

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

**MODIFICAÇÕES GEOMÓRFICAS NOS ESTILOS FLUVIAIS DA BACIA DO ALTO
CURSO DO RIO PIRANHAS, SEMIÁRIDO PARAIBANO**

Jeferson Mauricio Rodrigues

Orientador: Prof. Dr. Jonas Otaviano Praça de Souza

Coorientador: Prof. Dr. Rafael Albuquerque Xavier

LINHA DE PESQUISA: Gestão do Território e Análise Geoambiental

**João Pessoa, PB
2021**

**MODIFICAÇÕES GEOMÓRFICAS NOS ESTILOS FLUVIAIS DA BACIA DO ALTO
CURSO DO RIO PIRANHAS, SEMIÁRIDO PARAIBANO**

JEFERSON MAURICIO RODRIGUES

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal da Paraíba PPGG/UFPB como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Geografia.

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

Coorientador: Prof. Dr. Rafael Albuquerque Xavier.

**João Pessoa
2021**

FICHA CATALOGRÁFICA

Catálogo na publicação Seção de Catalogação e Classificação

R696m Rodrigues, Jeferson Mauricio.

Modificações geomórficas nos estílos fluviais da bacia do alto curso do Rio Piranhas, semiárido paraibano / Jeferson Mauricio Rodrigues. - João Pessoa, 2021.

118 f. : il.

Orientador: Jonas Otaviano Praça de Souza.

Coorientador: Rafael Albuquerque Xavier.

Dissertação (Mestrado) - UFPB/CCEN.

1. Meio ambiente fluvial. 2. Semiárido. 3. Estílos fluviais. 4. Sensitividade. I. Souza, Jonas Otaviano Praça de. II. Xavier, Rafael Albuquerque. III. Título.

UFPB/BC

CDU 504.453(813.3)(043)

ATA DA DEFESA



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

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

1
 2 Aos 19 (dezenove) dias do mês de fevereiro de dois mil e vinte e hum, às 14:00
 3 (quatorze) horas, através da Plataforma Google Meet, reuniram-se em caráter de
 4 solenidade pública, os membros da comissão designada para avaliar **Jeferson Maurício**
 5 **Rodrigues**, candidato ao grau de mestre em Geografia, na área de Território, Trabalho
 6 e Ambiente. Foram componentes da banca examinadora, os professores Jonas
 7 Otaviano Praça de Souza (orientador) - Doutor em Geografia; Rafael Albuquerque
 8 Xavier (coorientador) - Doutor em Geografia; Richarde Marques da Silva (examinador
 9 interno) - Doutor em Engenharia Civil, e Osvaldo Girão da Silva (examinador externo)
 10 Doutor em Geografia, sendo o primeiro, o segundo e o terceiro integrantes do corpo
 11 docente da UFPB e o quarto integrante do corpo docente da UFPE. Dando início aos
 12 trabalhos, o Presidente da banca, Prof. Jonas Otaviano Praça de Souza, após declarar
 13 os objetivos da reunião, apresentou o candidato, a quem concedeu a palavra para que
 14 dissertasse, oral e sucintamente, sobre o tema apresentado, intitulado “**Mudança de**
 15 **Estilos Fluviais na Bacia do Alto Curso do Rio Piranhas, Semiárido Paraibano**”.
 16 Após discorrer sobre o referido tema, o candidato foi arguido pelos examinadores, na
 17 forma regimental. Ato contínuo, passou a comissão em caráter secreto, a proceder a
 18 avaliação e julgamento do trabalho, concluindo por atribuir-lhe o conceito **Aprovado**.
 19 Face à aprovação, declarou o Presidente achar-se o avaliado, legalmente habilitado a
 20 receber o Grau de mestre em Geografia, cabendo à Universidade Federal da Paraíba,
 21 providências como de direito, à expedição do Diploma a que o mesmo fez jus. Nada
 22 mais havendo a tratar, eu, Sônia Maria do Nascimento, na qualidade de secretária,
 23 lavrei a Ata, que submeto a aprovação da Comissão Examinadora.
 24

Sônia Maria do Nascimento

Sônia Maria do Nascimento
 Secretária

Jonas Otaviano P. de Souza

Prof. Dr. Jonas Otaviano Praça de Souza
 Orientador

Rafael Albuquerque Xavier

Prof. Dr. Rafael Albuquerque Xavier
 Coorientador

Richarde Marques da Silva

Prof. Dr. Richarde Marques da Silva
 Examinador interno

Osvaldo Girão da Silva

Prof. Dr. Osvaldo Girão da Silva
 Examinador externo

DEDICATÓRIA

Dedico ao meu pequeno Joaquim Dias Rodrigues, que me mostrou que a vida pode ser boa e bonita.

AGRADECIMENTOS

Inicialmente, quero agradecer ao meu orientador Jonas Otaviano Praça de Souza, que além de ser um grande professor é também um grande amigo. Grato pelos seus ensinamentos, direcionamentos e por ser a referencia mais importante de minha jornada acadêmica.

Agradeço também ao meu co-orientador Rafael Albuquerque Xavier. Suas aulas e aconselhamentos durante esses dois anos foram fundamentais para minha formação e amadurecimento em pesquisa.

Agradeço aos professores Richarde Marques e Osvaldo Girão por aceitarem fazer parte da banca de avaliação da defesa, e, que tenho certeza que darão ótimas contribuições como fizeram na qualificação.

Agradeço aos colegas do GEAFS, sem dúvida vocês têm minha eterna gratidão. Os perrengues dos campos, as euforias a cada aprovação na pós-graduação, os eternos debates acadêmicos e não acadêmicos nos fizeram pessoas melhores e fortificaram nossos laços de amizade.

Agradeço a minha turma do Mestrado da UFPB, juntos tivemos aulas incríveis e compartilhamos conhecimentos que enriqueceram essa pesquisa.

Agradeço a todos os professores do departamento de Geografia da UFPB e do Programa de Pós-Graduação em Geografia também da UFPB. Não poderia deixar de agradecer especialmente a alguns professores que passaram pela minha vida na graduação ou na pós e que foram fundamentais para minha formação como pesquisador ou professor, que são Magno Erasto, Bartolomeu Israel e Marco Mitidiero. A vocês meu muito obrigado.

Agradeço a minha esposa Vitória Dias e meu filho Joaquim Rodrigues que são o motivo de eu continuar firme e sempre constante na minha caminhada.

Por fim, agradeço a Deus pela vida.

RESUMO

As terras secas são caracterizadas geralmente por serem áreas de pouca chuva, no entanto, os detalhes de sua superfície são atribuídos à atuação dos sistemas fluviais. Logo, compreender as paisagens de terras secas é entender os processos e formas fluviais. Todavia, rios de terras secas têm comportamento totalmente diferenciado dos canais de terras úmidas, considerando a variabilidade irregular das chuvas. Dessa maneira, escoamentos efêmeros e intermitentes são predominantes e a maneira como esses canais modificam sua morfologia e processos ao longo do tempo também é inerente à dinâmica ambiental das terras secas. Dado o exposto, esse estudo ocorreu na bacia hidrográfica do alto curso do rio Piranhas, localizada no Sertão paraibano (ambiente semiárido), onde essa bacia funcionará como receptora das águas do rio São Francisco quando o Eixo Norte for concluído. Essa pesquisa teve como objetivo geral analisar a dinâmica fluvial e propensão à mudança dos canais. Para isso, foi necessário analisar as características físicas da bacia, definir os estilos fluviais, seus respectivos padrões de propensão à mudança e condições geomórficas. A metodologia utilizada foi a proposta teórico-metodológica de estilos fluviais, considerando os primeiros dois estágios dessa abordagem, que permitiu analisar as características fluviais atuais e pretéritas dos trechos identificados. Nessa perspectiva, foram identificados 8 estilos fluviais que variaram de confinados e parcialmente confinados a não confinados. De maneira geral, os estilos confinados foram relacionados às áreas mais próximas da cabeceira e apresentaram controle rochoso nas margens e leitos com alta energia de fluxo, atribuindo-lhes baixos níveis de sensibilidade e boa condição geomórfica. Entre os estilos parcialmente confinados a predominância foi de canais com moderada sensibilidade, onde apenas o Estilos Fluvial Parcialmente Confinado Rochoso e Arenoso (EFPCRA) apresentou alta propensão á mudança de acordo com seus geoindicadores e má condição geomórfica, por se tratar de um trecho não esperado para sua posição na bacia hidrográfica. Os estilos não confinados tiveram predominância de alta sensibilidade em seus trechos, onde apenas o Estilo Fluvial Não Confinado Rochoso e Cascalhento (EFNCRC) localizado próximo à foz do rio Piranhas apresentou sensibilidade moderada, tendo em vista seu controle rochoso no leito, contudo, sua má condição geomórfica ficou associada às suas características inesperadas para sua posição na bacia hidrográfica. Por fim, a análise histórica da vazão permitiu ter um entendimento acerca da dinâmica dos estilos que apresentaram maior propensão à mudança, evidenciando os possíveis eventos de alta magnitude que geraram alteração morfológica nesses estilos.

Palavras chave: Semiárido; Estilos Fluviais; Sensibilidade.

ABSTRACT

Dry lands are generally characterized by being areas of little rain, however, the details of their surface are attributed to the performance of river systems. Therefore, understanding dry land landscapes means understanding river processes and forms. However, dry land rivers have a different behavior from wetland channels, considering the irregular rainfall variability. Ephemeral and intermittent flows are predominant and the way these channels modify their morphology and processes over time is also inherent to the environmental dynamics of dry lands. This study took place in the hydrographic basin of the upper Piranhas River, located in the Paraíba hinterland (semi-arid environment), where this basin will function as a receiver of the waters of the São Francisco River when the North Axis is completed. This research aimed to analyze the river dynamics and the propensity to change channels. For that, it was necessary to analyze the physical characteristics of the basin, define the river styles, their respective patterns of propensity to change and geomorphic conditions. The methodology used was the theoretical-methodological proposal of river styles, considering the first 2 stages of this approach, which allowed to analyze the current and past river characteristics of the stretches identified. In this perspective, 8 river styles were identified, ranging from confined and partially confined to non-confined. In general, the confined styles were related to the areas closest to the head and presented rocky control on the margins and beds with high flow energy, giving them low levels of sensitivity and good geomorphic condition. Among the partially confined styles, the predominance was of channels with moderate sensitivity, where only EFPCRA showed a high propensity to change according to its geo-indicators and poor geomorphic condition, as it is an unexpected stretch for its position in the hydrographic basin. The untrusted styles had a predominance of high sensitivity in their stretches, where only the EFNCRC located near the mouth of the Piranhas River presented moderate sensitivity, in view of its rocky control in the bed, however, its poor geomorphic condition was associated with its unexpected characteristics for their position in the watershed. Finally, the historical analysis of the flow allowed to have an understanding about the dynamics of the styles that showed greater propensity to change, evidencing the possible events of high magnitude that generated morphological alteration in these styles.

Key words: semiarid; river styles; sensitivity.

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	5
2.1. Objetivo Geral	5
2.2. Objetivos específicos.....	5
3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA	6
4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
4.1. Sistema Fluvial Semiárido.....	19
4.2. Evolução fluvial, mudança e probabilidade à mudança	22
4.3. Sensitividade fluvial e capacidade de ajuste	24
4.4. Intervenções e degradação ambiental	25
4.5. Avaliação de condição ambiental de rios	28
4.6. Classificação de canais fluviais	29
5. METODOLOGIA	34
5.1. Estágio 1: Característica e comportamento	36
5.1.1. Etapa 1: Controles Regionais das bacias hidrográficas	36
5.1.2. Etapa 2: Definição e mapeamento dos estilos fluviais	38
5.1.3. Etapa 3: Controles de característica e comportamento dos estilos fluviais	40
5.2. Estágio 2: Condição geomórfica do rio	42
5.2.1. Etapa 1: Determinar a capacidade de ajuste dos estilos fluviais	42
5.2.2. Etapa 2: Avaliar a evolução dos estilos fluviais e determinar uma condição de referencia45	

6.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	47
6.1.	Característica e comportamento fluviais	47
6.2.	Identificação e caracterização dos estilos fluviais.....	53
6.2.1.	Estilos Fluviais Confinados.....	56
6.2.2.	Estilos Fluviais Parcialmente Confinados	61
6.2.3.	Estilos Fluviais Não Confinados	69
6.3.	Identificação dos controles fluviais.....	78
6.4.	Determinar a capacidade de ajuste	83
5.5	Condicionantes de Mudança e sequência evolutiva	89
7.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	97
8.	REFERÊNCIAS	99

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de localização da bacia, evidenciando o trecho do alto curso do rio Piranhas antes da confluência com o Rio Piancó. Elaboração: Autoral: 2019.....	6
Figura 2 - Geologia da bacia do Alto Curso do Rio Piranhas representada por diferentes unidades geológicas e suas respectivas estruturas. Elaboração: Autoral (2019).	9
Figura 3 - Declividade em porcentagem e Modelo Digital de Elevação da bacia do Alto Curso do Rio Piranhas. Elaboração: Autoral (2019).....	14
Figura 4 - Localização das estações pluviométrias utilizadas para espacialização dos dados sobre diferentes cotas altimétricas. Fonte: AESA 2018 e CPRM 2018.....	16
Figura 5 - Espacialização dos dados mensais de chuva das médias mensais de 1996 a 2016. Fonte Rodrigues (2020).	18
Figura 6 - Estágios de análise de estilos fluviais. Fonte: Adaptado de Brierley e Fryirs (2005).	34
Figura 7 - Fluxograma de Estilos Fluviais com Estágios, Etapas e Procedimentos. Fonte: Adaptado de Brierley e Fryirs, 2005.....	35
Figura 8 - A capacidade de ajuste de rios em diferentes tipos de vale. Fonte: Adaptado de Brierley e Fryirs, 2005.....	44
Figura 9 - Fluxograma referente às etapas de análise das imagens de satélite para validação do índice de sensibilidade fluvial. Fonte: Autoral (2020).	46
Figura 10 - Unidades de relevo da bacia do Alto Curso do rio Piranhas. Elaboração: Autor (2019).....	47
Figura 11 - Perfil Longitudinal do rio Piranhas. Elaboração: Autor (2019).....	48
Figura 12 - Perfil Longitudinal do rio do Peixe. Elaboração: Autor (2019).....	49
Figura 13 - Fluviometria do Alto Curso do Rio Piranhas. Elaboração: Autoral (2019).	51
Figura 14 - Estilos Fluviais e Pontos do Campo analisados. Fonte: Autoral (2020).....	55
Figura 15 - Características dos estilos fluviais de acordo com o confinamento do vale. Fonte: Autoral (2020).	55
Figura 16 - Estilo Fluvial Confinado Cascalhento e Arenoso. Elaboração: Autoral (2020).....	59

Figura 17 - Estilo Fluvial Confinado Rochoso. Fonte: Autoral (2020).....	60
Figura 18 - Estilo Fluvial Parcialmente Confinado Rochoso E Arenoso. Elaboração: Autoral (2020)....	66
Figura 19 - Estilo Fluvial Parcialmente Confinado Cascalhento. Elaboração: Autoral (2020).	67
Figura 20 - Estilo Fluvial Parcialmente Confinado Arenoso. Elaboração: Autoral (2020).	68
Figura 21 - Estilo Fluvial Não Confinado Arenoso. Elaboração: Autoral (2020).	75
Figura 22 - Estilo Fluvial Não Confinado Cascalhento. Elaboração: Autoral (2020).....	76
Figura 23 - Estilo Fluvial Não Confinado Rochoso e Cascalhento. Elaboração: Autoral (2020).	77
Figura 24 – Relação entre <i>Stream Power</i> e estilos fluviais do rio Piranhas. Elaboração: Autoral (2020).	79
Figura 25 - Relação entre Stream Power e estilos fluviais do rio do Peixe. Os estilos fluviais foram distribuídos no perfil longitudinal. Elaboração: Autoral (2020).	81
Figura 26 - Localização da estação fluviométrica Várzea Grande e distribuição dos eventos de alta, moderada e baixa magnitude no alto curso do rio Piranhas. Fonte de dados de vazão: Ana (2018). Elaboração: Autoral (2021).	90
Figura 27 – Imagens de satélite antes (09/03/2004) e após (14/11/2009) do maior evento de alta magnitude que ocorreu no ano de 2008. Fonte: Google Earth (2020). Elaboração: Autoral (2021)....	91
Figura 28 – Localização da estação fluviométrica Aparecida e distribuição dos eventos de alta, moderada e baixa magnitude no alto curso do rio Piranhas. Fonte de dados de vazão: Ana (2018). Elaboração: Autoral (2021).	92
Figura 29 – Imagens de satélite antes (10/08/2004) e após (08/07/2009) do maior evento de alta magnitude que ocorreu no ano de 2008. Fonte: Earth (2020). Elaboração: Autoral (2021).	93
Figura 30 – Localização da estação fluviométrica São Domingos de Pombal e distribuição dos eventos de alta, moderada e baixa magnitude no alto curso do rio Piranhas. Fonte de dados de vazão: Ana (2018). Elaboração: Autoral (2021).	95
Figura 31 - Imagens de satélite antes (26/07/2013) e após (21/12/2018) do maior evento de alta magnitude que ocorreu no ano de 2008. Fonte: Earth (2020). Elaboração: Autoral (2021).	96

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Informações geológicas da bacia hidrográfica do alto curso do rio Piranhas. Fonte: CPRM, 2018.....	11
Tabela 2 - Etapas do Estágio 1. Fonte: Adaptado de Brierley e Fryirs (2005).	36
Tabela 3 - Variáveis avaliadas para determinar a configuração do vale. Fonte: Adaptado de Brierley e Fryirs (2005).....	38
Tabela 4 - Informações necessárias para análises individuais de estilos fluviais. Fonte: Adaptado de Brierley e Fryirs (2005).	39
Tabela 5 - Etapas do Estágio 2. Fonte: Adaptado de Brierley e Fryirs (2005).	42
Tabela 6 - Variáveis dos geoindicadores. Fonte: Adaptado de Brierley e Fryirs (2005).	42
Tabela 7 - Procedimentos para cada geoindicador. Fonte: Adaptado de Brierley e Fryirs, 2005.....	43
Tabela 8 - Localização das estações pluviométricas em suas respectivas unidades de relevo, mês de maior precipitação média e estação fluviométrica correlacionada. Elaboração: Autoral (2019).....	52
Tabela 9 - Matriz do Estilo Fluvial Confinado Cascalhento e Arenoso. Elaboração: Autoral (2020).....	57
Tabela 10 - Matriz do Estilo Fluvial Confinado Rochoso. Elaboração: Autoral (2020).	58
Tabela 11 - Matriz do Estilo Fluvial Parcialmente Confinado Rochoso e Arenoso. Elaboração: Autoral (2020).	62
Tabela 12 - Matriz do Estilo Fluvial Parcialmente Confinado Cascalhento. Elaboração: Autoral (2020).	63
Tabela 13 - Matriz do Estilo Fluvial Parcialmente Confinado Arenoso. Elaboração: Autoral (2020). ...	65
Tabela 14 - Matriz do Estilo Fluvial Não Confinado Arenoso. Elaboração: Autoral (2020).....	70
Tabela 15- Matriz do Estilo Fluvial Não Confinado Cascalhento. Elaboração: Autoral (2020).....	72
Tabela 16 - Matriz do Estilo Fluvial Não Confinado Rochoso e Cascalhento. Elaboração: Autoral (2020).	73
Tabela 17 - Controles fluviais do alto curso do rio Piranhas. Elaboração: Autoral (2020).....	79

Tabela 18 - Controles fluviais do alto Curso do rio Piranhas. Fonte: Autoral (2020)..... 82

Tabela 19 - Geoindicadores analisados para determinar os graus de liberdade de ajuste dos estilos fluviais do alto curso do rio Piranhas. Elaboração: Autoral (2020) 84

1. INTRODUÇÃO

Terras secas podem referir-se a qualquer área que apresente extrema aridez, aridez e semiaridez (MEIGS, 1953, apud GRAFF, 2011; TOOTH, 2000). A definição do índice de Aridez tem base em Thornthwaite, que desenvolveu sua proposta para a definição do mapa mundial das terras áridas pela UNESCO em 1952. De acordo com sua proposta, o grau de aridez de uma área depende da quantidade de chuva (P) e da perda máxima de água através da evaporação e transpiração (ETP), podendo ser classificado como Hiper Árido com valores abaixo de 0,05; Árido entre 0,05 e 0,20; Semiárido entre 0,21 e 0,50; Subúmido Seco entre 0,51 e 0,65; e Subúmido e Úmido maior que 0,65 (CAVALCANTI et al., 2006).

As terras secas são caracterizadas geralmente por serem áreas de pouca chuva, no entanto, os detalhes de sua superfície são atribuídos à atuação dos sistemas fluviais. Logo, compreender as paisagens de terras secas é entender os processos e formas fluviais (GRAFF, 2011). É importante salientar que um terço da superfície terrestre é caracterizada/considerada seca (COOKE et al., 1982, apud GRAFF, 2011) e um quinto da população mundial está situada nessas áreas, dando-lhes uma característica significativa dos estudos em geomorfologia fluvial de ambientes áridos para o bem-estar humano. Todavia, nas últimas décadas, a legislação ambiental e a crescente perturbação humana vista na forma de ocupação desenfreada de sistemas fluviais e a necessidade de garantir o abastecimento de água potável para a população desencadeou o esforço coletivo entre cientistas e gestores de terras para compreender e monitorar rios (BUFFINGTON e MONTGOMERY, 2013).

Os sistemas fluviais de terras secas são geralmente caracterizados como canais intermitentes ou riachos efêmeros, considerando a sua descontinuidade espacial e temporal de fluxo. Canais de terras secas são hidrológicos e ecologicamente distintos de canais perenes, o que remete a questão se os modelos teórico-metodológicos são realmente aplicáveis a canais de terras secas (ALLEN et al., 2020).

Os escoamentos fluviais semiáridos brasileiros não possuem largo referencial teórico na literatura nacional, necessitando de estudos e abordagens que permitam sua compreensão. No entanto, tais estudos não podem partir de adaptações de métodos desenvolvidos para canais de ambientes úmidos (LIMA et al., 2019).

Dito isto, ressalta-se que o semiárido brasileiro é atípico em relação aos outros exemplos de semiáridos no mundo, pois seus valores de precipitação ultrapassam anualmente os 600 mm (CUNHA et al., 2018) podendo ocorrer exceções com valores acima e abaixo desse valor médio (RODRIGUES, 2020). Assim, o fator que o caracteriza como ambiente semiárido é o déficit hídrico causado pelos valores de evapotranspiração que ultrapassam os 2000 mm ao ano, que associados à baixa capacidade de solo (solos rasos em sua maioria) e pelo embasamento cristalino e longos períodos sem chuva corroboram para uma situação ainda mais alarmante acerca dos recursos hídricos disponíveis (SILVA et al., 2010).

Um fator que potencializa a questão do déficit hídrico é que o semiárido brasileiro não possui uma fonte permanente de água durante o ano, gerando por sua vez dificuldade na gestão dos recursos hídricos (VIEIRA, 2003 apud SOUZA, 2014). Dito isto, ocorrem interações homem – natureza no perímetro seco marcadas principalmente pela dinâmica e sazonalidade dos corpos hídricos, como também, pelas diversas necessidades e expectativas humanas, através de intervenções no sentido de reter ou captar água para subsistência pessoal e agrícola. Todavia, a má gestão pode acarretar em sérias consequências para a paisagem/sistema fluvial, bem como para a bacia hidrográfica. Com isso, tendo o sistema fluvial semiárido como objeto de estudo, se faz necessário explanar sobre sua funcionalidade. Entende-se por sistema um complexo de variáveis em interação (MATTOS e PEREZ FILHO, 2013).

