOLETTI, A. A aplicação da abordagem em sistemas na geografia física. **Revista Brasileira de Geografia**, 52. São Paulo, p. 21-35, 1990.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia fluvial**. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 1981.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2ª ed, São Paulo: Editora Blucher, 1980.

CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS DA PARAÍBA. **Proposta de instituição do comitê da bacia hidrográfica do rio Paraíba, conforme resolução N.º 1, de 31 de agosto de 2003, do Conselho Estadual de Recursos Hídricos da Paraíba**. 2003.

CORRÊA, A. C. de B.; TAVARES, B. de A. C.; MONTEIRO, K. de A.; CAVALCANTI, L. C. de S.; LIRA, D. R. de. Megageomorfologia e morfoestrutura do Planalto da Borborema. **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, v. 31, p. 35-52, 2010.

COSTA, J. E.; MILLER, A. J.; POTTER, K. W.; WILCOCK, P. R. **Natural and anthropic influences in fluvial geomorphology**. Geophysical Monograph, v. 89, 239 p., American Geophysical Union, Washington, DC, 1995.

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Diversidade do Estado da Paraíba**. Recife, 2016.

EPSTEIN, C. M. Application of rogens analysis to the New Jersey Pine Barrens. **Jornal of the American Water Resources Association**, v. 38, p. 69-78, 2002.

FEITOSA, A. FECHINE, J. A. L.; FERREIRA, C. W. S.; ARAÚJO, M. S. B. de. Modelagem dinâmica de escoamento superficial influenciando a susceptibilidade à erosão dos solos num município do semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 11, n. 2, p. 75-82, 2010.

FERNANDEZ, O. V. Q. A classificação fluvial de Rosgen aplicada em córregos da região Oeste do estado do Paraná, Brasil. **Revista do Departamento de Geografia – USP**, v. 31, p. 1-13, 2016.

FRYIRS, K. A.; BRIERLEY, G. J. (2013) **Geomorphic analysis of river systems: an approach to reading the landscape**. John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK.

FRYIRS, K.; BRIERLEY, G. J. Naturalness and place in river rehabilitation. **ecology and society**, v 14, n. 1, p. 20, 2009.

FRYIRS, K.; SPINK, A.; BRIERLEY, G. **Earth surface processes and landforms**. John Wiley & Sons, Ltd, 2009.

GALLAGHER, K.; JONES, S. J.; WAINWRIGHT, J. **Landscape evolution: climate and tectonics over different time and space scales**. The Geological Society of London, 296 p., p. 29-46, 2008.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. (Orgs.) **Métodos de pesquisa**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

GOUDIE, A. S. **Encyclopedia of geomorphology**. Routledge Ltd, 2004.

GRIEVE, I. C. Human impacts on soil properties and their implications for the sensitivity of soil systems in Scotland. **Catena**, p. 361-374, 2001.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. da C. **Geomorfologia: Uma atualização de bases e conceitos**. 10ª ed, 474 p., Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011.

GUERRA, A. T.; GUERRA, A. J. T. **Novo dicionário geológico-geomorfológico**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1994.

KEINA, M.; PAULA, E. V. de.; SANTOS, L. J. C. Análise comparativa dos estilos fluviais do rio Sagrado (Morretes/PR) para os anos de 2006 e 2011. **Revista Geografar - Curitiba**, v. 9, n. 1, p. 27-44, jun./ 2014.

KLEINA, M. **Sensitividade fluvial na bacia hidrográfica do rio Sagrado (Morretes/PR)**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Curitiba, 2016.

LEITE, M. E.; SANTOS, I. de S.; ALMEIDA, J. W. L. Mudança de uso do solo na bacia do rio Vieira, em Monte Claros/ MG. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 4, p. 779-792, 2011.

LEOPOLD, L. B.; WOLMAN, M. G.; MILLER, J. P. **Fluvial processes in geomorphology**. W. H. Freeman & Co., San Francisco, EUA, 1964.

LIMA, R. N. de S.; MARÇAL, M. dos S. Avaliação da condição geomorfológica da bacia do Rio Macaé – RJ a partir da metodologia de classificação dos estilos fluviais. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 14, n. 2, p. 171-179, 2013.

MAIA, R. de S. **Identificação e caracterização dos estilos fluviais da bacia do riacho do Tigre – PB**. Monografia (Graduação) – Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2016.