O sistema fluvial é composto por elementos em constante interação através da entrada e saída de energia, proporcionando o dinamismo interno do sistema. Estes elementos podem ser bióticos e abióticos e possuem especificidades singulares de acordo com sua característica no sistema. Contudo, cada elemento atua da forma que o sistema lhe permitir, e não com toda sua potencialidade (propriedade emergente) como parte do sistema (MATTOS et al., 2004). Dito isto, a bacia hidrográfica abriga o sistema fluvial e pode ser entendida como um sistema físico tendo a precipitação como entrada de energia e a saída é o volume de água escoado no exutório (ROCHA, 2010). Todavia, a chave para a morfodinâmica fluvial se encontra no material transportado através da força que gera movimento (a água precipitada), em sentido da gravidade, incessantemente em pequenas quantidades, na maioria das vezes. Esta matéria é denominada como sedimento, que é o fator de origem das formas aluviais. Como a água escoada (*runnof*) é responsável pelo transporte dos sedimentos, que por sua vez geram as formas, nas grandes bacias o regime do escoamento, intensidade e sazonalidade são controlados pelos efeitos climáticos.

Assim, a troca de relações entre as partes do sistema permite ao mesmo possuir dinamismo, onde tal propriedade do sistema lhe atribui a possibilidade de constante mudança na sua morfologia. Tais mudanças dependem intrinsecamente e indispensavelmente da magnitude e frequência da atuação de força sobre os elementos, ou seja, a energia que movimenta os processos (SOUZA et al., 2015). A energia que se mantém constante em um sistema ambiental lhe permite assumir uma frequência em sua morfologia durante certo período de tempo, cujos processos não causam mudanças significativas ou abruptas. De modo contrário, os chamados eventos extremos caracterizados principalmente pela grande quantidade de energia disponível em um sistema em curto período de tempo, são os que podem gerar mudanças bruscas. Um extremo climático ocorre quando uma variável meteorológica excede os valores limites/padrões (superiores ou inferiores) normalmente observáveis (CUNHA, 2018).

Considerando que os canais passam por mudanças em seus leitos, onde o curso de água pode variar a morfologia de forma aguda por conta de uma enxurrada, ou de maneira lenta, gradativamente ao longo do tempo (ROCHA, 2010), o regime do escoamento reflete as descargas máximas, médias e mínimas, revelando as variações ao longo do tempo da série histórica. Contudo, implicações antrópicas na rede de drenagem vistas através da relação homem-natureza, promovem alterações na intensidade e qualidade do regime hidrológico na bacia hidrográfica. As intervenções antrópicas tanto no sentido longitudinal, transversal ou vertical podem gerar impactos significativos nas vazões, potencializando nas condições de vulnerabilidade e susceptibilidade de inundações e danos tanto no local da intervenção, como mais à jusante, onde os processos de reconfiguração costumam ser acentuados quando ocorrem práticas de uso da terra e obras de engenharia de forma insustentável, podendo causar interferência na dispersão dessa energia extrema por conta das interferências na dinâmica dos elementos naturais (rede de drenagem, escoamento superficial e subsuperficial) (CUNHA, 2018). Por exemplo, uma intervenção com intuito de controlar cheias em um local pode transferir a inundação para a jusante (MOURA et al., 2016), na forma de ocupações irregulares, canalização, degradação da qualidade das águas, entre outras. Com isso, os sistemas fluviais respondem aos impactos através de desastres ambientais, gerando danos socioeconômicos (BAPTISTA et al., 2016).

A dinâmica fluvial pode ser analisada pelos processos hidrossedimentológicos atuantes (erosão, transporte e deposição), e cada processo possui sua preponderância em diferentes

zonas, ou seja, ambos podem ocorrer em um mesmo trecho, mas um destes processos ocorre com maior intensidade, dependendo das características climáticas e geológicas das áreas (dois principais controles energéticos dos sistemas naturais). Entretanto, alterações nos sistemas podem ocorrer através de alterações diretas nos próprios controles de resistência, como é o caso da retirada da vegetação que não causa alterações na intensidade da energia, mas na forma como ela vai atuar frente aos novos níveis de resistência (SOUZA, 2014).

Toda essa base de informações acerca da dinâmica semiárida traz a necessidade de estudos que abarquem esse ambiente complexo de forma mais aplicada possível, sem tantas adaptações ou generalizações a partir de informações geradas para ambientes úmidos. No entanto, a grande dificuldade em estudos geomorfológicos sobre ambientes fluviais semiáridos parte da premissa que a literatura não apresenta estudos detalhados para essa área do conhecimento (AB´SABER, 2006), o que não remeteu a esta pesquisa estudos feitos para ambientes fluviais úmidos, e sim, de outros canais de ambientes semiáridos, áridos e subúmidos de outras partes do mundo.

A identificação de trechos de canais propensos à mudança é imprescindível para gestão e ordenamento de recortes espaciais como bacias hidrográficas, todavia o arcabouço teórico desse tipo de abordagem também é escasso no semiárido brasileiro, onde alguns estudos como o de Souza (2014) são ressalvas nessa perspectiva de análise. Existe a necessidade de aplicação de modelos para auxiliar o ordenamento territorial e gestão ambiental.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Analisar a dinâmica fluvial e propensão à modificação geomórfica de trechos fluviais na bacia do alto curso do rio Piranhas.

2.2. Objetivos específicos

- Analisar as características físicas da bacia;
- Definir os estilos fluviais e suas propensões à mudança;
- Definir a condição geomórfica dos estilos fluviais;

3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

Este trabalho tem como área de pesquisa a bacia do alto curso do rio Piranhas localizada no Sertão paraibano, ocupando uma área de 35 Municípios que dentre os principais estão: Cajazeiras, Souza e Pombal. O ponto de exutório da bacia está na confluência com o Rio Piancó e o canal principal possui 174,22 km de extensão. O motivo pelo qual foi escolhida esta área para estudo é que ela não sofre influência da Barragem Coremas – Mãe D'água (localizada no Rio Piancó – Afluente do Piranhas), que pereniza artificialmente o médio e baixo curso do rio Piranhas durante o ano inteiro após a confluência com o rio Piancó (Figura1) e altera suas condições/características naturais de vazão (intermitente).

É importante destacar que o alto curso do rio Piranhas faz parte das áreas de cabeceira da bacia do rio Piranhas-Açu. O rio é nomeado Piranhas – Açu ao fluir pelo Estado do Rio Grande do Norte.

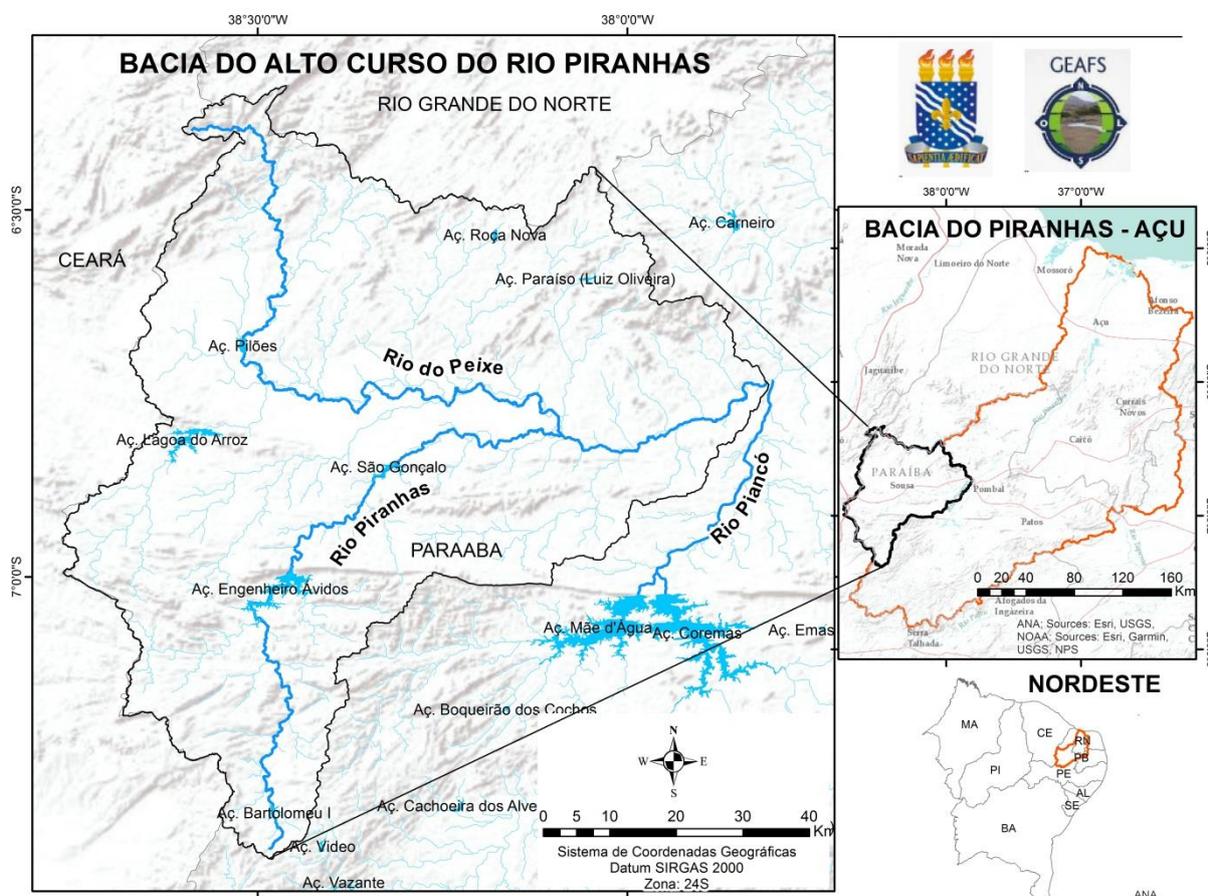


Figura 1 - Mapa de localização da bacia, evidenciando o trecho do alto curso do rio Piranhas antes da confluência com o Rio Piancó. Elaboração: Autoral: 2019.

Ressalta-se que o alto curso do rio Piranhas funcionará como receptor e passagem natural das águas recebidas pelo Eixo Norte do Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF), pois possui um marco regulatório que estabelece vazão de entrega na fronteira estadual entre a Paraíba e o Rio Grande do Norte, o que irá perenizá-lo por completo. A bacia é impactada por barragens, principalmente barragens artesanais construídas pelas comunidades. Contudo, a barragem mais importante é a Engenheiro Ávidos, localizada no município de Cajazeiras - PB (Figura 1). O rio do Peixe é o principal afluente do alto curso do rio Piranhas, e conseqüentemente seu maior contribuinte hidrossedimentológico. A área da bacia do alto curso do rio piranhas é de aproximadamente 6010,73 km², sobre a Depressão Sertaneja, tendo características físicas semelhantes a boa parte do semiárido nordestino. A Depressão Sertaneja é organizada em torno do Planalto da Borborema, e é resultado de morfologia herdada de processos morfoestruturais, onde nessas zonas aplainadas os processos denudacionais superam os agradacionais, formando vastas superfícies erosivas (MAIA et al., 2010).

Como afirma Aziz Ab'Saber

(...) circundando a Borborema pelo Noroeste, Oeste, Sudoeste e Sul, existem extensas e irregulares áreas deprimidas, oriundas da desnudação marginal de camadas mesozoicas (triássicas e cretáceas). (...) No quadro geral das áreas sujeitas à desnudação marginal pós-cretácea no Brasil (Ab-Sáber, 1949), as depressões periféricas do Nordeste se caracterizam exatamente pela curiosa disposição da circundesnudação em torno de um maciço pré-cambriano ilhado pela sedimentação mesozoica, assim como pela notável semi-aridês do seu ambiente climático e pela intermitência dos rios que as atravessam (AB' SABER, 1956, pág. 1).

Assim, formam-se áreas aplainadas onde os processos denudacionais suplantaram os agradacionais, formando vastas superfícies erosivas e conseqüentemente, pedimentos entre o sopé das encostas e os ambientes fluviais, onde a coalescência desses pedimentos formam os pediplanos – processos frequentes da chamada Depressão Sertaneja (MAIA et al., 2010).

Todavia, por mais que a Depressão Sertaneja esteja circundando o Planalto da Borborema, deve-se levar em consideração que ambas fazem parte da Província Estrutural Borborema, ou seja, Sistema Orogênico Borborema que possui seus limites com a bacia do Parnaíba a oeste, ao Sul com o Cráton Sanfranciscano e a Norte e Leste com a Província Costeira (ALMEIDA et al., 1977) (Figura 2). A Província Borborema compreende grande parte tectônica e

estrutural do Nordeste brasileiro, podendo ser entendida como uma faixa colisional envolvendo processos de amalgamação e acreção de microplacas e terrenos consolidados ao final do evento brasileiro no terciário superior, ou seja, um cinturão orogênico meso/neoproterozóico que se estende por grande parte do Nordeste (CAMPELO, 1999) onde a existência de zonas de cisalhamento indica a grande mobilidade que a mesma foi submetida, o que possibilitou a compreensão da Província Borborema a partir de uma subdivisão em Subprovíncias que foram delineadas com base em sua evolução tectônica e estratigráfica.

De acordo com a CPRM (2002) o lineamento de Patos é de extrema importância ao delimitar o contato entre as duas maiores Sub-províncias paraibanas que praticamente dividem o Estado, que é o Domínio Rio Grande do Norte ao Norte e a Zona Transversal ao Sul. Estudos magnéticos feitos pela CPRM através de sensores geofísicos indicam diferença de densidade entre as duas, onde a crosta da província norte é densa evidenciando um amplo assoalho crustal, enquanto a localizada ao sul é leve sugerindo a existência de rochas supracrustais e granitos. O contato entre a subprovíncia Rio Grande do Norte (SRGN) e a Zona Transversal (SZT) marcada pelo lineamento de patos é caracterizada pelo limite crustal formado por um feixe de zonas de cisalhamento dúctil de extensão superior a 900 km, que continua no continente africano denominado como lineamento Adamaoua -Garaoa. Ambos os lineamentos foram separados pelo ciclo brasileiro no mesozoico superior (CASTAIGN et al., 1994, apud CPRM, 2002). A bacia hidrográfica do Alto Curso do Rio Piranhas está compreendida sobre parte das seguintes Subprovíncias: Zona Transversal, Domínio Rio Grande do Norte, Cobertura Cenozoica Indiscriminada e Bacias Sedimentares Interiores da Borborema.

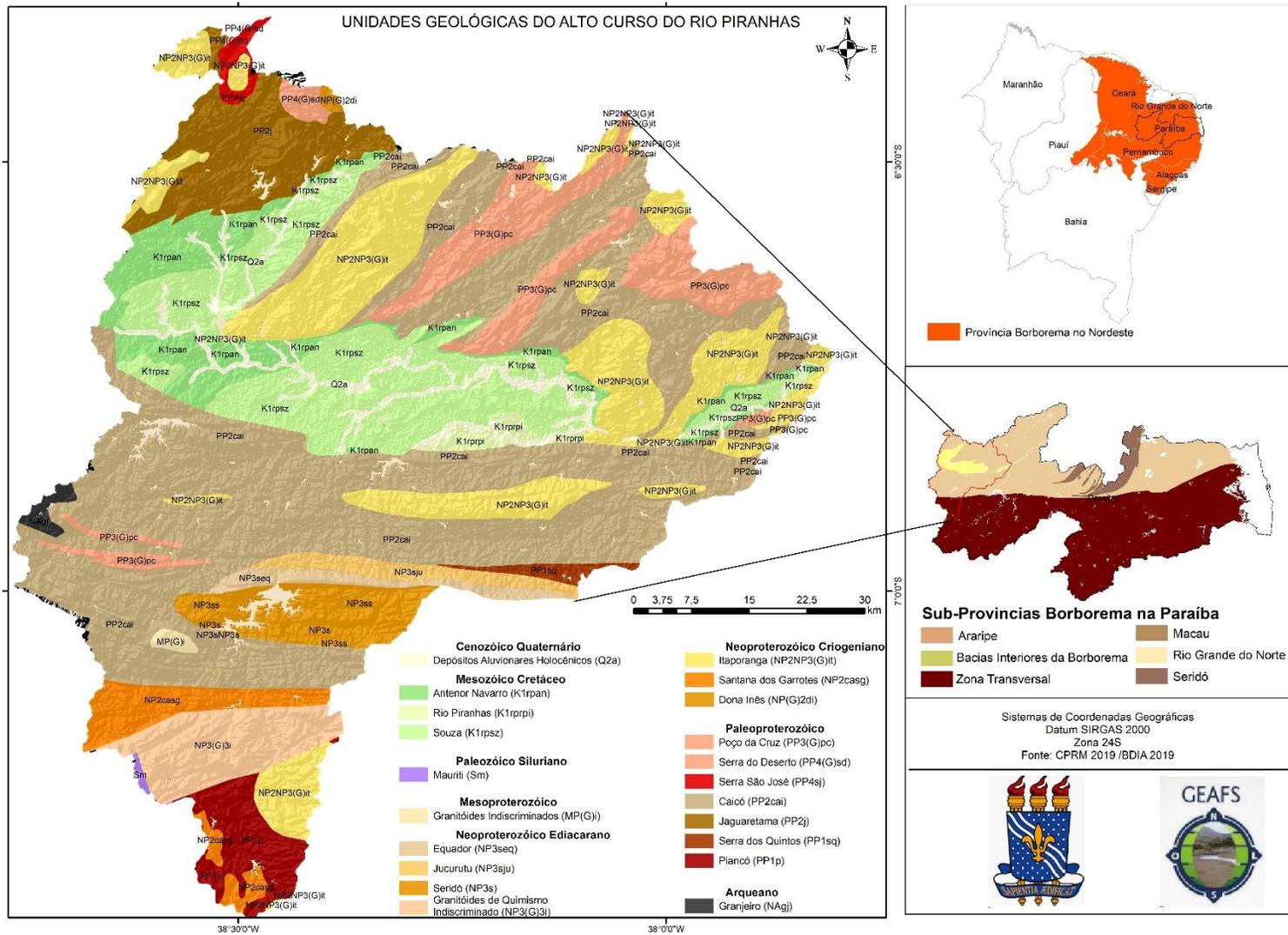


Figura 2 - Geologia da bacia do Alto Curso do Rio Piranhas representada por diferentes unidades geológicas e suas respectivas estruturas. Elaboração: Autorial (2019).

A parte da Subprovíncia Zona Transversal no interior do Alto Curso do Rio Piranhas é composta pelas unidades geológicas Itaporanga, Mauriti, Santana dos Garrotes, Granitoides de Quimismo Indiscriminado e Piancó (Figura 3).

As unidades desta Subprovíncia constituem os terrenos de cabeceira de drenagem da bacia. São terrenos tectono-estratigráficos de idade meso e neoproterozóica em sua maioria, com exceção da formação Mauriti que é do Fanerozóico por ser parte da bacia sedimentar do Araripe (Figura 3) (CPRM, 2002). A unidade geológica Itaporanga é constituída por rochas plutônicas ácidas como granitos e granodioritos. A unidade Mauriti é sedimentar, constituída por arenito conglomerado. A unidade Santana dos Garrotes é constituída por rochas metamórficas em sua maioria e de origem metavulcanossedimentar. A unidade Granitoide de Quimismo Indiscriminado é constituída por rochas de origem genética plutônica como os granitoides. A unidade de maior expressão é a Piancó, que constitui o embasamento paleozoico da Subprovíncia da Zona Transversal da Província Borborema, de rochas com características genéticas metaplutônicas, com anfibolitos, gnaisses e granada-xisto. As informações detalhadas dos litotipos de cada unidade geológica encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1 - Informações geológicas da bacia hidrográfica do alto curso do rio Piranhas. Fonte: CPRM, 2018.

Éon	Era	Período	Província	Sub-Província	Unidade Geológica	Código	Litologia
Fanerozóico	Cenozóico	Quaternário	Borborema	Cobertura Cenozoica Indiscriminada	Depósitos Aluvionares Holocênicos	Q2a	Areia siltosa, argila, cascalho
	Mesozóico	Cretáceo	Borborema	Bacias Interiores da Borborema	Formação Antenor Navarro	K1rpan	Arenito, argilito, calhau
			Borborema	Bacias Interiores da Borborema	Formação Rio Piranhas	K1rprpi	Arenito, arenito argiloso, conglomerado
			Borborema	Bacias Interiores da Borborema	Formação Souza	K1rpsz	Arenito, argilito, calcário
Paleozóico	Siluriano	Borborema	Zona Transversal	Formação Mauriti	Sm	Arenito, conglomerado	
Proterozóico	Mesoproterozóico		Borborema	Rio Grande do Norte	Corpo Granitóides Indiscriminados	MP(G)i	Ortognaisse
	Neoproterozóico	Ediacarano	Borborema	Rio Grande do Norte	Formação Equador	NP3seq	Metaconglomerado, quartzito
			Borborema	Rio Grande do Norte	Formação Jucurutu	NP3sju	Anfibolito, calcissilicática, gnaiss
			Borborema	Rio Grande do Norte	Grupo Seridó	NP3s	Biotita-xisto, calcissilicática, granada-biotita-xisto
			Borborema	Zona Transversal	Corpo Granitóides de Quimismo Indiscriminado	NP3(G)3i	Calcário, granitóide
		Criogeniano	Borborema	Zona Transversal	Suíte Itaporanga	NP2NP3(G)it	Diatexitito, diorito, gabro, gnaiss, granito
			Borborema	Zona Transversal	Formação Santana dos Garrotes	NP2casg	Formação ferrífera, metaconglomerado, megrauvaca
			Borborema	Rio Grande do Norte	Suíte Dona Inês	NP(G)2di	Diorito, gabro, granito
	Paleoproterozóico	Orosiriano	Borborema	Rio Grande do Norte	Suíte Poço da Cruz	PP3(G)pc	Diorito, leuco monzogranito, ortognaisse
		Estateriano	Borborema	Rio Grande do Norte	Suíte Serra do Deserto	PP4(G)sd	Ortognaisse granodiorítico, ortognaisse granítico
			Borborema	Rio Grande do Norte	Grupo Serra São José	PP4sj	Metavulcanica básica, mármore
		Riaciano	Borborema	Rio Grande do Norte	Complexo Caicó	PP2cai	Anfibolito, biotita-xisto, migmatito
			Borborema	Rio Grande do Norte	Complexo Jaguaratama	PP2j	Anfibolito, calcissilicática, migmatito
		Sideriano	Borborema	Rio Grande do Norte	Complexo Serra dos Quintos	PP1sq	Formação ferrífera, gnaiss, metamáfica
	Borborema		Zona Transversal	Complexo Piancó	PP1p	Anfibolito, gnaiss, granada-xisto, mármore	
Arqueano			Borborema	Rio Grande do Norte	Complexo Granjeiro	NAgj	Formação ferrífera, gnaiss, granito, metabasito

A Subprovíncia Rio Grande do Norte é caracterizada como um cinturão neoproterozóico e também por possuir uma expressiva e ampla sedimentação neoproterozóica. Seu perímetro dentro da bacia do Alto Curso do Rio Piranhas é composto pelas Unidades Geológicas Granitóides indiscriminados, Dona Inês, Equador, Jucurutu, Seridó, Serra do Deserto, Serra São José, Poço da Cruz, Caicó, Jaguaretama, Serra dos Quintos e Granjeiro. Tais unidades são compostas majoritariamente por rochas plutônicas e metamórficas, onde a unidade Caicó é a de maior extensão, apresentando-se como um complexo matamórfico. Ocorre ainda duas unidades vulcanossedimentar representadas pelas unidades Serra São José e Serra dos Quintos. Todas estas unidades (com exceção da Granjeiro que é do Arqueano) são do Proterozóico, ou seja, rochas antigas que passaram na grande maioria por diferentes graus de metamorfismo, sendo exceção de alteração mineralógica apenas as unidades Granitóides Indiscriminados e Dona Inês (ambas plutônicas), e as vulcanossedimentares comentadas anteriormente (IBGE, 2019).

A Subprovíncia de Bacias Interiores do Nordeste é representada no Alto Curso do Rio piranhas pelas formações Antenor Navarro, Rio Piranhas e Souza e são constituintes da subbacia Rio do Peixe (afluente do Rio Piranhas). A formação ou unidade Antenor Navarro é constituída por rochas sedimentares como arenito, argilito e conglomerados, por ter origem genética sedimentar clástica, e constitui a base do grupo Rio do Peixe, repousando sobre o embasamento pré-cambriano. A unidade Souza tem origem sedimentar clástica composta por arenitos, argilitos e siltito, repousando sobre a formação Antenor Navarro e servindo de base para a unidade Rio Piranhas. Esta última, por sua vez é tida como resultante da última fase de deposição da bacia sedimentar Rio do Peixe, tendo mesma origem genética das duas anteriores e composta principalmente por arenitos. As três unidades correspondem ao Fanerozóico, mais precisamente, ao Cretáceo inferior.

Por fim, a Subprovíncia dos depósitos aluvionares holocênicos ocorrem em todas as bacias hidrográficas brasileiras ao longo de rios e planícies fluviais. São pertencentes ao quaternário por terem gênese por volta de 12000 anos antes do presente. Sua litologia é composta por areia, argila, cascalho, silte e conglomerado (IBGE, 2019).

É importante destacar que no Nordeste brasileiro os lineamentos tectônicos de direção NE desenvolvidos desde o final do ciclo brasileiro são amplamente reconhecidos, o que acaba condicionando um forte controle estrutural nos cursos fluviais, implicando por sua vez nas

direções preferenciais dos escoamentos de NE-SW e E-W (MAIA et al., 2011), como é o caso dos rios Piranhas, Piancó e Peixe, ou seja, perpendiculares às zonas de cisalhamento. Assim, as dispersões de drenagem estão direcionadas principalmente de Oeste para Leste, existindo algumas exceções, como é o caso do trecho de cabeceira do canal fluvial do Alto Curso do Rio Piranhas que não possui perpendicularidade às principais linhas de falha, mas apenas da metade do curso em diante.

Portanto, observa-se que os sistemas fluviais escoam em sua maioria sobre o cristalino, ressaltando que apenas o rio do Peixe e seus tributários estão situados sobre considerável aquífero sedimentar.

As unidades geológicas também se situam sobre diferentes níveis topográficos, onde as áreas de cabeceira (localizadas ao Sul da bacia hidrográfica sobre a Subprovíncia de Zona Transversal) são caracterizadas por áreas altas e planas em torno de 600 a 857 m, com baixa declividade no topo plano conforme evidenciado na Figura 3, sustentando-se sobre geologia cristalina ígnea e metamórfica das unidades geológicas Granitóides de Quimismo Indiscriminados e do complexo Piancó. Fazem parte das superfícies de topografia elevada da bacia as unidades Serra São José e Itaporanga (extremo Noroeste da Bacia) e formação Poço de Cruz (Nordeste da Bacia), ambas sobre a subprovíncia Rio Grande do Norte.

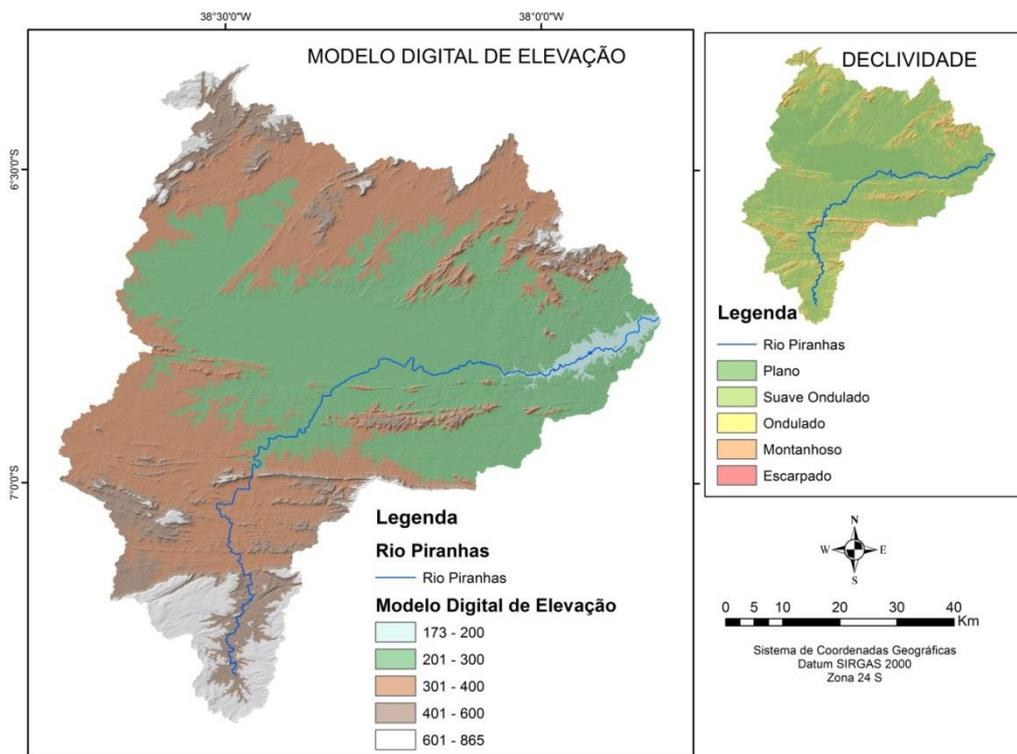


Figura 3 - Declividade em porcentagem e Modelo Digital de Elevação da bacia do Alto Curso do Rio Piranhas. Elaboração: Autoral (2019).

As áreas de altitude intermediárias estão em torno de 300 a 500 m e apresentam topografia que varia majoritariamente de plano a suave ondulado, onde tais compartimentos deprimidos oriundos de denudação e circundesnudação em torno da Borborema faz com que essas áreas deprimidas de relevo suave e baixo constituam parte das principais áreas semiáridas do interior do Nordeste (AB' SABER, 1956) e ocorrem principalmente sobre a unidade geológica do Complexo Caicó, maior em extensão da bacia.

Em termos de declividade, não necessariamente as áreas mais elevadas apresentam altas declividades (forte ondulado, montanhoso e escarpado), mas trazem em seu entorno variações de altitude em distâncias relativamente curtas que propiciam inclinações mais acentuadas, como ocorre na borda das áreas de cabeceira do canal principal localizadas ao Sul. Ou seja, as declividades se apresentam mais acentuadas nas áreas de ruptura de declive/regiões serranas, como também, acompanhando os entornos das áreas mais elevadas da bacia, sendo consequência também de diferenças litológicas nos contatos das unidades geológicas, como ocorre com as unidades Caicó e Santana dos Garrotes, propiciando uma ruptura de declive de superfície escarpada e marcada pela ruptura gerada pela zona de cisalhamento transcorrente

dextral nomeada de Lineamento de Patos. Essa ruptura de declive também evidencia o contato entre a Subprovíncia de Zona Transversal com a Subprovíncia Rio Grande do Norte.

Em constante interação com o substrato geológico atua o clima como esforço externo, ou seja, forças exógenas responsáveis pelo *input* de energia para o sistema ambiental. Assim, do ponto de vista climático a região semiárida é tida como problemática devido a irregularidade no seu regime de chuva tanto temporal quanto espacial, altas temperaturas e altas taxas de evapotranspiração (SCHMIDT et al., 2013).

Algo a ser levado em consideração é que os Sistemas geradores de precipitação no semiárido são: Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), Vórtices Ciclônicos de Ar Superior (VCAS) e OL (Ondas de Leste). A ZCIT atua de fevereiro a maio atingindo os Estados Sertentriônicos do Nordeste Brasileiro. Ela se forma na confluência dos alísios de NE e SE em uma zona de baixa pressão alcançando as áreas nordestinas na estação do verão-outono austral. Os Vcas são circulações ciclônicas fechadas, onde o centro é mais frio que seu entorno. O tempo de atuação sobre a região pode variar de vários dias consecutivos ou até semanas, com máxima atuação no mês de janeiro. As Ondas de Leste são caracterizadas por uma intensidade variável, pois depende da temperatura da superfície do mar, cisalhamento do vento e dos efeitos de orografia, perdendo força conforme for adentrando a massa continental, e seu período de maior intensidade sé de maio a agosto. A estiagem e seca podem estar associadas a influência do El Nino e Dipólo do Atlântico (aquecimento/esfriamento do atlântico Norte/Sul). (SILVA et al., 2018).

Tais sistemas atmosféricos interagem com o complexo convectivo de mesoescala, este responsável pelos principais eventos de distúrbios climáticos. A principal fonte de energia para esses sistemas é o calor latente, liberado nas nuvens convectivas. Os sistemas de mesoescala se originam sobre o Oceano Atlântico quando as condições estão propícias e se deslocam para o continente, seguindo uma trajetória zonal, chegando a atingir o Sertão paraibano e geralmente estes sistemas se formam a partir de perturbações ao Sul da ZCIT, costumando sofrer uma intensificação através da topografia (FILHO et al., 1996).

As chuvas no sertão paraibano são concentradas em alguns meses do primeiro semestre do ano, mais especificamente de fevereiro a maio (RIBEIRO et al., 2013). Estas chuvas geralmente são atribuídas à ZCIT que atua até o mês de abril, todavia, as chuvas após o mês de abril são geradas ou por Ondas de Leste intensificadas com foça suficiente para chegar ao

sertão, ou chuvas locais frontais. O diferencial da ZCIT é que ela é a principal fornecedora de chuvas intensas que podem causar eventos extremos no semiárido paraibano, e consequentemente o aumento de energia no sistema geomorfológico.

De modo geral no quadro regional semiárido as temperaturas médias são elevadas, acima de 26 graus condicionando a uma intensa evaporação e consequentemente proporcional *déficit* hídrico (CONTI, 2005).

Nessa perspectiva, a partir de uma análise de dados médios mensais em uma série de 20 anos de dados nos postos pluviométricos existentes na bacia foi possível a identificação da estação chuvosa da bacia do Alto Curso do Rio Piranhas, na medida que foram feitas as considerações sobre os sistemas formadores de chuva dessa área. As estações analisadas situam-se em diferentes patamares de altitude (Figura 4).

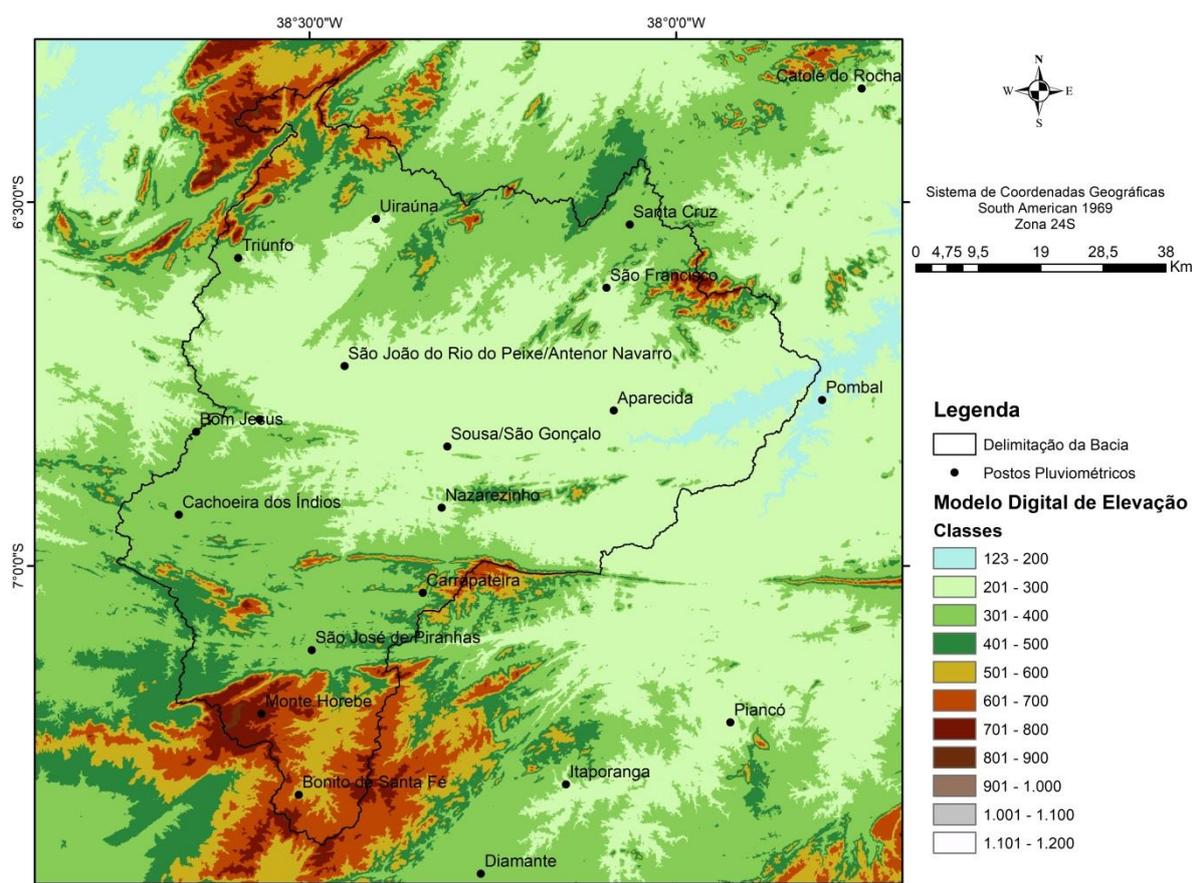


Figura 4 - Localização das estações pluviométrias utilizadas para espacialização dos dados sobre diferentes cotas altimétricas. Fonte: AESA 2018 e CPRM 2018

A Figura 4 permite a visualização de que as áreas com maiores valores de precipitação estão localizadas nos locais mais altos da bacia, pois a altitude é um fator climático determinante na distribuição da pluviosidade na superfície terrestre, originando chuvas orográficas e resfriamento adiabático do ar, o que precipita a umidade do ar em forma de chuva, algo corriqueiro no semiárido pois as depressões locais são menos beneficiadas pela pluviosidade, o que acentua pontualmente a aridez (CONTI, 2005).

Desse modo, a interpolação permitiu a espacialização dos mesmos sobre toda a área da bacia, implicando em um entendimento mais geral e distribuído das áreas que não possuem postos de coleta de dados de chuva (Figura 5).

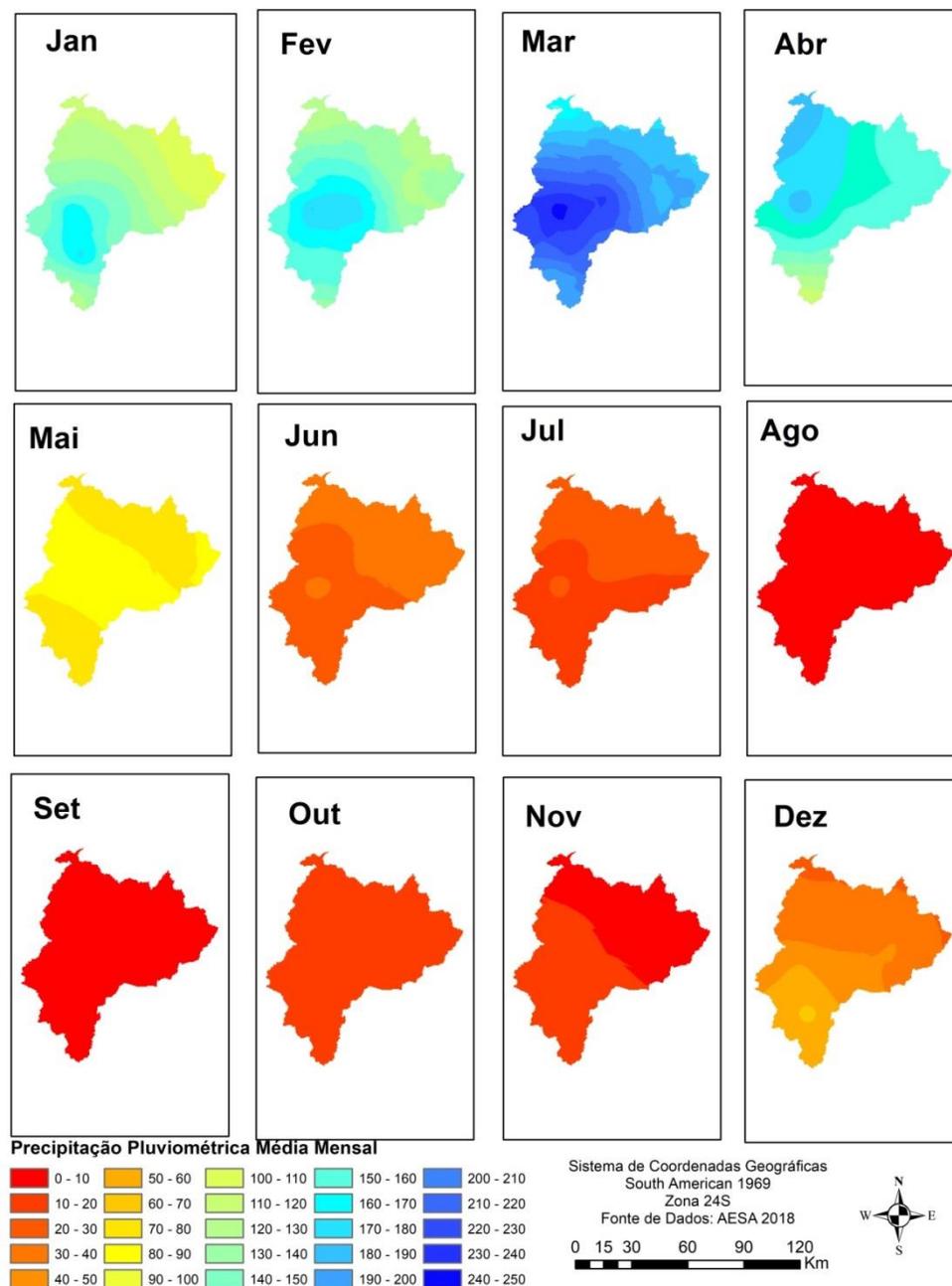


Figura 5 - Espacialização dos dados mensais de chuva das médias mensais de 1996 a 2016. Fonte Rodrigues (2020).

Além disso, pode ser que os fatores continentalidade e altitude influenciem diretamente o regime pluviométrico da depressão sertaneja por esta se localizar distante das áreas sob influência marítima e a oeste do Planalto da Borborema, sofrendo os efeitos da zona de sombra pluvial gerada pela altitude do Planalto impedindo que os sistemas de chuvas gerados pelos ventos alísios de E alcancem as áreas sertanejas. Todavia, estas informações serão buscadas em trabalhos futuros.

4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1. Sistema Fluvial Semiárido

O sistema fluvial é um sistema não isolado aberto e funcional, onde o *output* de energia de um sistema climático se torna o *input* de energia do sistema bacia hidrográfica e consequentemente fluvial (CHRISTOFOLETTI, 1980), que, ao aumentar a escala de análise de bacia para canal, as questões de formação, transporte e deposição de sedimentos se tornam o foco da análise (SOUZA, 2013). Desta maneira, o clima atua como fonte de energia para o sistema fluvial, condicionando o comportamento dos canais (VANDENBERGHE, 2003). É importante salientar que nenhum dos processos fluviais funciona de maneira excludente, ou em pontos isolados no sistema, mas, podem ocorrer simultaneamente num mesmo perímetro, com a predominância de um desses processos, gerando assim, suas zonas: erosão, transporte e deposição (SHUMM, 1977 apud SOUZA, 2013). O processo fluvial, por sua vez, está intimamente relacionado com a forma, ou seja, sistemas erosivos ou deposicionais podem gerar diferentes tipos de canais (BRIDGE, 1993). Dessa maneira, partindo da premissa de que em um sistema fluvial ocorre conexão entre os elementos, uma alteração em qualquer variável gera alteração nos processos e/ou formas, onde nada está isolado, mas possui dentro dessa ideia, uma hierarquia de importância, ou seja, elementos que estão independentes e outros que são dependentes. É importante salientar que mesmo as terras secas apresentando um baixo índice de pluviosidade, se comparada com as áreas litorâneas, os detalhes de sua morfologia são atribuídos principalmente à ação dos rios sobre a superfície (SOUZA, 2014).

A dinâmica fluvial semiárida é composta por dois tipos predominantes de escoamentos superficiais canalizados, que são os canais efêmeros e intermitentes (SUTFIN, 2014). De maneira geral, rios efêmeros e intermitentes apresentam descontinuidades de fluxo temporal e espacialmente, o que implica em vazões concentradas em um curto intervalo de dias ou durante um período chuvoso, respectivamente (CONESA-GARCÍA, 2020). Os riachos efêmeros e intermitentes apresentam morfologia instável e alta variabilidade temporal de escoamento superficial, onde os riachos efêmeros são predominantes nas áreas de cabeceira das bacias hidrográficas em terras secas (SUTFIN, 2014). O canal intermitente só apresenta fluxo durante o período chuvoso, passando parte do ano seco e a sua principal característica

singular está nas forças que organizam seu ecossistema, localizados principalmente nas áreas de exceção do semiárido, que contribui muito para a diversidade biológica e paisagística da região (COSTIGAN *et al.*, 2017). Já os canais efêmeros apresentam vazões de curta duração que varia de horas a poucos dias durante ou logo após o evento de chuva, ocasionando uma descontinuidade. Outro fator que condiciona este comportamento são as tempestades que cobrem apenas uma parte da bacia, onde o transporte de fluxo sofre uma redução à jusante, com perdas por infiltração e evaporação (SUTFIN, *et al.*, 2014). Por apresentarem fluxos descontínuos, é comum a identificação de deposição de material arenoso recobrendo os leitos de riachos de terras secas durante a estação seca, pois a ausência de fluxo força a acumulação de material no leito (SYVITSKI *et al.*, 2014). Esse material suporta o aquífero aluvial que mantém a água presa ou deslocando-se lentamente na zona hiporreica, servindo como fonte de água para a população ribeirinha e fazendo a manutenção de ecossistemas diretamente ligados a eles (LLENA *et al.*, 2020).

A dinâmica em pulsos desses canais gera desconectividade hidrossedimentológica longitudinal, lateral e vertical durante o período seco em terras secas, ou seja, os processos mecânicos se tornam pouco atuantes (ALLEN *et al.*, 2020). Desta maneira, durante o período seco, os canais apresentam redução de fluxo longitudinalmente, desconectando as áreas de montante à jusante, podendo gerar pequenos alagados nas áreas de maior concentração hídrica interrompidas/limitadas por trechos secos (PRINGLE, 2001). Lateralmente, os canais reduzem suas vazões para a zona de talvegue durante a estação seca, expondo seu leito e planícies/unidades geomórficas ou tornando-se totalmente secos, o que indica que as unidades geomórficas possuem fases aquáticas e terrestres pronunciadas. Verticalmente, a relação entre as águas superficiais e subsuperficiais se ajustam a uma perspectiva unidirecional, onde o direcionamento das águas é preferencialmente à zona hiporréicas durante o período seco (BOULTON *et al.*, 2017).