MAKASKE, B. Anastomosing rivers: a review of their classification, origin and sedimentary products. **Earth-Science Reviews**, n. 53, p. 149-196, 2001.

MARQUES NETO, R. A abordagem sistêmica e os estudos geomorfológicos: algumas interpretações e possibilidades de aplicação. **Geografia**, v. 17, n. 2, jul./dez. 2008, p. 67-87.

MATSUZAKI, M. **Transposição das águas do Braço Taquacetuba da represa Billings para a represa Guarapiranga: aspectos relacionados à qualidade de água para abastecimento.** Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo. Faculdade de Saúde Pública da USP: São Paulo, 2007.

MEDEIROS, V. M. de A.; MOREIRA, L. F. F.; RIGHETTO, A. M. Análise do efeito da variabilidade espacial da precipitação na modelagem do escoamento numa bacia experimental no semiárido nordestino. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 12, n. 3, p. 129-139, jul./set. 2007.

MICHEL, J.; HAYES, M. O.; BROWN, P. J. Application of an oil spill vulnerability index to the shoreline of Lower Cook Inlet, Alaska. **Environmental Geology**, v. 2, p. 107-117, 1978.

MILNE, J. A.; HARTLEY, S. E. Upland plant communities – sensitivity to change. **Catena**, p. 333-343, 2001.

MINISTÉRIO DE INTEGRAÇÃO NACIONAL. Projeto de Integração do Rio São Francisco: O andamento das obras. Disponível em: <<http://www.mi.gov.br/web/projeto-sao-francisco/o-andamento-das-obras>>. Acesso em: 31 de maio de 2017.

NOBRE FILHO, P. A.; SABADIA, S. A. B.; DUARTE, C. R.; MAGINI, C.; NOGUEIRA NETO, J. de. A.; SILVA FILHO, W. F. Impactos ambientais da extração de areia no canal ativo do rio Canindé, Paramoti, Ceará. **Revista de Geologia**, v. 24, n. 2, p. 126-135, 2011.

OLIVEIRA, E. D. de.; VESTENA, L. R. Alterações na morfologia de canais fluviais na área urbana de Guarapuava (PR). **Ambiência**, v. 8, p. 757-773, nov. 2012.

OLIVEIRA, P. S. (Org.) **Metodologia das ciências humanas**. 2ª ed. São Paulo, Hucitec/ Ed. Da UNESP, 2001.

OLIVEIRA, V.; ALVES, M. I. C. Morfologia e dinâmica fluvial do rio Neiva (WN de Portugal). **Estudos do Quaternário**, v. 7, p. 41-59, 2011.

POMPÊO, M. L. M. (ed). **Perspectivas da limnologia no Brasil**, São Luís: Gráfica e Editora União, 198 pg, 1999.

REID, H. E.; BRIERLEY, G. J. Assessing geomorphic sensitivity in relation to the river capacity for adjustment, **Geomorphology**, 2015.

RIBEIRO, S. C.; MARÇAL, M. dos S. Morfologia de áreas semiáridas: uma contribuição ao estudo dos sertões nordestinos. **Revista de Geografia**. Recife: UFPE – DCG/NAPA, v. 27, n. 1, p. 120-137, jan./mar. 2010.

ROSGEN, D. L. A classification of natural rivers. **Catena**, 22: 169-199, 1994.

SANTOS, D. N. dos. **Análise da extração de areia no trecho livre do canal do alto curso do rio Paraná, entre os municípios de Guaíra e Marilena (PR): impactos ambientais e aplicabilidade**. Tese (Doutorado). Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Campo de Rio Claro, São Paulo, 2013.

SEGUNDO NETO, F. V. de A. **Diferentes formas de abastecimento de água na região semiárida da bacia do rio Paraíba**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba. Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente – PRODEMA/UFPB, João Pessoa, 2016.

SEVÁ FILHO, A. O. **A era final das grandes represas e transposições entre bacias fluviais**: assumir e avaliar os passivos existentes, restringir e cancelar projetos. Conferência apresentada na sessão *Alternativas a las Estrategias de Grandes Obras Hidraulicas* do *Encontro por una Nueva Cultura del Agua in America Latina*, Fortaleza, Ceará, Brasil, 07 de dezembro de 2005.