É importante salientar que canais semiáridos não fogem da perspectiva sistêmica por apresentarem fluxo na forma de pulsos de inundação, ou seja, descontínuos, pois o sistema fluvial semiárido possui deslocamento de material sedimentar durante o período chuvoso e/ou após chuvas de alta magnitude, o que permite entender que os canais passam parte do ano com os processos geomorfológicos com menor intensidade. Tendo em vista que o período de escassez de água no canal é frequente e periódico, pode-se afirmar que tal fenômeno é seu funcionamento normal, pois qualquer nível de escoamento de água que conecte os trechos

alagados e gere vazão no canal atua como uma cheia que realiza o trabalho mecânico (SOUZA e ALMEIDA, 2015). Com base nessas informações, a atuação do transporte de sedimentos em ambientes semiáridos naturais acontece em apenas uma parte do ano, mais especificamente, quando ocorrem as cheias. Sem fluxo, o canal fica sem competência, gerando deposição, até que o próximo evento gerador de fluxo superficial remobilize o material de leito (SOUZA, 2015).

Ainda no intuito de compreender a dinâmica de rios de terras secas dentro de uma perspectiva sistêmica, Phillips (2009) afirma que a discussão de equilíbrio (variável gerada a partir da inter-relação dos elementos de um sistema) desempenha um papel de suma importância, quando os aspectos geomorfológicos são acerca de resistência, mudança e resposta nos sistemas ambientais. A questão do equilíbrio em canais de terras secas pode ser facilmente rebatida ao considerar definições estabelecidas e fechadas sobre esse tema, como é feito por Howard (1988 apud PHILLIPS, 1992) que estabeleceu uma definição formal e rigorosa sobre o tema afirmando que o equilíbrio em um sistema só existe caso uma mudança na entrada cause outra mudança mensurável na saída, imediatamente ou após um tempo determinado. Todavia, o comportamento do escoamento e vazão em pulsos não está dentro de uma perspectiva de equilíbrio, pois mensurar a saída de energia em um sistema com diversos limiares e não linearidades impedem que essa entrada-saída sejam invariáveis (PHILLIPS, 1992). Dentro de uma perspectiva de não-equilíbrio ou desequilíbrio do sistema fluvial de terras secas, ou seja, a predominância da instabilidade morfológica é a forma de entendimento mais adequada.

O fato de rios de terras secas não estarem dentro de uma perspectiva de equilíbrio associada à legislação ambiental e a crescente perturbação humana observada na forma de ocupação desenfreada de áreas aluviais, e, a necessidade de garantir o abastecimento de água potável para a população desencadeou o esforço coletivo entre cientistas e gestores de terras para compreender e monitorar rios últimas décadas, (BUFFINGTON e MONTGOMERY, 2013). Lisenby e Fryirs (2016) demonstraram a importância do conhecimento empírico e específico do ambiente fluvial estudado para a compreensão dos controles regionais nos ajustes geomórficos. Estes possíveis conhecimentos empíricos permitem a aplicação de descobertas específicas do local para outras bacias onde ocorrem condições geomórficas comparáveis.

4.2. Evolução fluvial, mudança e probabilidade à mudança

A troca de relações entre os elementos do sistema fluvial permite ao mesmo possuir dinamismo, onde tal propriedade do sistema lhe atribui a possibilidade de constante mudança na sua morfologia (SOUZA, 2013). Tais mudanças dependem intrinsecamente e indispensavelmente da magnitude e frequência da atuação de força sobre os elementos, ou seja, a energia que movimenta os processos (SOUZA et al., 2015). A energia que se mantém constante em um sistema ambiental lhe permite assumir uma frequência em sua morfologia durante certo período de tempo, cujos processos não causam mudanças significativas ou abruptas. De modo contrário, os chamados eventos extremos caracterizados principalmente pela grande quantidade de energia disponível em um sistema em curto período de tempo, são os que podem gerar mudanças bruscas. Um extremo climático ocorre quando uma variável meteorológica excede os valores limites/padrões (superiores ou inferiores) normalmente observáveis (NORMAM et al. 2017).

Para pensar em evolução de uma paisagem é fundamental a compreensão de como os processos se comportam frente a alterações nos *inputs* de energia ou na resistência do sistema. Sendo assim, a compreensão de possíveis modificações paisagísticas consiste em identificar as áreas mais suscetíveis a apresentar mudanças decorrentes de alteração nos *inputs* de energia ou resistência da paisagem (SOUZA, 2015). A questão é que isso não é diferente nas paisagens fluviais, onde o comportamento do sistema fluvial atual pode ser compreendido através da interpretação da relação entre os elementos que compõem o sistema.

Uma vez que a paisagem é resultado das relações dos elementos que a constituem, funcionando como um sistema aberto e funcional, sua compreensão a partir de uma perspectiva geomorfológica depende do entendimento sobre os *inputs* de energia do sistema ambiental e sua resistência, logo em identificar as áreas mais propícias a modificações causadas por possíveis alterações nos fatores de perturbação e resistência (SOUZA, 2015).

Sendo assim, a primeira etapa para compreensão de possíveis modificações fluviais consiste em identificar as áreas mais suscetíveis a apresentar mudanças decorrentes de alteração nas perturbações ou resistência do sistema (REID; BRIERLEY, 2015). Nessa perspectiva, dentro de uma ideia de susceptibilidade a mudanças, existem elementos mais resistentes e elementos menos resistentes, que através do mecanismo de retroalimentação podem ou não gerar

mudanças na paisagem, ou seja, este é um passo fundamental para construção adequada de cenários futuros (FRYIRS, 2016).

Entende-se perturbação como resultado da aplicação de energia advinda de fatores climáticos e tectônicos. A resistência do sistema é a capacidade de resistir a uma alteração do estado inicial após uma perturbação. Assim, para apresentar mudança em uma paisagem, o evento de perturbação precisa ultrapassar o limiar de mudança do sistema, que é o limite de energia que um sistema suporta sem apresentar mudança (MATTOS et al., 2004).

A relação entre os balanços de forças de perturbação e resistência buscam um equilíbrio na paisagem, ao qual está ligado ao estado de estabilidade do sistema, onde os sistemas estáveis apresentam magnitude e duração das respostas proporcionais aos eventos de distúrbio. Em contrapartida, as respostas desproporcionais aos eventos de perturbação caracterizam os sistemas não equilibrados, ou seja, instáveis (HUGGET, 2007).

Assim, compreender como os processos superficiais se comportam através de modificações nos *inputs* de energia é de vital importância para se pensar em modelos sobre evolução da paisagem de cunho geomorfológico. Com isso, o estudo de sensibilidade de ambientes naturais foi empregado no intuito de compreender as mudanças ambientais, como também de impactos superficiais nos sistemas naturais. É primordial para entender as possibilidades de mudança na paisagem e identificar as áreas que responderiam com maior facilidade às alterações das forças ou na resistência (BRUNSDEN, 2001).

A questão entre resistência e força de distúrbio está em íntima associação, na medida em que uma condiciona ou é condicionada pela outra para gerar mudanças naturais. Ou seja, considerando um sistema em que a resistência é alterada por condicionantes naturais ou antrópicos pode-se inferir que em um provável evento de distúrbio futuro ocorra mudança na morfologia do sistema. Da mesma maneira, as alterações na morfologia também podem ocorrer com um evento de alta magnitude sobre uma área com diferentes níveis de resistência, onde as áreas com baixa resistência são mais propícias a apresentar mudanças que as áreas de altas resistências. Algo a ser observado é que a relação da resistência-distúrbio apresenta uma peculiaridade, pois a resiliência de sistemas com diferentes níveis de resistência também varia. Assim, um sistema com altas resistências apresenta menor capacidade de recuperação do que um sistema com baixos valores de resistência, tendo em vista a maleabilidade dos sistemas de baixa resistência e sua resiliência (CHARLTON, 2008). A resiliência em sistemas

é a capacidade do sistema em voltar ao seu estado inicial ou próximo antes do evento de distúrbio (MATTOS et al., 2004).

4.3. Sensitividade fluvial e capacidade de ajuste

Uma categoria que permite a compreensão de mudança é a de sensibilidade criada por Brunnsden e Thornes (1979 apud BRUNSDEN, 2001), que pode ser definida como a probabilidade de uma mudança, seja nos controles do sistema, seja nas forças aplicadas sobre ele e que geram seu funcionamento criando respostas complexas, sensíveis, reconhecíveis e persistentes (BOAS et al., 2013). A relação entre os balanços de forças de perturbação e resistência buscam um equilíbrio na paisagem, ao qual está ligado ao estado de estabilidade do sistema, onde os sistemas estáveis apresentam magnitude e duração das respostas proporcionais aos eventos de distúrbio. Em contrapartida, as respostas desproporcionais aos eventos de perturbação caracterizam os sistemas não equilibrados, ou seja, instáveis (HUGGET, 2007; FRYIRS, 2016).

Perturbação pode ser entendida como a aplicação de energia nos controles do sistema, que podem ser advindos de fatores tectônicos, climáticos, bióticos e antrópicos que ocorrem na estrutura geológica, hidrológica e morfológica do sistema. As forças de resistência são as capacidades de resistir às perturbações que ocorrem no sistema, e podem ser: resistência de força, resistência morfológica, resistência estrutural, resistência de filtro e estado de resistência do sistema (BRUNSDEN, 2001).

A sensibilidade da paisagem pode ser avaliada entendendo como determinado sistema ambiental responde a eventos de perturbação em diferentes escalas temporo-espaciais. A organização/interação dos elementos da paisagem constitui a morfologia gerada pela relação entre eles, que relacionada com a entrada de energia no sistema lhe atribui diferentes níveis de sensibilidade. Estudos de sensibilidade foram elaborados por alguns autores no mundo como é o caso de Knox (1993, apud THOMAS, 2001) que demonstrou uma mobilidade episódica de sedimentos no vale superior do Mississipi, como um resultado de pequenas perturbações climáticas durante o Holoceno; Boas (2013) desenvolveu seu trabalho no Rio Macaé no Estado do Rio de Janeiro com o objetivo de avaliar a sensibilidade do sistema fluvial frente às variações dos agentes desencadeadores da dinâmica hidrossedimentológica.

Compreender como os processos superficiais se comportam através de modificações nos *inputs* de energia é de vital importância para se pensar em modelos sobre evolução da paisagem de cunho geomorfológico. Com isso, o estudo de sensibilidade de ambientes fluviais foi historicamente empregado no intuito de compreender as mudanças ambientais, como também de impactos superficiais nos sistemas naturais. É primordial para entender as possibilidades de mudança na paisagem e identificar as áreas que responderiam com maior facilidade às alterações das forças ou de resistência (SOUZA, 2015). No entanto, a distribuição espacial e temporal de energia ocorre de forma heterogênea na superfície da terra, o que remete a necessidade de compreender o comportamento dos *inputs* considerando questões como: frequência, magnitude e duração. A frequência pode ser vista como a periodicidade em que ocorre os eventos de entrada de energia no sistema; A magnitude é a intensidade de determinado evento de energia; A duração é a quantidade de tempo que um evento de energia apresenta durante sua atuação. o contexto fluvial poucos trabalhos abordam a temática da sensibilidade. Apesar disso, já na década de 60 alguns autores ao utilizar os conceitos de equilíbrio dinâmico e equilíbrio estático estavam baseados nos princípios de reajuste às mudanças (BOAS, 2013).

A magnitude, frequência e duração são maneiras de entender uma perturbação a partir de seu comportamento, tempo de recorrência e intensidade. Todavia, ao pensar em probabilidade a mudança, não necessariamente um evento extremo pode causar a mesma mudança em um mesmo local sob as mesmas condições de energia, pois a resistência da paisagem pode variar naturalmente e apresentar diferentes níveis de resistência caso o evento extremo se repita (BRUNSDEN, 2001).

4.4. Intervenções e degradação ambiental

Historicamente, o ser humano buscou alternativas de reter e captar água para seu sustento, gerando intervenções e modificações no ambiente natural (DREW, 1986. Apud, OLIVEIRA, 2018). A maneira de uso e ocupação desenvolvidas pelas populações que estão localizadas nas áreas de terras secas, em especial no semiárido brasileiro, tem gerado diversas formas de impacto nas paisagens (COELHO *et al.*, 2014) e nos ambientes fluviais, como por exemplo, a utilização de barragens, canalização, perenização de rios e diferentes formas de ocupação do leito e margens dos canais.

As barragens são vistas atualmente como uma forma de gerenciamento de recursos hídricos, permitindo estocagem de água por mais tempo na rede fluvial e ajudando a população que depende dessa água a conviver com as secas (ARAÚJO, 2006; SANTOS, 2000). As barragens geram alterações que majoritariamente são caracterizadas pela diminuição na velocidade do fluxo, fazendo com que haja um aumento na deposição de sedimentos à montante e causando o oposto à jusante, onde a perda de material de transporte, a capacidade erosiva aumenta (GRAF, 1998. Apud SOUZA, 2012; CUNHA, 1998). Muitas vezes, sem um planejamento adequado, barramentos podem causar a degradação da qualidade da água, em virtude do aumento da concentração de elementos químicos dissolvidos na área represada (STOLF, 2010).

A dinâmica natural de sistemas fluviais de terras secas pode ser alterada pelo fato de não existir uma fonte permanente de água, o que condiciona por parte da população e governantes a busca por políticas públicas que sejam implementadas para sustento hídrico da região. Um tipo comum de intervenção antrópica em terras secas é a construção de barragens e tem sido executada ao longo de muitos séculos na região semiárida do Brasil (DANTAS, SILVA e SANTOS, 2020). Além dessas formas de intervenção, existem também impactos como canalização de canais para abastecer as áreas agricultáveis e a extração de água no leito dos canais na estação seca, alterando a dinâmica subsuperficial da zona hiporreica, podendo também gerar consequências como a salinização das águas (BERGER; FRÖR; SCHÄFER, 2018).

Já a canalização é uma obra antrópica que envolve consideráveis impactos no ambiente fluvial, a qual consiste no alargamento e aprofundamento da calha fluvial, retificação do canal, criação de canais artificiais, diques, proteção de margens e remoção de obstáculos. Dentre estes, a retificação é uma das principais geradoras de impactos, onde a maior finalidade é o controle das cheias, drenagem de terras alagadas e até melhoria no canal para a navegação (CUNHA, 1998). Segundo (NEVES, 2009), a transposição pode ser entendida como uma integração de águas feitas entre bacias superavitárias para bacias que passam por períodos de seca, com o objetivo de diminuir os problemas em determinadas regiões que apresentam déficits hídricos temporários ou permanentes. Este tipo de intervenção causa impactos significativos, que podem ser socioeconômicos e ambientais.

A partir disso, a ideia de perenização está associada à de transposição, pois se complementam. A perenização permite a garantia da tomada de água ao longo de todo o trajeto do rio que antes era efêmero ou intermitente, sendo possível através da integração das bacias. O PISF (Projeto de Integração Nacional do Rio São Francisco), em execução pelo Ministério da Integração Nacional, (BRASIL, 2004), objetiva minimizar os efeitos da seca no Nordeste gerados pelas longas estiagens periódicas, como também, de promover o crescimento econômico da região. Neto (2017) afirmou que o Eixo Norte foi projetado para operar com vazão máxima, no trecho inicial com 99 m³/s e uma vazão contínua de 16,4 m³/s, destinado para o consumo humano, com aproximadamente 7,1 milhões de habitantes atendidos. Desse volume retirado, esse volume será destinado para as bacias dos rios Jaguaribe (CE), Apodi (RN), Piranhas – Açu (PB – RN).

Sob um contexto de terras secas, é inevitável que não ocorram intervenções antrópicas no intuito de reter ou captar água, o que fortalece a necessidade de estudos que tentem compreender o comportamento natural e alterado de sistemas fluviais semiáridos, especialmente no Nordeste brasileiro.

A vegetação tem papel fundamental na manutenção e proteção das morfologias em ambientes de terras secas, especialmente em canais fluviais, aumentando a resistência e rugosidade em leito e margens (SANDERCOCK; HOOKE, 2011). Dessa maneira, a típica retirada de vegetação de leito e margens de um canal pode condicionar ao aumento nas taxas de erosão em um rio, considerando que o fluxo fica livre para remover/remobilizar os sedimentos, o que gera conseqüentemente alterações abruptas na dinâmica fluvial num trecho impactado.

A exploração de areia nos leitos de rios semiáridos no Nordeste brasileiro é outro exemplo de impacto antrópico (BRAGA *et al.*, 2014). De maneira geral, as aluviões permitem a retenção de água durante a estação seca na zona hiporreica, a qual fornece água para as comunidades ribeirinhas no período do ano em que não ocorre escoamento superficial. Todavia, a retirada desse material geralmente arenoso faz com que a profundidade da zona hiporreica seja reduzida, o que reduz o volume de água armazenada em subsuperfície.

4.5. Avaliação de condição ambiental de rios

Avaliações de condições geomórficas são necessárias para pensar em modificação/evolução e consequente gestão fluvial (GURNELL *et al.*, 2020). A preocupação com a preservação e recuperação de ambientes fluviais foi acentuada no final da década de 1980 e início da década de 1990. No início dos anos 2000 foram desenvolvidas abordagens no intuito de avaliar a condição geomórfica de canais, as quais iam além de apenas registrar e pontuar as características visuais, mas, com base na preocupação de como sistemas fluviais podem evoluir no tempo e no espaço. Essas aplicações de condição ambiental foram muito difundidas e estabelecidas na literatura internacional, chegando a uma fase de ampla aplicação pelo mundo (BRIERLEY e FRYIRS, 2005; RINALDI *et al.*, 2013).

O maior debate no quesito condição ambiental ocorre na definição de uma condição de referência para comparar a condição ambiental dos canais. Dessa maneira, é primordial definir o que medir, pois qualquer avaliação geomórfica necessita de uma condição de referência, o que fornece parâmetros que indicarão o percurso de mudança ou reabilitação fluvial. Essa discussão da definição de uma condição de referência é algo que ainda está sendo feita pelo mundo. Contudo, nos últimos anos houveram estudos que optaram em abandonar essa discussão e aderir a avaliação da condição contemporânea dos canais, pois justificam esse abandono ao reconhecer que voltar a uma determinada condição não é uma opção por conta do modo como o ser humano vem alterando as paisagens de maneira mais intensa, como também, consideram que os rios são sistemas em constante evolução aumentando a probabilidade de novas paisagens no decorrer do tempo (FRYIRS, 2015; RINALDI *et al.*, 2013).

Uma possibilidade para definir uma possível condição de referência de um canal é identificar os trechos que sofreram menor interferência antrópica a partir de indicadores e preservaram seus processos geomorfológicos seminaturais (RAVEN *et al.*, 2002). Por exemplo, longitudinalmente os canais podem apresentar variabilidade de vazão condicionada por barramentos, o que altera significativamente as características naturais de vazão e consequentemente a morfologia de um ambiente fluvial, sendo assim, inviável de ser considerado como uma condição de referência.

Uma aproximação da condição geomórfica de um rio pode ser feita a partir da análise de geoindicadores no canal que permitam identificar o comportamento esperado de acordo com a literatura estabelecida e o comportamento existente no canal. Sendo assim, questões como características da forma em planta, seção transversal e materiais de leito subdivididos em geoindicadores podem indicar a condição fluvial (FRIYRS, 2015).

A avaliação da condição geomórfica de um rio dá ênfase aos processos físicos e visa avaliar a relação entre eventos de distúrbio e a resistência de um sistema fluvial, o que permite desenvolver uma aplicação clara sobre causa e efeito as quais regulam as mudanças observadas nas condições do sistema (FRYIRS, 2008 apud. BELLETTI *et al.*, 2014). Raven *et al.*, (2002) ao aplicar a metodologia de condição ambiental em rios na Europa constatou que uma avaliação baseada no desvio das condições hidromorfológicas não perturbadas pode ser a melhor opção para um esquema de classificação simples e praticável, ou seja, é uma abordagem possível de ser aplicada tendo em vista a busca do entendimento sobre a situação atual do rio, considerando que é necessária uma boa seleção das variáveis de análise de condição ambiental em diferentes ambientes morfoclimáticos.

4.6. Classificação de canais fluviais

Modelos de classificação fluvial existem desde meados do século XX, por exemplo: Guerra (1998), baseado em Leopold e Wolman (1957) descreve alguns padrões para canais/drenagem ao afirmar que a morfologia de um canal fluvial se modifica dentro de seu perfil longitudinal apresentando formas como retilínea, anastomosada e meândrica. Schumm (1963) apresentou uma classificação com base no índice de sinuosidade, diminuindo os canais em meandranes, transicionais e retos, baseado também na estabilidade do canal e modo de transporte de sedimentos. Culbertson *et al.* (1967) fez uma classificação descritiva a partir de alguns aspectos, como: vegetação, sinuosidade, planície de inundação e unidades geomórficas. Schumm (1977) tentou classificar os rios tendo como base de análise o transporte de sedimento, estabilidade do canal, dimensões do canal e afirmou que um aumento no gradiente leva a uma diminuição na estabilidade mudando sua forma. O trabalho de Kellerhals *et al.* (1976), apresenta uma classificação baseada em uma lista mais detalhada e completa dos recursos e do vale. Considera a presença de barras, ilhas e rugosidade do fundo do leito, ampliando as classificações convencionais, assim, um canal pode ser: reto, sinuoso, irregular

e meândrico regular ou tortuoso. As ilhas podem ser classificadas como: ocasionais, frequentes, separadas e anastomosadas. E as barras, como: laterais, de pontal, ou longitudinais (SCHUMM, 1963; CULBERTSON et al. 1967; SCHUMM, 1977; KELLERHALS et al. 1976 apud. ROSGEN, 1994).

Uma maneira de identificar trechos de rios com propensão à mudança é através da classificação fluvial (KASPRAK et al., 2016), pois os parâmetros de sensibilidade da paisagem podem ser indicadores do comportamento e evolução dos canais. A classificação é ferramenta essencial para pesquisadores que tem por finalidade agrupar locais funcionalmente semelhantes ou identificar habitats únicos ou ameaçados. Um esquema de classificação de rios baseados em processos que integre os aspectos físicos e biológicos de forma e função lóaticas aprimora os processos de conservação e restauração, permitindo comparações mais significativas entre os locais e melhorar a compreensão funcional dos ecossistemas fluviais (BUFFINGTON; MONTGOMERY, 2013). Além disso, a classificação de rios fornece um meio de entendimento sobre a diversidade e espacialidade de canais que ocorrem em uma paisagem, ao mesmo tempo em que busca relacionar a morfologia dos canais e os processos atuantes sobre elas (KASPRAK et al., 2016).

A classificação fluvial serve para compreender os processos que possuem um grau de complexidade elevado sobre um conjunto de variáveis inter-relacionadas que determinam a morfologia (dimensão, padrão e perfil) de um canal (ROSGEN, 1994). Além disso, a classificação permite compreender respostas a distúrbios pretéritos, condições atuais e prever cenários futuros (BUFFINGTON e MONTGOMERY, 2013). Todavia, a classificação tem o dever de seguir o paradigma de processo-forma. Nessa perspectiva, a forma só existe por conta de um processo geomorfológico específico e vice-versa. Contudo, muitas classificações fluviais são amplamente descritivas, não atentando para a gênese dos processos fluviais, focando especificamente nas formas (BUFFINGTON e MONTGOMERY, 2013). Dessa maneira, é importante distinguir se uma classificação é apenas descritiva ou baseada em processos, ou seja, saber se a classificação é baseada em argumentos mecanicistas e no entendimento da influência dos processos físicos associados a uma determinada morfologia de canal. Classificações descritivas, por sua vez indicam os parâmetros iniciais que podem estimular pesquisas futuras. Ainda segundo Buffington e Montgomery (2013), a compreensão de rios baseada no paradigma forma-processo em trechos específicos por unidades de paisagem/relevo, pode ajudar a desenvolver modelos conceituais para interpretar e avaliar as

condições atuais, pretéritas e futuras de um sistema fluvial frente a possíveis perturbações naturais ou antrópicas.

Um tipo de classificação baseada numa perspectiva hierárquica é a proposta teórico-metodológica de Brierley e Friyrs (2005) nomeada de estilos fluviais, sendo majoritariamente descritiva nas etapas iniciais de análise, que, por conseguinte, chega a considerar a perspectiva processual-morfológica nas etapas finais da abordagem. É um modelo teórico-metodológico que utiliza dados evolucionários para analisar a condição geomórfica do rio e sua propensão à mudança, mas não foca especificamente na gênese dos processos atuantes nos estilos fluviais, mas enfatiza o relacionamento dos possíveis processos às unidades geomórficas existentes nos estilos de rio. Nessa abordagem, um estilo de rio é uma homogeneização de canais semelhantes que são definidos a partir do grau de confinamento, característica (forma em planta, unidades geomórficas e textura de material de leito) e comportamento de canal (processos fluviais associados à morfologia).

A estrutura de estilos de rio é um procedimento hierárquico para gerenciamento de rios, na qual os processos de alcance de escala são explicados dentro de um contexto de unidades de paisagem, que por sua vez, controlam a variedade de estilos formados ao longo de nossos rios. Os controles primários para induzir a condição e comportamento do rio estão nos tipos de vale, ou seja, seu confinamento/relação entre processos de canal e de várzea é o primeiro momento de identificação .

De maneira geral, um estilo de rio é uma característica homogênea definida de acordo com a configuração do vale, forma em planta, textura de leito e identificação de unidades geomórficas (THOMSON et al., 2004). A estrutura de estilos fluviais dá ênfase às ligações entre formas e processos e sua capacidade de se ajustar em qualquer ambiente. Este tipo de abordagem permite exercícios de previsão de possíveis cenários futuros de rios. Para tal, a análise de evolução fluvial através dos estilos fluviais ocorre através de três estágios: (1) da interpretação da característica e comportamento fluvial que indicam a dinâmica atual; (2) da condição geomórfica através da identificação de mudanças pretéritas; (3) e potencial de recuperação que indica prováveis ajustes futuros (BRIERLEY; FRYIRS, 2005; BRIERLEY et. al., 2016).

Diferentes estilos de rio ocorrem apenas dentro da escala de canal, onde as propriedades encaixantes não variam significativamente dentro do trecho, ou seja, as fronteiras de canal

apresentam-se uniformes ao longo de um trecho de rio, não apresentando mudanças significativas na descarga ou sedimento representado, de modo que o rio mantenha sua estrutura geomórfica consistente. Estilos de rio são caracterizados também por um conjunto distinto de atributos, medidos em termos de forma em planta do canal, geometria e organização/distribuição de unidades geomórficas. As unidades geomórficas são base de interpretação de associações de processos ao longo do curso do rio. Como exemplo pode-se ter um trecho de rio que apresenta planície de inundação, que indica a existência de possíveis dois processos geomorfológicos, o de sedimentação de material ou retrabalhamento de depósitos (THOMSON et al., 2004).

A estrutura de estilos é flexível, aberta e não prescritiva. Não há diretrizes principais para definir o comprimento do alcance, pois depende do nível de diversidade geomórfica evidente no banco de dados disponível. Sendo assim, não é uma abordagem de caixa preta, mas uma proposta estabelecida de entender a paisagem fluvial (BRIERLEY; FRYIRS, 2005).

Na classificação de estilos fluviais são analisadas quatro escalas interligadas: bacias hidrográficas, unidades de paisagem, estilos fluviais do rio e unidades geomórficas (PEIXOTO, 2010). Essa abordagem dissecar efetivamente uma bacia, caracterizando estilos de rios para diferentes unidades de paisagem. Já os estilos são definidos a partir de análises em termos de geometria do canal, visão em planta e o conjunto das unidades geomórficas (BRIERLEY, 1996, apud BRIERLEY et al, 2000). A determinação das características e comportamento de um rio a partir da identificação de um conjunto de unidades geomórficas em trechos de canal possibilita a interpretação dos processos biofísicos da área. As unidades geomórficas possibilitam interpretar os processos pelas quais são feitas, refletindo o comportamento/processo atuante em cada trecho do sistema fluvial.

O estilo fluvial também está profundamente associado ao perfil longitudinal que define o gradiente, assim como outras variáveis: a geologia, tipo de vale e grau de sinuosidade (BRIERLEY e FRYIRS, 2003, apud KLEINA, 2014); logo, os principais atributos morfológicos servem de base para a classificação dos principais trechos de uma bacia. Com isso, os estilos são avaliados em relação ao seu contexto paisagístico resultante dos processos geomorfológicos tanto no seu perímetro fluvial, como também no entorno (SOUZA, 2014).

Diferentes pesquisas foram feitas com essa metodologia para diversos ambientes no Brasil, como é o exemplo de Mello (2006), Kleina (2013) e Souza (2016). Ou seja, Mello (2006)

considerando a estrutura do rio, afirmou que as variáveis a serem analisadas são: forma em planta, geometria, unidades geomórficas, cobertura vegetal e textura do material. Kleina (2014) embasada em Brierley e Fryirs (2005), afirma que é um método de classificação de segmentos de rio, que considera as características morfológicas e processuais como base para caracterizar sistematicamente a organização das variáveis como partes homogêneas no sistema fluvial, a partir de variáveis como: forma em planta, geometria do canal, granulometria, unidades geomórficas e estabilidade. O que remete à compreensão que um rio pode apresentar diferentes trechos de acordo com sua evolução longitudinal. Nessa perspectiva, as características de cada trecho do sistema fluvial são definidas pelos elementos do sistema que estão localizados em seu entorno. Já Souza (2014) afirma que a perspectiva de estilos fluviais consiste em caracterizar diferentes segmentos de rios a partir de três escalas de análise distintas, ou seja, o conjunto de atributos de uma bacia hidrográfica reflete os índices de situação fluvial a partir de três campos: planta do canal; unidades geomórficas; e textura do leito. Assim, ocorre a ideia de que os estilos fluviais não excluem a inter-relação do ambiente fluvial com seu entorno, onde a relação com o contexto paisagístico, suas ligações espaciais e temporais possibilitam a avaliação dos tipos de estilos de canais.

O modelo teórico-metodológico de estilos fluviais permite avaliar o potencial de modificação/evolução de canais, ao ser aplicada de maneira quali-quantitativa seguindo uma sucessão de estágios que partem da escala de bacia para canal, focando principalmente em dados morfológicos do ambiente fluvial (BRIERLEY e FRIYRS, 2005).

A estrutura de estilos de rio é um procedimento hierárquico para gerenciamento de rios, na qual os controles primários para induzir a condição e comportamento do rio através dos tipos de vale, ou seja, seu confinamento/relação entre processos de canal e de várzea como o primeiro passo de identificação (BUFFINGTON; MONTGOMERY, 2013). De maneira geral, um estilo de rio é uma característica homogênea definida de acordo com a configuração do vale, forma em planta, textura de leito e identificação de unidades geomórficas (BRIERLEY et al., 2011). A estrutura de estilos fluviais dá ênfase às ligações entre formas e processos e sua capacidade de se ajustar em qualquer ambiente. Este tipo de abordagem permite exercícios de previsão para inferir possíveis cenários futuros de rios. Para tal, a análise de evolução fluvial através dos estilos fluviais ocorre através de três estágios: (1) da interpretação da característica e comportamento fluvial que indicam a dinâmica atual; (2) da

condição geomórfica através da identificação de mudanças pretéritas; (3) e potencial de recuperação que indica prováveis ajustes futuros (BRIERLEY; FRYIRS, 2005).

5. METODOLOGIA

Para definir possíveis áreas propensas à mudança de sistemas fluviais semiáridos, será utilizada a metodologia de *River Styles*. A hierarquia de estilos é organizada neste trabalho em 4 escalas: bacia hidrográfica, unidades de relevo, canal e unidades geomórficas. No recorte espacial de escala menor de análise (bacia hidrográfica) é o momento em que a área de captação é analisada. Dentro desse perímetro ocorrem as unidades de relevo. São nas unidades de relevo que ocorrem diferentes tipos de característica e comportamento de canais. As unidades geomórficas por sua vez são as principais formas de relevo dos ambientes fluviais, e tais unidades são utilizadas para explicar o comportamento do rio. Para utilizar a estrutura de estilos fluviais (*River Styles*), é necessário seguir 3 estágios que permitem inferir possíveis modificações futuras (Figura 6).



Figura 6 - Estágios de análise de estilos fluviais. Fonte: Adaptado de Brierley e Fryirs (2005).

Assim, o estágio 1 consiste em a característica e comportamento fluvial atual através de três etapas, o estágio 2 é para definir a condição geomórfica e o estágio 3 é referente aos cenários futuros (Figura 7). De modo geral, o estágio 1 avalia a característica e comportamento atual; o estágio 2 avalia a condição geomórfica no passado; o estágio 3 define possíveis condições geomórficas futuras (BRIERLEY; FRYIRS, 2005).

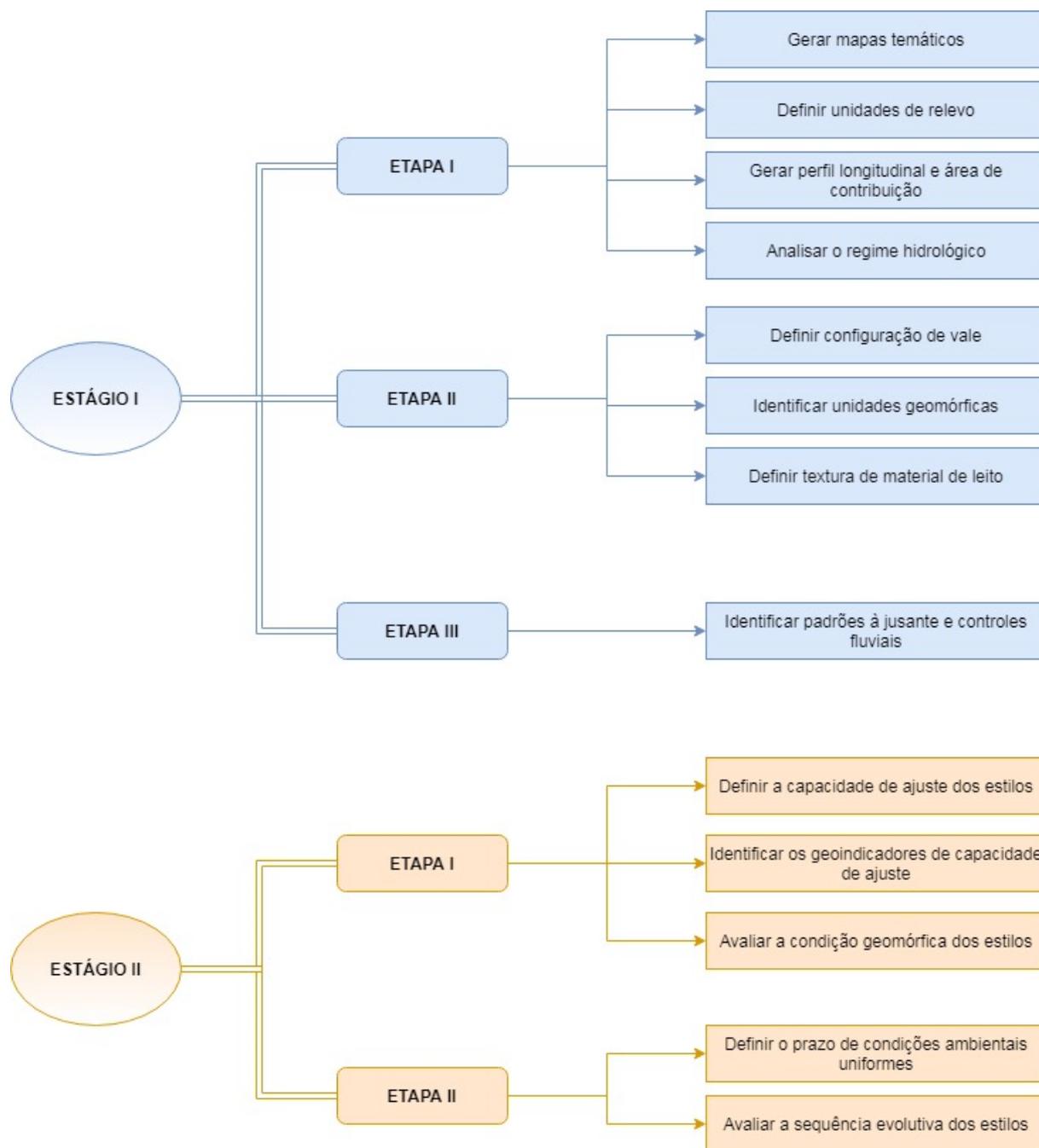


Figura 7 - Fluxograma de Estilos Fluviais com Estágios, Etapas e Procedimentos. Fonte: Adaptado de Brierley e Fryirs, 2005

5.1. Estágio 1: Característica e comportamento

O estágio 1 consiste em analisar a característica e comportamento fluvial. São necessárias três etapas para alcançar o estágio 1 (característica e comportamento), conforme a Tabela 2:

Tabela 2 - Etapas do Estágio 1. Fonte: Adaptado de Brierley e Fryirs (2005).

Estágio 1	Etapa 1: avaliar os controles regionais e de configuração das bacias hidrográficas
	Etapa 2: Definir e mapear os estilos de rio através da bacia hidrográfica
	Etapa 3: Interpretar controles sobre o característica do rio, comportamento e padrão a jusante dos Estilos de Rio

5.1.1. Etapa 1: Controles Regionais das bacias hidrográficas

Este momento refere-se ao contexto da bacia hidrográfica e coleta de informações necessárias para identificar os controles de bacia hidrográfica e da característica e comportamento dos sistemas fluviais. Para tal, são necessários alguns dados que permitam compreender a bacia hidrográfica. Nesse sentido, revisões bibliográficas, produção de mapas (recorte da bacia hidrográfica, geologia, topografia, declividade e distribuição da precipitação), definição de unidades de relevo, produção de perfis longitudinais com áreas contribuintes, análise morfométrica e análise do regime hidrológico são a base de dados para este momento da pesquisa.

Mapas temáticos

A bacia hidrográfica será definida a partir de dados SRTM do Serviço Geológico Americano (USGS) com resolução espacial de 30 m processados no ArcGis 10.5. Através do mesmo dado SRTM será elaborado o mapa de topografia da bacia e de declividade. O mapa de geologia terá como fonte de dados os *shapes* vetoriais disponibilizados na plataforma do Serviço Geológico do Brasil (CPRM). O mapa de distribuição de chuva será feito através de dados pluviométricos disponibilizados pela AESA (Agência Executiva das águas do Estado da Paraíba), que permitirá fazer uma análise tanto espacial quando temporal dos eventos de chuva. O mapa de drenagem será elaborado através de processamento dos mapas de declividade e acumulação de fluxo em ambiente SIG. Estes mapas foram discutidos na caracterização da área.

Unidades de relevo

As unidades de relevo serão elaboradas a partir de alguns critérios de acordo com a metodologia de Brierley e Fryirs (2005). Serão consideradas questões como posição na paisagem, Geologia e variações topográficas. Nessa perspectiva, a posição na paisagem refere-se à posição da zona de processo geomorfológico predominante (zona, transporte ou deposição) na paisagem. Ou seja, ela situa as posições das variações de altitude e declividade da bacia. A geologia definirá os controles estruturais e litológicos.

Perfil longitudinal e áreas de contribuição

O perfil longitudinal de um rio representa suas variações topográficas no que tange à altimetria e declividade de sua nascente até a foz através de um plano cartesiano. De modo geral, o perfil longitudinal de um rio está intimamente ligado ao relevo, representando o rio através de um eixo de ordenadas que representa as altitudes e outro eixo de abscissas que representa a extensão (SILVA et al., 2016).

Após a passagem de escala de bacia para unidades de relevo, será possível analisar o perfil longitudinal dos principais canais e suas áreas de contribuição. Os perfis serão elaborados através de dados de topografia e direção de drenagem trabalhados em ambiente SIG. Os dados de acumulação de fluxo serão plotados ao perfil longitudinal no Excel, permitindo identificar as áreas de maior contribuição na bacia.

Regime hidrológico

Para analisar o regime hidrológico, serão utilizados os dados de vazão e precipitação da bacia hidrográfica para gerar a hidrógrafa. Assim, será possível correlacionar os dados de vazão como resposta aos picos e frequências de chuva em cada área de captação. Para tal, será necessário utilizar os dados de fluviometria disponíveis no portal HIDROWEB da ANA (Agência Nacional das Águas).

A escala temporal dos dados é de 2000 a 2012. Embora a bacia possua amplo conjunto de estações fluviométricas em seu perímetro, apenas três fazem a medição liminológica, ou seja, os dados de vazão. Nessa perspectiva, serão avaliados os dados das estações fluviométricas de São Domingos de Pombal que mede uma área de 5400 km² localizada próximo à foz do rio Piranhas, Aparecida que mede a descarga de uma área de 3420 km², localizada na foz do rio do Peixe e Várzea Grande que mede a descarga de uma área de 1110 km² localizada após o

açude Eng. Ávidos. Nessa perspectiva será feita uma amostragem de estações pluviométrica por unidade de relevo para relacionar a vazão das estações fluviométricas com a precipitação medida pelas estações pluviométricas.

5.1.2. Etapa 2: Definição e mapeamento dos estilos fluviais

A etapa 2 da análise da característica e comportamento (Estágio 1) é responsável por definir e mapear os estilos de rio na bacia hidrográfica. Sendo assim, é neste momento que a escala de trabalho se torna de canal fluvial. Para isso, é necessário avaliar três variáveis dos sistemas fluviais para definir os estilos, que são: configuração de vale, unidades geomórficas e textura de material de leito (Tabela 3).

Tabela 3 - Variáveis avaliadas para determinar a configuração do vale. Fonte: Adaptado de Brierley e Fryirs (2005).

CONFIGURAÇÃO DE VALE CONFINADO	CONFIGURAÇÃO DE VALE PARCIALMENTE CONFINADO	CONFIGURAÇÃO DE VALE NÃO - CONFINADO	
(>90% DE MARGEM CONFINADA)	(ENTRE 10 E 90% DE CONFINAMENTO DE MARGEM)	(<10 % DE CONFINAMENTO DE MARGEM)	
PRESENÇA/AUSÊNCIA DE VÁRZEAS	GRAU DE CONFINAMENTO LATERAL E CONFIGURAÇÃO DO VALE (RETO - IRREGULAR - SINUOSO)	AUSÊNCIA OU CANAIS DESCONTÍNUOS	PRESENÇA DE CANAIS CONTÍNUOS
UNIDADES GEOMÓRFICAS	FORMA EM PLANTA DO CANAL	UNIDADES GEOMÓRFICAS	FORMA EM PLANTA
TEXTURA DE MATERIAL DE LEITO	UNIDADES GEOMÓRFICAS	TEXTURA DE MATERIAL DE SUPERFÍCIE	UNIDADES GEOMÓRFICAS
	TEXTURA DE MATERIAL DE LEITO		TEXTURA DE MATERIAL DO LEITO

É importante salientar que a definição de estilos fluviais possui procedimentos de gabinete e validações em campo. Dessa forma, a configuração de vale e identificação das unidades geomórficas ocorrem em gabinete, permitindo gerar um mapa de estilos geral para a bacia. No entanto, o campo será fundamental para definição da textura de leito, confirmação das informações geradas em gabinete e para definir os limites reais dos trechos de cada estilo fluvial. Assim, serão coletadas informações em pontos que representem os estilos fluviais e serão visitados os limites entre os estilos, considerando a necessidade de um real entendimento da extensão e processos atuantes em cada estilo de rio.

De modo geral, após a definição da configuração de vale, unidades geomórficas e textura de material de leito, será gerado um mapa geral de estilos fluviais e sua respectiva matriz de estilos, que servirá para descrever as características gerais de cada estilo fluvial.

Posteriormente, será analisado individualmente cada estilo de rio, que permitirá entender sua característica e comportamento (Tabela 4).

Tabela 4 - Informações necessárias para análises individuais de estilos fluviais. Fonte: Adaptado de Brierley e Fryirs (2005).
DETALHES DA ANÁLISE

<i>Estilo Fluvial</i>	
CARACTERÍSTICA FLUVIAL	
<i>Configuração de vale</i>	É o tipo de confinamento de vale
<i>Forma em planta</i>	É a visão da planta do canal e sua forma
<i>Textura de material de leito</i>	Granulometria dos sedimentos no leito fluvial
<i>Unidades Geomórficas</i>	Existência de unidades que podem existir nos ambientes fluviais, como barras, ilhas e planícies
COMPORTEAMENTO FLUVIAL	
<i>Estágio seco</i>	Processos atuantes no canal na estação seca
<i>Estágio de cheia</i>	Processos atuantes no canal na estação chuvosa
CONTROLES FLUVIAIS	
<i>Área de captação do estilo</i>	É a área de captação à montante que drena para o estilo fluvial analisado
<i>Unidade de relevo</i>	É a área de relevo homogênea por onde escoam o estilo fluvial
<i>Processo fluvial atuante</i>	Se é uma zona de acreção, transporte ou acumulação
<i>Declividade do vale</i>	Inclinação da superfície do canal

A configuração de vale é o ponto de entrada para definir o estilo de rio, e é definida pelo grau de confinamento do canal, expressa pela presença/ausência de várzeas ao longo dos cursos fluviais (BRIERLEY; FRYIRS, 2005). Assim, os canais podem ser confinados, parcialmente confinados e não confinados. Geralmente os canais confinados apresentam menos de 10 % de planícies de inundação em ambas as margens do canal. Os parcialmente confinados apresentam entre 10 % e 90 % de planície de inundação em ambas as margens do canal, e dessa forma as planícies podem ser alternadas ou descontínuas ao longo do curso fluvial. Os não confinados apresentam menos de 10 % de confinamento de margem, com planícies de inundação contínuas ao longo das margens e podem ter canais contínuos e canais descontínuos. Nessa perspectiva, para gerar informações sobre a largura do vale e representar topograficamente as unidades geomórficas de acordo com suas variações de altura no ambiente fluvial, será utilizada estação total, onde os pontos de coleta serão de uma margem à outra.

As unidades geomórficas são ferramenta chave para interpretar a característica e comportamento do canal. É o principal parâmetro interpretativo na estrutura de estilos de rio. Os critérios utilizados são: número de canais, sinuosidade, barras e ilhas. Observando que este procedimento será feito tanto em gabinete como em campo, é importante salientar que para identificar o número de canais, sinuosidade, barras e ilhas serão utilizadas imagens de satélite do Google Earth mais recentes que permitam visualizar a planta do canal, no momento em que será gerado o mapa de estilos de gabinete. No momento do campo será utilizado o veículo aéreo não tripulado (drone) que permitirá a identificação detalhada das unidades geomórficas e permitirá gerar o mapa de estilos fluviais detalhado.