SIEGLE, E.; SCHETTINI, C. A. F. **Migração lateral de desembocaduras**: balanço entre deriva litorânea e orientação do canal. VI Simpósio Nacional de Geomorfologia – Geomorfologia Tropical e Sub-tropical: Processos, Métodos e Técnicas., Goiânia, 6 a 10 de setembro de 2006.

SANTOS, C. J. da. **Análise da estabilidade lateral em ambientes fluviais do semiárido paraibano**. Monografia (Graduação) – Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2016.

SIQUEIRA, A. G. et al. **Modificações fluviais à jusante de barragens**. 14º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 2013.

SOUZA, J. O. P. de. Dos sistemas ambientais ao sistema fluvial – uma revisão de conceitos. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 14, n. 46, p. 224-233, set./ 2013.

SOUZA, J. O. P. de. **Modelos de evolução da dinâmica fluvial em ambiente semiárido** – bacia do riacho do Saco, Serra Talhada, Pernambuco. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Pernambuco, Campus Recife, Curso de Pós-Graduação em Geografia. Recife. 2014.

SOUZA, J. O. P. de.; ALMEIDA, J. D. M. Processos fluviais em terras secas: uma revisão. **Revista OKARA, Geografia em Debate**, v. 9, n. 1, p. 108-122, 2015. ISSN: 1982-3878 João Pessoa, PB, DGEOC/CCEN/UFPB, 2015.

SOUZA, J. O. P. de.; BARROS, A. C. M. de.; CORREA, A. C. de B. Estilos fluviais num ambiente semiárido, bacia do riacho do Saco, Pernambuco. **Finisterra**, n. 102, p. 3-23, 2016.

SOUZA, J. O. P. de.; CORRÊA, A. C. de B. Análise da sensibilidade da paisagem na bacia do riacho do Saco – PE. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 16, n. 4, p. 615-630, out./dez. 2015.

SOUZA, J. O. P. de.; CORREA, A. C. de B. Identificação de áreas de alta sensibilidade da paisagem em bacia semiárida – Serra Talhada/ PE. **Revista Geonorte**, v. 10, n. 1, p. 145-150, 2014.

SOUZA, J. O. P. de.; CORRÊA, A. C. de B. Sistema fluvial e planejamento local no semiárido. **Mercator**, Fortaleza, v. 11, n. 24, p. 149-168, jan./abr. 2012.

SOUZA, J. O. P. **Sistema fluvial e açudagem no semiárido, relação entre a conectividade da paisagem e dinâmica da precipitação, na bacia de drenagem do riacho do Saco, Serra Talhada, Pernambuco**. 2011. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. Programa de pós-graduação em geografia. Recife, p. 17-19, 2011.

SOUZA, B. I. de.; SUERTEGARAY, D. M. A.; LIMA, E. R. V. de. Desertificação e seus efeitos na vegetação e solos do cariri paraibano. **Mercator**, Fortaleza, v. 8, n. 6, 2009.

THOMAS et al. (2011) **Arid zone geomorphology: Process, form and change in drylands**. John Wiley & Sons, Ltd, University of Oxford, UK.

THOMAS, M. F. Landscape sensitivity to rapid environmental change – a quaternary perspective with examples from tropical areas. **Catena**, p. 107-124, 2004.

VIANA, R. de M. **Grandes barragens, impactos e reparações:** Um estudo de caso sobre a barragem de Itá. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano e Regional, Rio de Janeiro, 2003.

VICENTE, L.E.; PEREZ FILHO, A. Abordagem sistêmica e geografia. **Geografia**, Rio Claro, v. 28, n. 3, p. 323-344, set./dez. 2003.

VIEIRA, A. S.; SANTOS, V. da S.; CURI, W. F. Escolha das regras de operação racional para subsistema de reservatórios no semiárido nordestino. **Engenharia Ambiental – Espírito Santo do Pinhal**, v. 7, n. 1, p. 37-50, jan./mar. 2010.

VIEIRA, V. P. P. B. Desafios da gestão integrada de recursos hídricos no semiárido. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 8, n. 2, p. 7-17, abr./jun. 2003.

VILLAS BOAS, G. H.; MARÇAL, M. dos S. Avaliação da sensibilidade do sistema fluvial no alto-médio vale do rio Macaé (RJ). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 14, n. 1, p. 93-102, jan./mar. 2013.