Outro procedimento que será realizado em campo é a identificação da textura de material de leito, esta é determinada através da base de calibre dominante encontrado no leito fluvial. Assim, serão utilizados procedimentos de análise granulométrica em laboratório para definir o calibre do material sedimentar encontrado no leito dos sistemas fluviais. Assim, são utilizadas 5 classes: Leito rochoso; Rocha (> 256 mm); Cascalho ($2 - 256$ mm); Areia ($0,0625 - 2$ mm); Silte e Argila ($< 0,0625$ mm).

Assim, após definir e caracterizar os estilos fluviais será possível gerar um mapa de estilos para a bacia do Alto Curso do Rio Piranhas, tendo em vista suas variáveis que geram as variações de trechos fluviais.

5.1.3. Etapa 3: Controles de característica e comportamento dos estilos fluviais

A etapa 3 define a característica, comportamento e padrões à jusante. Para isso é necessário interpretar os padrões à jusante de estilos de rio e determinar os controles de condição de contorno.

Padrões de controle à jusante

Para o controle de padrões à jusante será necessário gerar um diagrama através da plotagem dos estilos nos perfis longitudinais para identificar as relações energia de fluxo com a geologia. Também será utilizado para identificar se o canal atua em zona fonte, transporte ou deposição de sedimentos e onde ocorrem as rupturas de passagem de um estilo para outro.

O *Stream Power* é utilizado para mensurar a energia da água em um terreno, onde áreas que possuem índices altos de *Stream Power* possuem ótimas condições para gerar erosão. Segundo Rosa (2019), o *Stream Power* pode ser obtido através da seguinte equação:

$$\Omega = p \cdot g \cdot Q \cdot S$$

Onde a Ω é o *Stream Power*; p é a densidade da água; g é a força da gravidade; Q é a descarga; e S é a declividade em graus.

O valor da descarga é obtido através da multiplicação entre velocidade do fluxo e área molhada, expressa da seguinte maneira:

$$Q = A * U$$

Onde A = Área molhada no vale fluvial; U = Velocidade do fluxo.

O cálculo do *Stream Power* inicia-se com a multiplicação da densidade da água, normalmente 1.000 kg por metro cúbico (kg / m^3) pela aceleração devida à gravidade, que é de 9,81 metros por segundo ao quadrado (m / s^2) ao nível do mar. O produto desses dois números é 9.810 kg por metro quadrado (kg/m^2). Este é o resultado A.

Posteriormente o resultado A é multiplicado pela descarga hidráulica do fluxo. Por exemplo, supondo que a descarga hidráulica seja 10 metros em cubos por segundo (m^3 / s), o resultado é 98.100 $\text{kg} \cdot \text{m} / \text{s}^3$. Este é o resultado B.

Por fim, o resultado B é multiplicado pela inclinação do canal para obter a potência do fluxo. Concluindo o exemplo, se a inclinação do canal for 3 metros, o produto desse número com o resultado B fornecerá 294.300 Watts (W, que é a unidade de medida de potência). Este é o poder da descarga.

É necessário levar em consideração que os dados de descarga para os rios Peixe e Piranhas são escassos, o que remeteu desta maneira a trabalhar com médias mensais de descarga. Nessa perspectiva, o rio Piranhas possui instaladas e operando duas estações fluviométricas (Estações Várzea Grande e São Domingos de Pombal), enquanto o rio do Peixe possui apenas uma (Estação Aparecida). Desta maneira, através dos dados de descarga das estações fluviométricas foi feita a média do mês de abril entre os anos de 2000 e 2012, visto que este é o mês mais chuvoso da bacia. Contudo, as estações fluviométricas Aparecida e São Domingos de Pombal estão localizadas na foz dos rios do Peixe e Piranhas respectivamente, enquanto a estação Várzea Grande está inserida logo após o açude Eng. Ávidos, onde este açude controla

a descarga do canal o ano inteiro e altera o comportamento da energia de fluxo natural. Desta maneira, A descarga média mensal da estação Várzea Grande será plotada no gráfico de energia até o momento em que a extensão do rio Piranhas recebe a energia advinda do rio do Peixe, e o restante dos valores de energia serão atribuídos à vazão média da estação São Domingos de Pombal.

5.2. Estágio 2: Condição geomórfica do rio

O estágio 2 consiste em analisar a condição geomórfica do canal. São necessárias três etapas para alcançar o estágio 2, conforme a tabela 5:

Tabela 5 - Etapas do Estágio 2. Fonte: Adaptado de Brierley e Fryirs (2005).

Estágio 2	Etapa 1: Determinar a capacidade de ajuste do estilo de rio
	Etapa 2: Avaliar a evolução do rio 1

5.2.1. Etapa 1: Determinar a capacidade de ajuste dos estilos fluviais

Para determinar a capacidade de ajuste de estilos fluviais é necessário seguir os seguintes objetivos: Determinar os geoindicadores relevantes para cada grau de liberdade e avaliar a capacidade dos graus de liberdade para se ajustar. Graus de liberdade é a capacidade de diferentes componentes de um sistema fluvial se ajustarem (FRIYRS e BRIERLEY, 2005). Sendo assim, os geoindicadores relevantes para cada grau de liberdade são: atributos do canal, forma em planta e material de leito destrinchados em respectivos sub-geoindicadores conforme a Tabela 6. Dessa forma, será gerada uma tabela a partir de perguntas feitas aos estilos fluviais com informações de graus de liberdade de estilos organizados por configurações de confinamento de vale e seus geoindicadores principais, onde esta etapa fornece um guia inicial para os estilos de rios com maior probabilidade à mudança (Tabela 7).

Atributos do canal	Forma em planta	Característica do leito
Tamanho	Unidades Geomórficas	Tamanho do grão
Forma	Vegetação Ripária	Estabilidade do leito
Morfologia do leito		Regime sedimentológico
Estrutura da vegetação		
Carregamento de detritos lenhosos		

Tabela 6 - Variáveis dos geoindicadores. Fonte: Adaptado de Brierley e Fryirs (2005).

Geoindicadores relevantes	Perguntas para serem feitas a cada estilo fluvial	Boa condição	Condição moderada	Condição ruim
Atributo de canal	3 de 4 perguntas devem ser respondidas SIM para que o fluxo seja avaliado em BOAS condições	3 out of 4 = V	3 out of 4 = V	0 out of 4 = X
Tamanho	<ul style="list-style-type: none"> O formato do canal é apropriado ao longo do alcance (ou seja, as margens são irregulares ao longo das seções controladas pela rocha e escalonadas onde ocorrem as planícies de inundação?) 			
Monfologia da margem	<ul style="list-style-type: none"> As margens estão sofrendo erosão nos lugares certos e na taxa certa? (ou seja, sem sinais de expansão do canal?) 			
Estrutura da vegetação ribeirinha	<ul style="list-style-type: none"> Há madeira ao redor das ilhas e / ou potencial para recrutamento de madeira? (a madeira muitas vezes induz o desenvolvimento da ilha e atua como um agente de força para o desenvolvimento da piscina) 			
Carregamento de material lenhoso	<ul style="list-style-type: none"> A estrutura da vegetação ecológica é adequada? 			
Forma em planta do canal	1 de 2 perguntas devem ser respondidas SIM para que o fluxo seja avaliado em BOAS condições	1 out of 2 = V	1 out of 2 = V	0 out of 2 = X
Conjunto de unidades geomórficas	<ul style="list-style-type: none"> O conjunto, padrão e condição das unidades geomórficas ecológicas e de planície de inundação são apropriados para o Estilo do Rio? As unidades principais estão presentes? (ou seja, o alcance tem poças induzidas por leito rochoso e cursos com ilhas bem vegetadas e afloramentos rochosos sem sinais de deterioração, como poças preenchidas ou extensos lençóis de areia cobrindo o leito do canal)? 			
Vegetação ripária	<ul style="list-style-type: none"> Existem tipos apropriados e densidade de vegetação ripária presentes no rio, nas margens e na planície de inundação? 			
Textura de material de leito	2 de 3 perguntas devem ser respondidas SIM para que o fluxo seja avaliado em BOAS condições	3 out of 3 = V	1 out of 3 = X	0 out of 3 = X
Tamanho do grão e classificação	<ul style="list-style-type: none"> O tamanho do grão, a classificação e a organização dos materiais em diferentes unidades geomórficas são apropriados para o Estilo do Rio? (ou seja, o alcance tem uma mistura de afloramentos rochosos expostos e poças rochosas, ilhas arenosas, materiais de granulação fina em poças e em ilhas, e cascalhos ocasionais em corridas?) 			
Diversidade hidráulica	<ul style="list-style-type: none"> Existe uma ampla gama de características de rugosidade e diversidade hidráulica ao longo do alcance? 			
Regime de sedimentos	<ul style="list-style-type: none"> A função de armazenamento / transporte de sedimentos do alcance é apropriada para o Estilo do rio e sua posição de captação (ou seja, esses alcances agem como zonas de fluxo de sedimentos com armazenamento localizado de sedimentos em ilhas?) 			

Tabela 7 - Procedimentos para cada geoindicador. Fonte: Adaptado de Brierley e Fryirs, 2005.

Brierley e Fryirs (2005) disponibilizam uma estrutura de análise que relaciona o potencial de sensibilidade (baixo, moderado e alto) de acordo com as características de configuração de vale (Figura 8). Nessa perspectiva, será relacionada a característica de cada estilo à proposta de sensibilidade fluvial estabelecida. Nessa perspectiva, após definir os níveis de sensibilidade dos estilos de acordo com os geoindicadores e seus respectivos subgeoindicadores, serão avaliados os trechos dos estilos que podem apresentar potenciais modificações no tempo e no espaço. A confirmação/validação do modelo de sensibilidade será feita na etapa 2 do estágio 2 que se refere a avaliar as condições dos estilos fluviais e determinar uma condição de referência, que será uma análise baseada na morfologia e processos pretéritos comparados aos atuais.

Configuração de vale	Característica do leito	Morfologia do canal	Forma em planta do canal	Capacidade natural de ajuste e sensibilidade fluvial
Confinado	Frequentemente restringido por leito rochoso, podendo restringir os ajustes verticais.	Tamanho e largura controlados pela litologia confinante. A erosão da margem é insignificante.	Não há potencial para ajuste do número de canais, sinuosidade ou estabilidade lateral. Unidades geomórficas são formas amplamente impostas.	Baixa. Canal resiliente.
Parcialmente Confinado	Podem ser constituídos por diversas texturas de leito. Os ajustes de leito são dependentes da disponibilidade de material de leito e da história da carga transportada.	Tamanho e largura do canal são ajustados onde ocorre planícies de inundação. Assim, ocorrem ajustes localizados onde as unidades geomórficas permitem.	Potencial local para ajustes nas curvas do canal, mas a largura é controlada por rocha. Planície de inundação pode ser propensa a ser modificada ou reformada.	Localizada e moderadamente resiliente.
Não confinado com alta energia e canais contínuos	Podem ser constituídos por rocha ou por sedimentos grossos que controlam o leito. Assim, ocorrem ajustes locais, de forma dramática através de eventos de alta magnitude.	Tamanho e largura do canal podem ser ajustados lateralmente e verticalmente dependendo das condições de textura. Há potencial moderado de erosão da margem.	Potencial significativo para ajuste do número, sinuosidade e estabilidade lateral do canal. Ocorrem mudanças nas planícies de inundação.	Moderada e com sensibilidade significativa.
Não confinado com energia média e canais contínuos	O leito pode apresentar diversas texturas sendo móvel e sujeito a mudanças verticais, caso a textura seja maleável.	Tamanho e largura do canal podem ser ajustados lateralmente e verticalmente dependendo das condições de textura. Há potencial significativo para erosão das margens.	Potencial significativo para ajuste do número, sinuosidade e estabilidade lateral do canal. Ocorrem mudanças nas planícies de inundação.	Alta e muito sensível.
Não confinado com baixa energia e canais contínuos	Podem ser constituídos por texturas finas (Areia, silte e argila) e não apresentam potencial para evolução vertical.	A capacidade para tamanho, largura e ajustes laterais e verticais é estrangulada por margens coesas ao longo do sistema de transporte suspenso.	Potencial moderado para ajuste no número, sinuosidade e estabilidade lateral. Planícies de inundação são de grãos finos depositados por acreção vertical.	Localizada e moderadamente resiliente.
Não confinado com baixa energia e canais contínuos de embasamento rochoso	Podem ser constituídos por leito rochoso e apresentar variabilidade limitada por materiais recentes que se ajustam sobre o leito do canal.	Condição de leito imposta. Potencial para erosão de margem e ajuste da geometria do canal são dependentes da composição do canal e da planície de inundação.	Altamente variável dependendo do tipo de forma em planta. Tem capacidade limitada para ajustar as unidades geomórficas.	Localizada e moderadamente resiliente.
Não confinado com baixa energia e canais descontínuos	Textura do vale dependente do suprimento de sedimentos. Pode apresentar potencial de sedimentação em áreas de pântanos e áreas de acumulação.	A capacidade para mudança no tamanho e largura é limitada pela baixa energia.	Estrutura geomórfica relativamente simples, com pequeno potencial para ajuste.	Limitada, moderadamente resiliente, mas muito sensível à incisão.



Baixa sensibilidade



Moderada sensibilidade



Alta sensibilidade

Figura 8 - A capacidade de ajuste de rios em diferentes tipos de vale. Fonte: Adaptado de Brierley e Fryirs, 2005.

5.2.2. Etapa 2: Avaliar a evolução dos estilos fluviais e determinar uma condição de referência

Esta etapa consiste em avaliar a evolução do rio como base para identificar uma condição de referência adequada e casos de mudança geomórfica irreversível. Nessa perspectiva, será necessário identificar os prazos durante os quais as condições ambientais na bacia foram relativamente uniformes; construir uma sequência evolutiva para cada estilo de rio na bacia; definir se as mudanças foram reversíveis ou irreversíveis; definir critérios para a característica e comportamento fluviais baseados nos geoindicadores identificados na etapa 1 do estágio 2; e identificar e selecionar trechos de referência para cada estilo fluvial.

Condicionantes de mudança e sequência evolutiva

Este momento da pesquisa refere-se a análise de modificações no ambiente fluvial. Todavia, para tal é necessário determinar um período de tempo para analisar os geoindicadores de cada estilo. O recorte temporal para esta pesquisa será de 2004 a 2018 (datas das imagens disponíveis no Google Earth). Após a definição da escala temporal, será definido um valor parâmetro para estabelecer os eventos de alta, moderada e baixa magnitude. Para tal, foi utilizada uma adaptação da proposta de Souza (2014), que consiste em considerar os eventos de vazão de alta magnitude como aqueles que superam a média dos eventos anuais de vazão máxima. Nessa perspectiva, esses eventos seriam anômalos que podem causar alterações em ambientes fluviais. Os eventos de magnitude moderada são eventos que estão entre a média dos máximos e o valor médio menos o desvio padrão. Os eventos de baixa magnitude são aqueles que estão entre a média dos máximos menos o desvio padrão e 0,1, considerando que 0 indica ausência de fluxo no canal.

Inicialmente será feita uma análise da vazão nas 3 estações fluviométricas da bacia do alto curso do rio Piranhas, avaliando a média de dias com vazão entre 2004 e 2018; média de vazão diária anual da série histórica; maior vazão máxima da série histórica; e o ano com maior quantidade de dias com vazão. Essa análise permitirá ter uma compreensão acerca do comportamento a vazão nos rios Piranhas e Peixe e dará suporte para identificar todos os eventos de alta magnitude que ocorreram entre os anos analisados e identificar a incidência desses eventos (Figura 9).

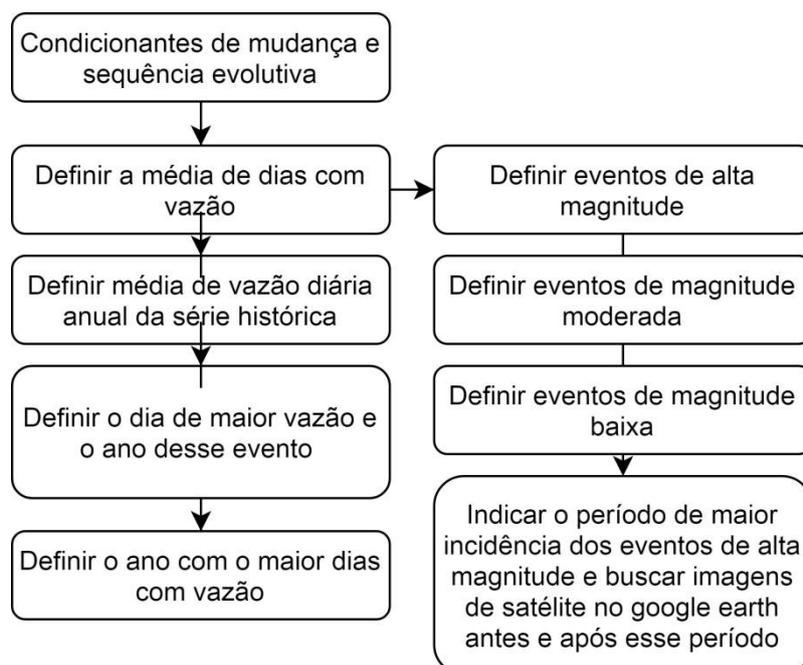


Figura 9 - Fluxograma referente às etapas de análise das imagens de satélite para validação do índice de sensibilidade fluvial. Fonte: Autoral (2020).

Após a definição da recorrência dos eventos de alta magnitude na bacia do alto curso do rio Piranhas, será definido o dia mais chuvoso do mês mais chuvoso do ano hidrológico mais chuvoso, para identificar o evento de alta magnitude mais significativo do recorte de tempo analisado, conforme visto na Figura 9. Isso possibilitará a busca pela imagem de satélite de data mais próxima antes e após este grande evento nos estilos fluviais que apresentarem maior propensão à mudança, tendo como foco comprovar a sensibilidade.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1. Característica e comportamento fluviais

Para avaliar os controles regionais que influenciam na diversidade de estilos fluviais, foi necessário realizar uma caracterização física da bacia hidrográfica em estudo que permitiu partir da escala de bacia para escala de canal de acordo com cada etapa de análise dos estágios. A bacia foi dividida em três unidades de relevo para este trabalho com base na geologia, declividade e topografia, onde a homogeneidade predominante de cada variável consta como índice de classificação de unidade de relevo. A bacia apresenta três grandes unidades de relevo em seu perímetro: (1) Patamares Elevados de Dissecação, (2) Pedimento Dissecado, (3) Superfície Aplainada de Agradação (Figura 11).

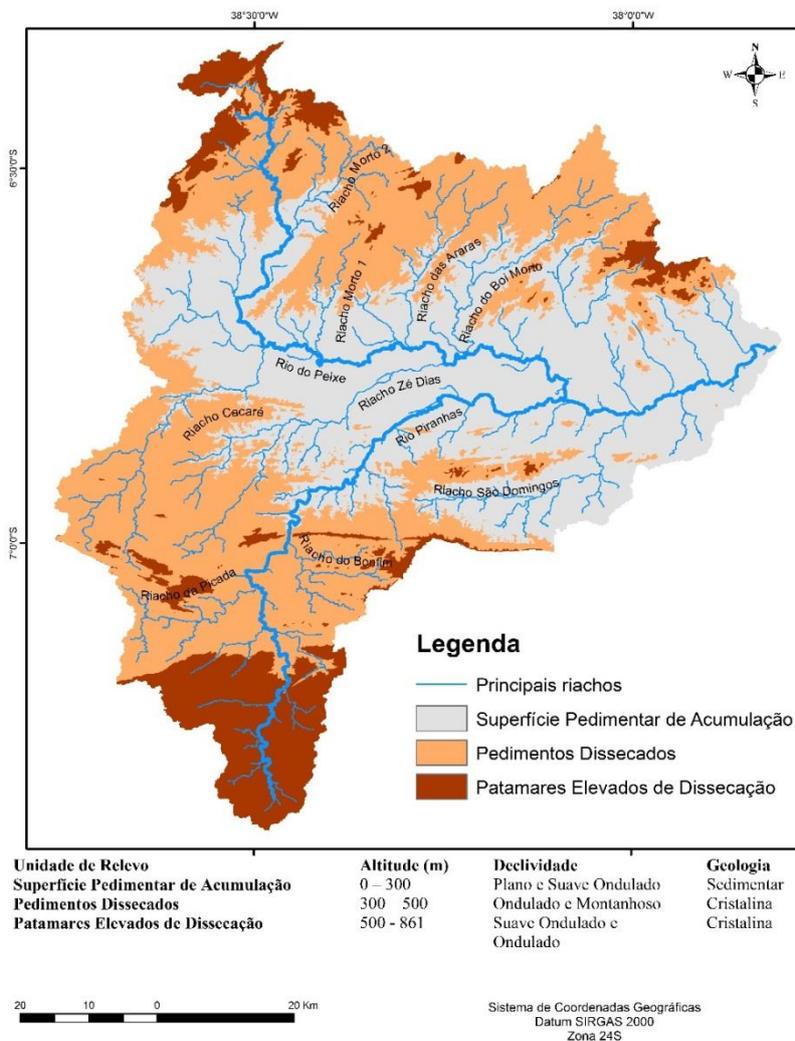


Figura 10 - Unidades de relevo da bacia do Alto Curso do rio Piranhas. Elaboração: Autor (2019).

Observando as variações topográficas, geológicas e de declividade em que escoam os rios Piranhas e Peixe, os respectivos canais possuem consequentes variações de relevo. Nessa perspectiva, primeiramente o rio Piranhas possui variação topográfica acentuada após 39 km de distância das suas áreas de cabeceira de drenagem, como evidenciado no perfil longitudinal do rio Piranhas (Figura 11). Sob o mesmo ponto de vista, o perfil longitudinal do rio do peixe possui inclinação acentuada desde sua nascente até os 5 km à jusante da cabeceira, que logo após apresenta perfil gradativo até sua foz (Figura 12). Segundo Gilluly (1958) o perfil longitudinal de um rio é uma curva que representa o gradiente do canal, sendo obtido tomando como base as altitudes dos diferentes pontos da superfície do rio, considerando as distâncias horizontais percorridas. É importante salientar que o perfil longitudinal de cada rio é individualmente único, pois suas variações da história geológica influenciam a disposição da superfície em que os rios escoam.

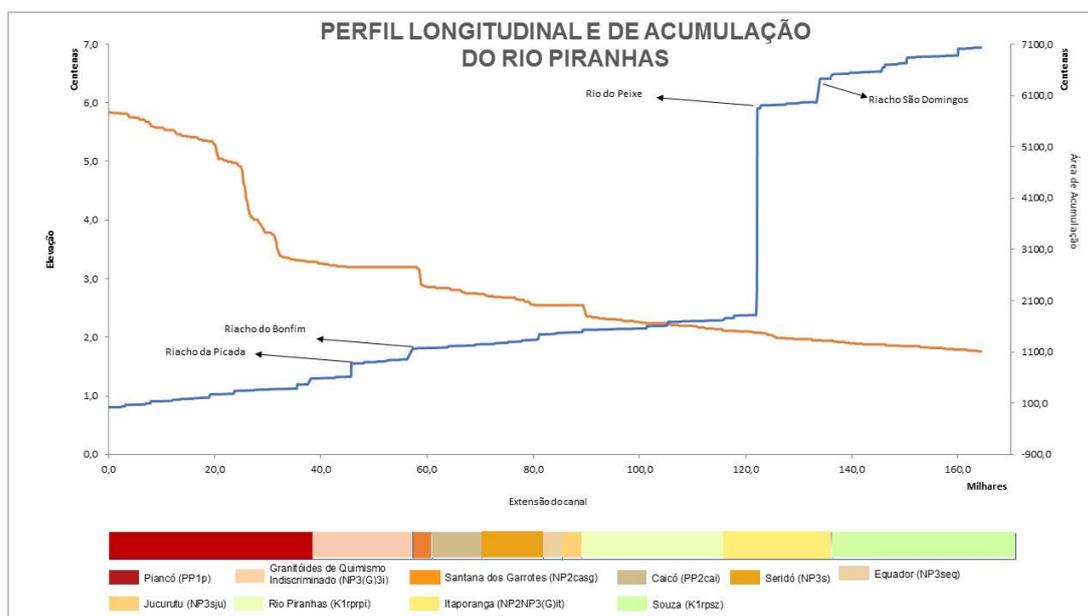


Figura 11 - Perfil Longitudinal do rio Piranhas. Elaboração: Autor (2019).

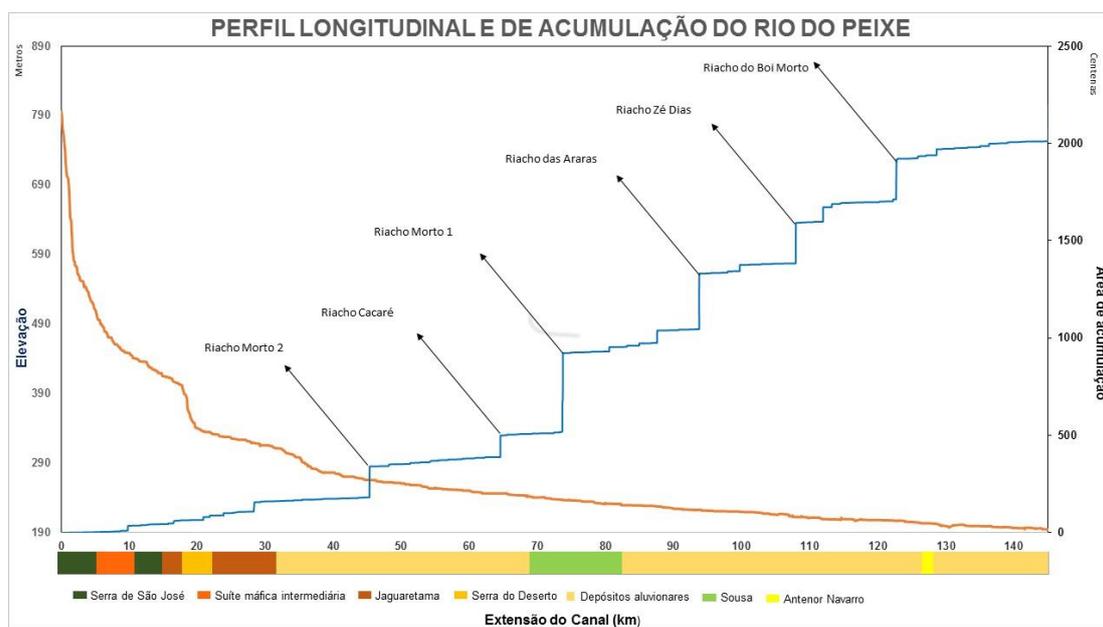


Figura 12 - Perfil Longitudinal do rio do Peixe. Elaboração: Autor (2019).

De acordo com as Figuras 11, o rio Piranhas como canal principal apresenta maior extensão e área de contribuição, drenando uma área de 6010 km², inclusive, todo o acumulado do rio do Peixe que desemboca no rio Piranhas, sendo importante salientar que o encontro do rio do Peixe com o rio Piranhas gera um aumento abrupto de acumulação de fluxo 120 km após as áreas de cabeceira deste último.

Uma variável importante na forma do perfil longitudinal é a geologia, que no caso do rio Piranhas, apresenta forma côncava, no entanto, com topo convexo e redução gradativa da declividade conforme vai se distanciando das áreas de cabeceira, onde a única ruptura de declive acentuada encontra-se no contato entre as unidades geológicas Piancó e Granitóides de Quimismo Indiscriminado. O rio do Peixe possui perfil longitudinal côncavo, onde suas cabeceiras de drenagem são totalmente controladas por rochas cristalinas, evidenciando sua forte inclinação na superfície que gradativamente é reduzida até o contato com as rochas sedimentares pertencentes às unidades Sousa, Antenor Navarro e Depósitos Aluvionares. GILLULY et al. (1964) afirmam que a maioria dos rios longos apresentam perfis côncavos, embora as diversidades nos detalhes sejam sempre heterogêneas, pois isto é justificado pela busca constante do equilíbrio dinâmico tendo em vista que os rios buscam ajustar seu gradiente através do carregamento de detritos e entalhe do talvegue.

Sendo assim, o fator preponderante que diferem as formas dos perfis longitudinais dos rios do Peixe e Piranhas é a geologia, pois enquanto o rio Piranhas escoar cerca de 90 km sobre geologia cristalina até encontrar embasamento sedimentar pertencente à unidade geológica Rio Piranhas (sedimentar), o rio do Peixe escoar apenas cerca de 34 km sobre o cristalino, para logo após escoar sobre terrenos sedimentares pertencentes à unidade de Depósitos Aluvionares.

A análise fluviométrica da bacia foi feita através da relação dos dados de precipitação com os de vazão para as estações fluviométricas Aparecida, Várzea Grande e São Domingos de Pombal. Cada estação está localizada em áreas que permitem a avaliação da vazão por Unidade de relevo, ou seja, a estação Aparecida mede a vazão na foz do Rio do Peixe, o qual escoar majoritariamente sobre a unidade de relevo Superfície Aplainada de Acumulação. A estação Várzea Grande faz a medição da vazão do rio Piranhas, onde neste trecho drena as áreas dos Patamares Elevados de Dissecação e Pedimentos Dissecados. A Estação São Domingos de Pombal faz a medição da vazão próximo à foz da bacia, o que permite correlacionar com os dados de precipitação que ocorrem entre as estações fluviométricas Aparecida e Várzea Grande (Figura 13).

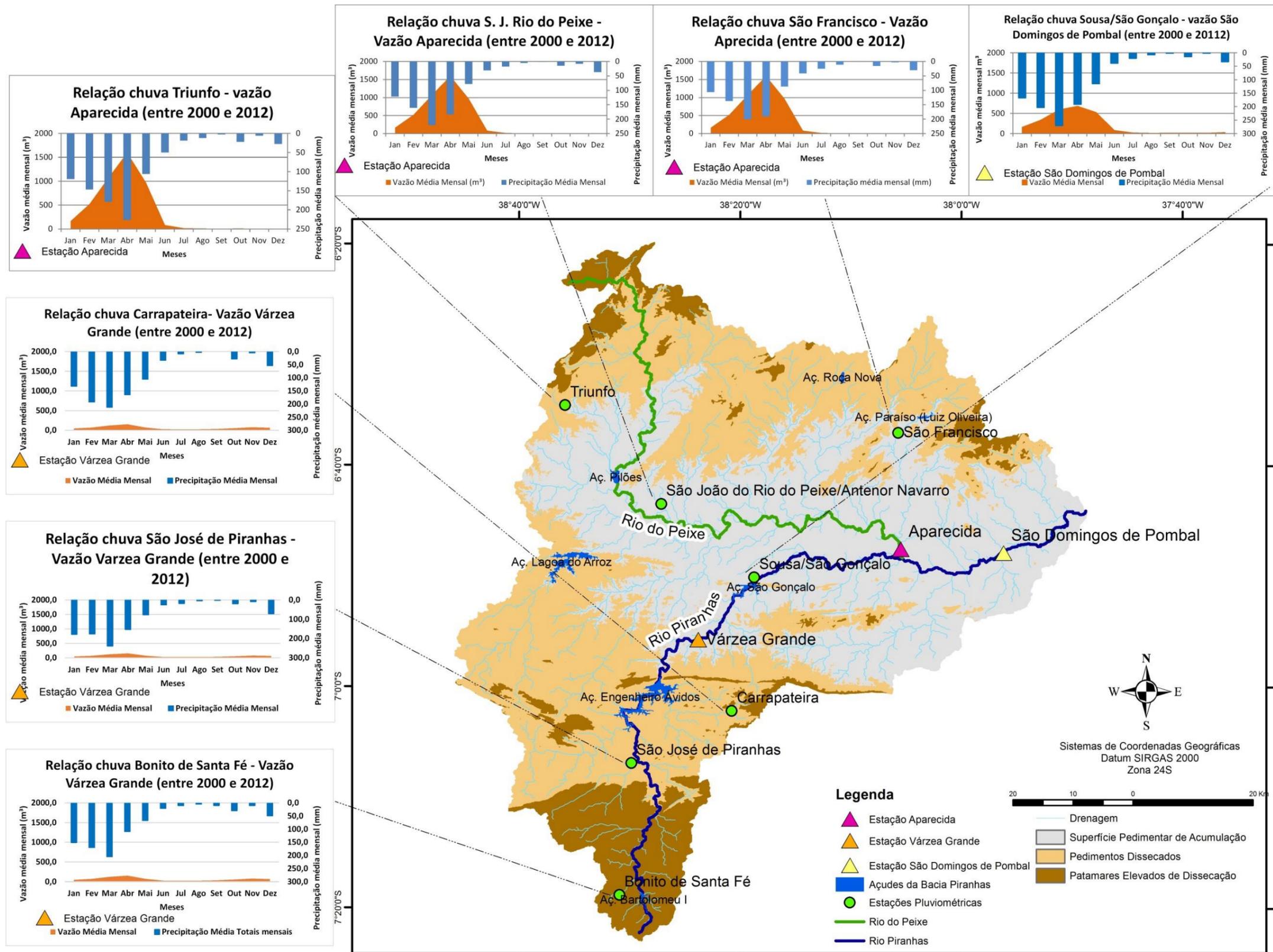


Figura 13 - Fluviometria do Alto Curso do Rio Piranhas. Elaboração: Autoral (2019).

Foi possível analisar os dados de vazão da estação fluviométrica de Várzea Grande com as estações pluviométricas de Bonito de Santa Fé, São José de Piranhas e de Carrapateira. Os dados de vazão da estação fluviométrica de Aparecida foram relacionados com os dados de precipitação das estações pluviométricas de Triunfo, São João do Rio do Peixe e de São Francisco. Os dados de vazão da estação fluviométrica de São Domingos de Pombal foram relacionados com os dados de precipitação da Estação Pluviométrica de Souza/São Gonçalo (Tabela 8).

Tabela 8 - Localização das estações pluviométricas em suas respectivas unidades de relevo, mês de maior precipitação média e estação fluviométrica correlacionada. Elaboração: Autoral (2019).

Estação Pluviométrica	Altitude	Unidade de relevo das estações pluviométricas	Mês médio mais chuvoso	Quantidade de precipitação média	Estação Fluviométrica
Bonito de Santa Fé	500-861	Patamares Elevados de Dissecção	Março	204,6 mm	Várzea Grande
São José de Piranhas	300-500	Pedimentos Dissecados		239 mm	
Carrapateira				212,3 mm	
Triunfo			Abril	226,2 mm	Aparecida
São João do Rio do Peixe	176-300	Superfície Pedimentar de Acumulação	Março	231,6 mm	
São Francisco				200,9 mm	
Souza/São Gonçalo				270,4 mm	São Domingos de Pombal

O pico de vazão média mensal do período entre 2000 e 2012 das três estações fluviométricas ocorre no mês de abril, ou seja, com exceção da estação de triunfo em que o pico de precipitação média mensal ocorre no mês de abril, os picos de precipitação média das demais estações pluviométricas ocorrem no mês de março, ou seja, a resposta na vazão média ocorre no mês seguinte (Figura 13). É importante salientar que há uma tendência de aumento exponencial de janeiro a abril, época da quadra chuvosa na bacia e consequente aumento nos valores de chuva e vazão.

Algo a ser levado em conta é a manutenção do fluxo medido na estação fluviométrica de Várzea Grande, considerando que a vazão média mínima medida entre 2000 e 2012 ocorre no mês de junho no período seco, sendo de 25 m³/s (Figura 13), ou seja, o canal é perenizado artificialmente poucos quilômetros após a barragem Engenheiro Ávidos, e não apresenta variação abrupta de vazão entre o período seco e o período chuvoso na bacia. A barragem Eng. Ávidos é a maior barragem da bacia hidrográfica do Alto Curso do Rio Piranhas construída no ano de 1932.

Diferentemente, o rio do Peixe apresenta vazão até dois meses após a quadra chuvosa (Jan – Abr), ou seja, a vazão dura até o mês de junho, e permanece com o leito seco de julho a dezembro. Já o ponto próximo à foz da bacia, onde a estação de São Domingos de Pombal faz a medição da vazão, indica que o fluxo ocorre de dezembro a julho, tendo em vista que na região da estação pluviométrica de Souza/São Gonçalo é onde ocorre os maiores valores de precipitação, como também, sendo o trecho de maior acumulo de água da bacia, drenando toda a área do rio do Peixe e a maior parte da área do rio Piranhas.

No que tange à vazão entre as estações fluviométricas analisadas, a estação de Aparecida localizada na foz do Rio do Peixe apresenta o maior valor de vazão máxima, cerca de 1597 m³/s no mês de abril, possibilitando associar a menor taxa de vazão aos terrenos de substrato sedimentar, ou seja, é possível que os processos de infiltração sejam mais atuantes na área correspondente ao rio do Peixe do que suas áreas circunvizinhas. A estação de Várzea Grande e de São Domingos de Pombal apresentam vazão no mês de abril de 153 m³/s e 697 m³/s respectivamente, onde a estação de Várzea Grande faz a medição da drenagem que ocorre sobre as áreas cristalinas, ou seja, que favorecem ao escoamento superficial, todavia, é necessário considerar a influência do açude Eng. Ávidos que faz a manutenção do fluxo. A estação de São Domingos de Pombal está localizada em áreas sedimentares, o que permite o favorecimento da infiltração, mas levando em consideração que esta estação faz a medição da drenagem responsável pela captação do rio do Peixe e maior parte do rio Piranhas.

6.2. Identificação e caracterização dos estilos fluviais

Inicialmente, a definição de estilos fluviais é realizada a partir de levantamentos de gabinete, no que tange à identificação de confinamento de vale, forma em planta e unidades geomórficas. Posteriormente, o trabalho de campo é utilizado para coleta de dados que servem de base para definir a característica e comportamento do rio, objetivando a busca dos limites de cada estilo (BRIERLEY e FRYIRS, 2005). Assim, foi gerado o mapa de estilos fluviais da bacia hidrográfica do Alto Curso do Rio Piranhas, através da análise de imagens de satélite do Google Earth, que permitiu a identificação das unidades geomórficas, e respectivamente do confinamento do vale (Figura 14). O campo permitiu a identificação da textura de material de leito e a validação/confirmação dos dados levantados em laboratório através de sobrevoo de drone.

Após a definição dos estilos fluviais. Foi construída uma matriz de informações gerais dos estilos, o que permitiu descrever os atributos distintivos entre eles. A nomenclatura dos estilos foi definida com base em sua morfologia e processos atuantes, ou seja, a característica e comportamento de cada alcance. De modo geral, o limite entre um estilo e outro foi definido através de alterações nas unidades geomórficas existentes no ambiente fluvial, atributo chave da definição de estilos fluviais. Em última instância, o atributo selecionado para distinguir os estilos foi a textura de material de leito (Figura 15).

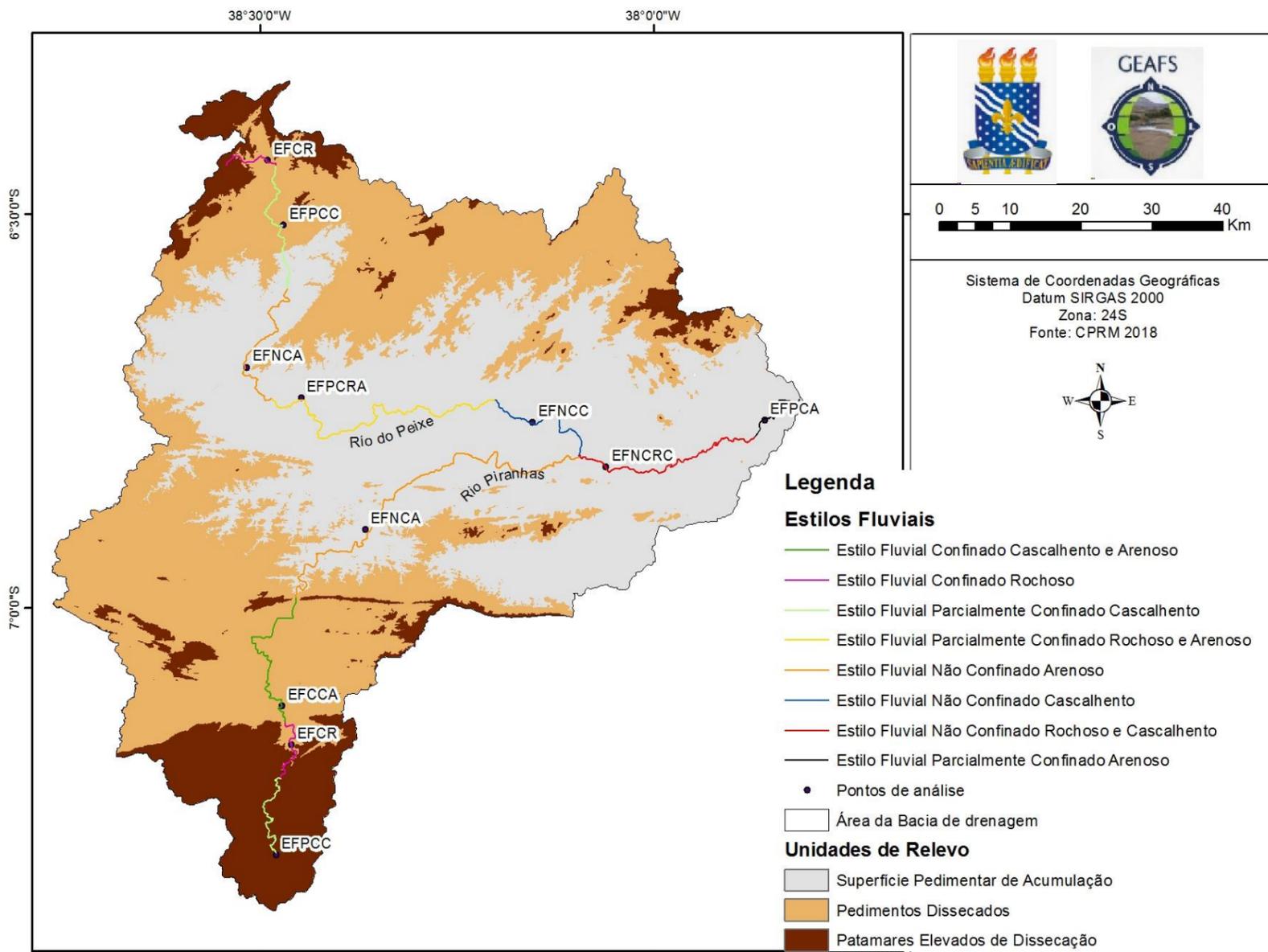


Figura 14 - Estilos Fluviais e Pontos do Campo analisados. Fonte: Autoral (2020).

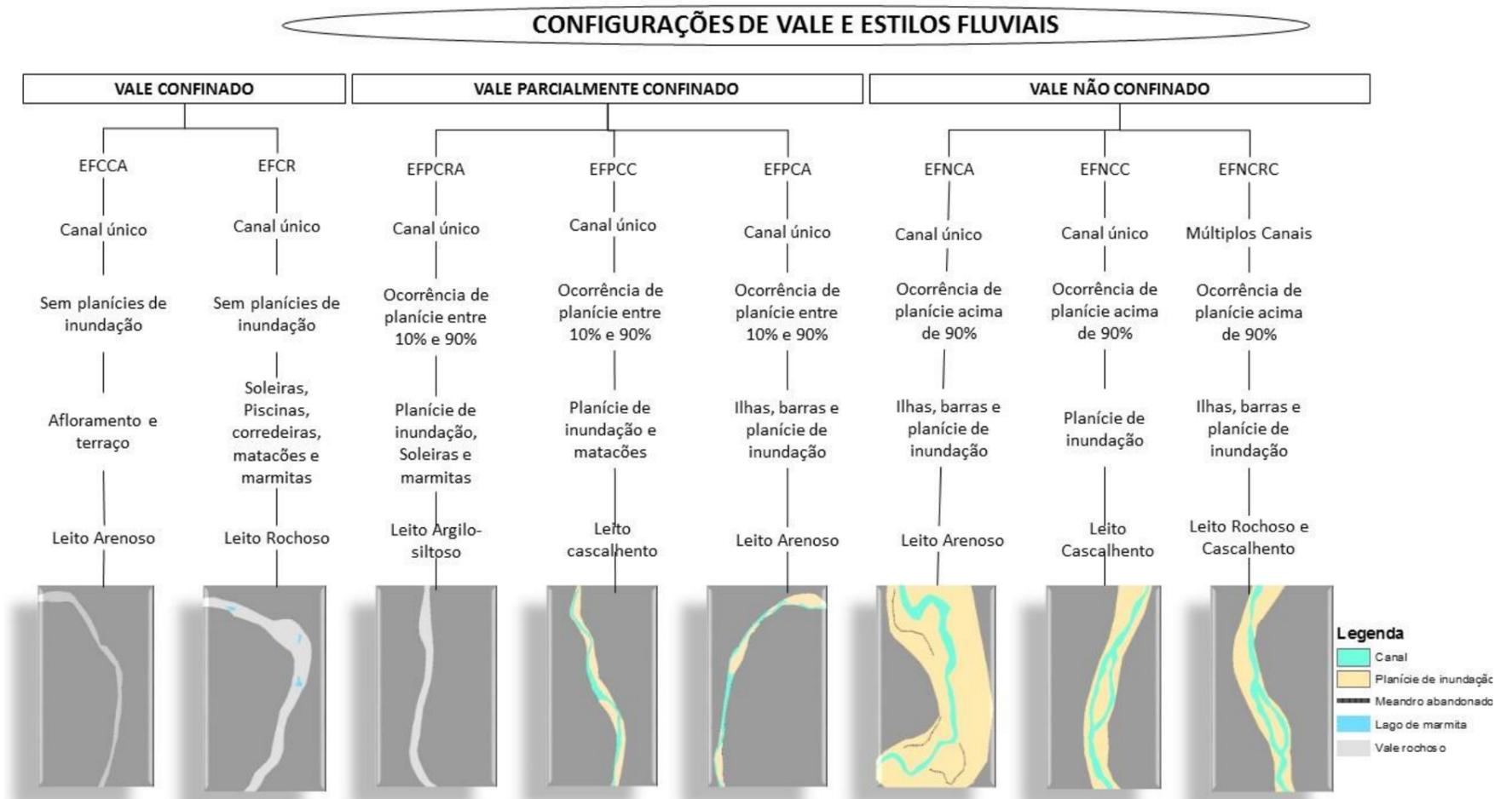


Figura 15 - Características dos estilos fluviais de acordo com o confinamento do vale. Fonte: Autoral (2020).

6.2.1. Estilos Fluviais Confinados

A bacia hidrográfica do alto curso do rio Piranhas possui apenas dois estilos fluviais confinados. Estes correspondem aos trechos que escoam sobre o cristalino das cabeceiras de drenagem. Nessa perspectiva são canais que não apresentam planícies de inundação nas margens fluviais e sofrem influência do embasamento e margens compostas de rochas cristalinas.

O Estilo Fluvial Confiando Cascalhento e Arenoso (EFCCA) está situado inteiramente sobre a unidade de relevo Pedimentos Dissecados e sobre o Cristalino. O que diferencia o EFCCA do EFRCR que o antecede é que existe diferença nos valores de declividade entre esses estilos, além das unidades geomórficas. Desta maneira, o Estilo Fluvial Confinado Cascalhento e Arenoso possui uma amplitude de 26 m em uma extensão de 29,5 km, o que implica em uma declividade de 0.08%. Com isso, esse estio é confinado na margem direita por rochas expostas e na margem esquerda por uma encosta. Também ocorrem maiores incidências de deposição de material sedimentar do tipo arenoso (Figura 16). Esse estilo faz a drenagem de uma área de 325 km² e nele ocorrem processos simultâneos de transporte e deposição. Todavia, estes processos fluviais são mais nítidos de acordo com o período chuvoso. Nessa perspectiva, no período seco ocorre a predominância de sedimentação de material arenoso no leito, enquanto que na estação chuvosa o processo predominante é o de transporte de material fino (Tabela 9).

Tabela 9 - Matriz do Estilo Fluvial Confinado Cascalhento e Arenoso. Elaboração: Autoral (2020).

DETALHES DA ANÁLISE	
ESTILO FLUVIAL	Estilo Fluvial Confinado Cascalhento e Arenoso
CARACTERÍSTICA FLUVIAL	
CONFIGURAÇÃO DE VALE	Vale confinado
FORMA EM PLANTA	Apresenta canal único com substrato arenoso, margem esquerda confinada por terraço fluvial e margem direita confinada por afloramento rochoso. A largura do vale é de 60 m e 2,7 m de profundidade.
TEXTURA DE MATERIAL DE LEITO	Leito Arenoso e cascalhento
UNIDADES GEOMÓRFICAS	<ul style="list-style-type: none"> • Encosta na margem esquerda formado através dos processos deposicionais, que após alterações processuais, o canal não consegue mais alcançar os patamares de altitude desta unidade, confinando-o. • Afloramento rochoso na margem direita funcionando como elemento de resistência geomorfológica aos esforços fluviais, confinando o trecho.
COMPORTAMENTO FLUVIAL	
ESTÁGIO SECO	Por não possuir vazão na estação seca, o trecho permite a acumulação de sedimentos arenosos e cascalhentos no leito fluvial, principalmente na área do talvegue.
ESTÁGIO DE CHEIA	Quando há fluxo no canal, que ocorre entre janeiro e maio, o canal consegue de transporte apenas os sedimentos finos, como areia, silte e argila, devido aos baixos valores de declividade neste trecho. Contudo, o fato deste estilo estar localizado perto do sopé dos patamares elevados de dissecação que dispersa as águas superficialmente, faz com que este estilo tenha grande capacidade de transporte, só que com baixa energia, ou seja, baixa competência.
CONTROLES FLUVIAIS	
ÁREA DE CAPTAÇÃO DO ESTILO	325 km ²
UNIDADE DE RELEVO	Pedimentos Dissecados.
PROCESSO FLUVIAL ATUANTE	Transporte e deposição.
DECLIVIDADE DO VALE	0,08%

O Estilo Fluvial Confinado Rochoso (EFCR) está situado no contato entre as unidades geológicas Granitóides de Quimismo Indiscriminados e Santana dos Garrotes, onde ocorre uma ruptura de declive de 183 m de amplitude numa faixa de 13,5 km de extensão no rio Piranhas. Este atributo no sistema fluvial do EFCR condiciona uma morfologia de canal único com leito rochoso e irregular, e com a presença de unidades geomórficas como marmitas, matacões e corredeiras sob uma declividade de 1,3% (Figura 17). Este estilo está inserido em uma zona de contato entre as unidades de relevo Patamares Elevados de Dissecação e Pedimentos Dissecados, e faz a drenagem de uma área de 296 km². Nessa perspectiva, durante a estação seca o canal não apresenta indícios de deposição de material sedimentar, apenas algumas aglomerações de areia no sopé dos matacões que atuam como impedimentos naturais à passagem desse material. Todavia, na estação chuvosa, este trecho apresenta competência de

transporte suficiente para transportar todo o material fino advindos das áreas de cabeceira da bacia (Tabela 10).

Tabela 10 - Matriz do Estilo Fluvial Confinado Rochoso. Elaboração: Autoral (2020).

DETALHES DA ANÁLISE	
ESTILO FLUVIAL	Estilo Fluvial Confinado Rochoso
CARACTERÍSTICA FLUVIAL	
CONFIGURAÇÃO DE VALE	Vale Confinado
FORMA EM PLANTA	Apresenta canal único de base e margens rochosas, sem planícies de inundação com largura de 40 m e 3,3 m de profundidade.
TEXTURA DE MATERIAL DE LEITO	Leito rochoso com pontos de retenção de areia pelas soleiras e matacões no leito.
UNIDADES GEOMÓRFICAS	<ul style="list-style-type: none"> • Matacões – Concentram-se nos locais planos do leito, formando aglomerados de matacões. • Marmitas de abrasão – Formas localizadas nas corredeiras geradas pelo processo circular de sedimentos finos no leito rochoso. • Soleiras rochosas – Afloramentos rochosos expostos pelos esforços fluviais e localizados em toda extensão do estilo, com exceção das corredeiras. • Piscinas e corredeiras – As piscinas são as marmitas de maior extensão preenchidas por água, formadas no sopé das corredeiras, que por sua vez são pontos rochosos e de alta declividade.
COMPORTAMENTO FLUVIAL	
ESTÁGIO SECO	Por não possuir vazão na estação seca, o trecho permite a acumulação de sedimentos arenosos no sopé dos matacões e nos afloramentos rochosos. Contudo, o leito é predominantemente lavado sem sedimentação.
ESTÁGIO DE CHEIA	Quando há fluxo no canal, que ocorre entre janeiro e maio, devido as altas declividades e o leito rochoso, o escoamento não possui rugosidade suficiente para retrain sua velocidade, o que concede altas velocidades ao fluxo e alto potencial de transporte e erosão de sedimentos, removendo desde finos a cascalhos.
CONTROLES FLUVIAIS	
ÁREA DE CAPTAÇÃO DO ESTILO	296 km ²
UNIDADE DE RELEVO	Contato entre as Superfícies Aplainadas de Dissecação e os Pedimentos Dissecados.
PROCESSO FLUVIAL ATUANTE	Erosão e transporte.
DECLIVIDADE DO VALE	1,3%.

De modo geral, o Estilo Fluvial Confinado Cascalhento e Arenoso (EFCCA) ocorre na sequência do Estilo Fluvial Confinado Rochoso (EFCR), e o que contribui para variação na forma e processos atuantes nestes estilos são os fatores geologia e declividade, pois enquanto o EFCR está situado sobre uma ruptura de declive associada ao contato entre duas unidades geológicas que marcam os limites de duas unidades de relevo, o EFCCA situa-se sobre uma área majoritariamente aplainada de substrato cristalino.

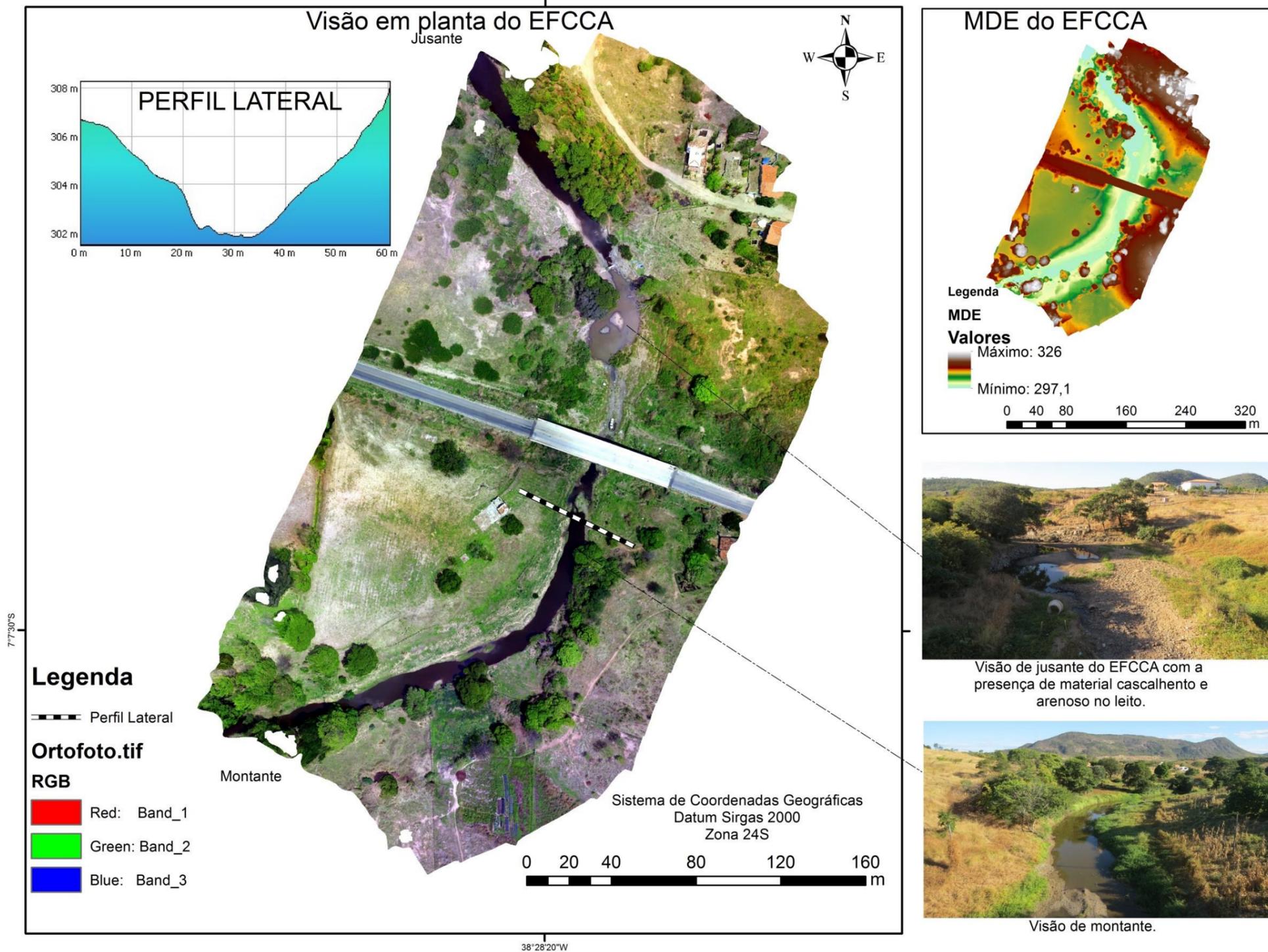


Figura 16 - Estilo Fluvial Confinado Cascalhento e Arenoso. Elaboração: Autoral (2020).

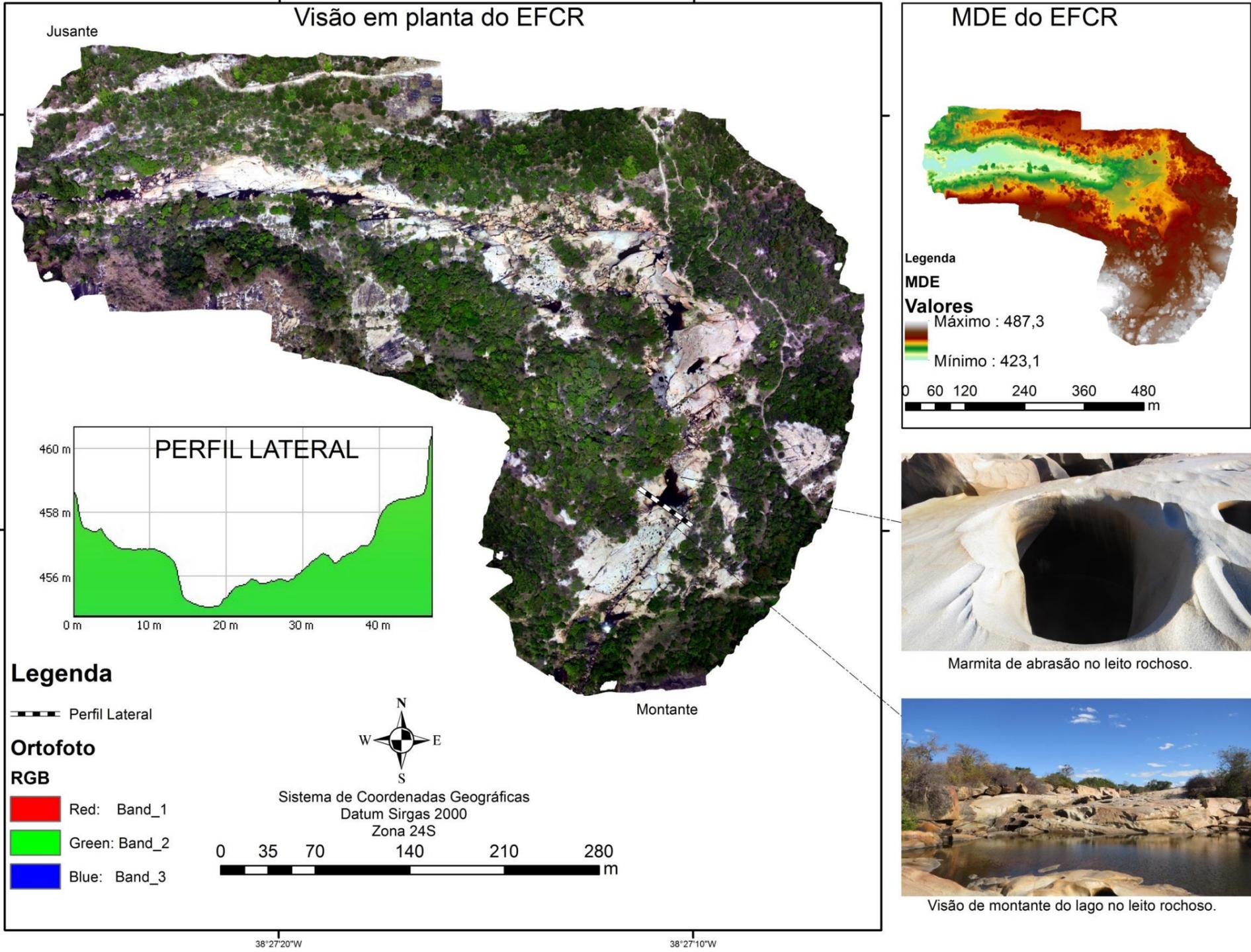


Figura 17 - Estilo Fluvial Confinado Rochoso. Fonte: Autoral (2020).

6.2.2. Estilos Fluviais Parcialmente Confinados

A bacia hidrográfica do alto curso do rio Piranhas apresenta três unidades de relevo, nas quais ocorrem os diferentes estilos fluviais da bacia. O Estilo Fluvial Parcialmente Confinado Rochoso e Arenoso (EFPCRA) está inserido totalmente sobre a unidade de relevo Pedimentos Dissecados e apresenta canal único, com ocorrência de planícies de inundação entre 10% e 90%, soleiras, marmitas e textura de material de leito rochoso e arenoso. Este estilo faz a drenagem de uma área de 1439 km² e sua textura é associada ao comportamento fluvial durante as estações chuvosa e seca (Tabela 11).

Nesse sentido, durante a estação seca a ausência de fluxo permite a deposição de material sedimentar arenoso em pontos isolados do leito do canal, e a presença de leito rochoso de arenito exposto (Figura 18). Na estação chuvosa, o canal por possuir uma área de contribuição considerável em relação aos outros estilos, possui maior capacidade de transporte, lavando o leito, transportando todo sedimento fino e deixando o leito totalmente rochoso. Portanto, esse estilo possui declividade de 0,06% e atua como uma zona de erosão e transporte sedimentar.

A unidade de relevo Patamares Elevados de Dissecação está situada nas áreas de cabeceira de drenagem com as maiores cotas altimétricas da bacia, que variam de 500 a 861 m, e com uma declividade que varia de suave ondulado a ondulado sobre geologia cristalina. Nessa perspectiva, é sobre esta unidade e no rio Piranhas que ocorre o Estilo Fluvial Parcialmente Confinado Cascalhento (EFPCC), que apresenta entre 10% e 90% a presença de planícies de inundação em uma de suas margens (vale salientar que este é o principal critério para definir estilos parcialmente confinados). Mas este estilo também se repete sobre a unidade de relevo Pedimentos Dissecados no que tange as áreas de cabeceira do rio do Peixe. Portanto, o substrato rochoso associado a variações de declividade atribuem o característica fluvial parcialmente de leito cascalhento nesse estilo. O EFPCC apresenta canal único, planície de inundação contínua em uma das margens e a presença de matações no ambiente fluvial, com a predominância de leito cascalhento (Figura 19).

Tabela 11 - Matriz do Estilo Fluvial Parcialmente Confinado Rochoso e Arenoso. Elaboração: Autoral (2020).

DETALHES DA ANÁLISE	
ESTILO FLUVIAL	Estilo Fluvial Parcialmente Confinado Rochoso e Arenoso
CARACTERÍSTICA FLUVIAL	
CONFIGURAÇÃO DE VALE	Vale Parcialmente confinado
FORMA EM PLANTA	Apresenta canal único de base e margem direita rochosas, com planície de inundação na margem esquerda e com largura de 30 m e 3,4 m de profundidade.
TEXTURA DE MATERIAL DE LEITO	Leito rochoso com acúmulo de areia pelas soleiras rochosas e pela área do talvegue no leito.
UNIDADES GEOMÓRFICAS	<ul style="list-style-type: none"> •Marmitas de abrasão – Formas localizadas nas superfícies rochosas do leito maior e geradas pelo processo circular de abrasão por sedimentos finos no leito rochoso. •Soleiras rochosas – Afloramentos rochosos expostos pelos esforços fluviais e localizados em toda extensão do estilo, com exceção da área do talvegue. •Planície de inundação – Forma associada à área de baixa energia do estilo, forçando a deposição de material sedimentar na margem esquerda correspondente à curva do canal.
COMPORTAMENTO FLUVIAL	
ESTÁGIO SECO	Por não possuir vazão na estação seca, o trecho permite a acumulação de sedimentos arenosos no sopé dos afloramentos rochosos e na área do talvegue. Contudo, o leito é predominantemente rochoso e expõe a unidade geológica Sousa.
ESTÁGIO DE CHEIA	Quando há fluxo no canal, que ocorre entre janeiro e maio, devido às contribuições de fluxo pelo grande número de tributários associado a altas declividades, o canal consegue transportar o material fino e deixando apenas o leito rochoso exposto, onde o escoamento não possui rugosidade suficiente para retrain sua velocidade, o que concede altas velocidades ao fluxo e alto potencial de transporte de sedimentos, removendo os finos. É neste estágio de cheia em que ocorre o retrabalhamento da várzea.
CONTROLES FLUVIAIS	
ÁREA DE CAPTAÇÃO DO ESTILO	1439 km ²
UNIDADE DE RELEVO	Contato entre as Superfícies Aplainadas de Dissecação e os Pedimentos Dissecados.
PROCESSO FLUVIAL ATUANTE	Erosão e transporte.
DECLIVIDADE DO VALE	0.06%.

Desta maneira, por mais que esteja situado em uma área majoritariamente aplainada, a dissecação intensa das áreas de cabeceira oferta material sedimentar para o leito fluvial, que consegue transportar os finos na estação chuvosa e deixar predominando no ambiente fluvial o material cascalhento. É importante salientar que a margem confinante deste estilo é composta por um terraço fluvial na margem esquerda e uma planície contínua na margem direita. Este estilo drena uma área de 59 km² e possui declividade de 0,3% (Tabela 12).

Tabela 12 - Matriz do Estilo Fluvial Parcialmente Confinado Cascalhento. Elaboração: Autoral (2020).

DETALHES DA ANÁLISE	
ESTILO FLUVIAL	Estilo Fluvial Parcialmente Confinado Cascalhento
CARACTERÍSTICA FLUVIAL	
CONFIGURAÇÃO DE VALE	Vale confinado
FORMA EM PLANTA	Apresenta canal único com substrato arenoso, margem esquerda confinada por terraço fluvial e margem direita confinada por afloramento rochoso. A largura do vale é de 30 m e 2,7 m de profundidade.
TEXTURA DE MATERIAL DE LEITO	Leito cascalhento
UNIDADES GEOMÓRFICAS	<ul style="list-style-type: none"> • Terraço na margem esquerda formado através dos processos deposicionais, que após alterações processuais, o canal não consegue mais alcançar os patamares de altitude desta unidade, confinando-o. • Afloramento rochoso na margem direita funcionando como elemento de resistência geomorfológica aos esforços fluviais, confinando o trecho. • Planície de inundação na margem direita.
COMPORTEAMENTO FLUVIAL	
ESTÁGIO SECO	Por não possuir vazão na estação seca, o trecho permite a acumulação de sedimentos arenosos e cascalhentos no leito fluvial, principalmente na área do talvegue.
ESTÁGIO DE CHEIA	Quando há fluxo no canal, que ocorre entre janeiro e maio, o canal consegue de transporte apenas os sedimentos finos, como areia, silte e argila, devido aos valores de declividade neste trecho, que embora localizado nos paramares elevados de dissecação, não possui declives tão acentuados como os estilos confinados a sua jusante. Contudo, o fato deste estilo estar localizado perto do sopé dos patamares elevados de dissecação que dispersa as águas superficialmente, faz com que este estilo tenha grande capacidade de transporte, só que com baixa energia, ou seja, baixa competência.
CONTROLES FLUVIAIS	
ÁREA DE CAPTAÇÃO DO ESTILO	59 km ²
UNIDADE DE RELEVO	Pedimentos Dissecados
PROCESSO FLUVIAL ATUANTE	Erosão e transporte
DECLIVIDADE DO VALE	0,3 %

O Estilo Fluvial Parcialmente Confinado Arenoso está localizado na foz no rio do Piranhas e totalmente inserido na unidade de relevo Superfície Pedimentar de Acumulação. Este estilo

fluvial é único na bacia e apresenta canal único, com planícies de inundação, barras, ilhas e terraço na margem esquerda (Figura 20). Nessa perspectiva, o fator confinante de uma das margens é o terraço fluvial que impede o extravasamento do fluxo na margem esquerda. É importante salientar que o canal é composto por um leito arenoso. Desta maneira, situado em uma unidade de relevo que tem como principal característica a superfície plana, o canal apresenta 0,08% de declividade e drena uma área de 5809 km² (Tabela 13). A questão do comportamento fluvial neste estilo é invariável à estação climática, pois tanto no período chuvoso como no período seco amplas faixas de material arenoso se acumulam no leito e formam uma capa arenosa. A diferença é que na estação seca o material arenoso fica exposto à superfície.

Os estilos fluviais parcialmente confinados estão situados e bem distribuídos nas três unidades de relevo da bacia hidrográfica do alto curso do rio Piranhas. A característica singular entre eles são as planícies de inundação que ocorrem apenas em uma das margens. Por mais que haja alteração na disposição de inclinação da superfície de acordo com a unidade de relevo em que um trecho de rio está inserido, os estilos fluviais parcialmente confinados do alto Piranhas apresentam baixos valores de declividade. Todavia, de acordo com Brierley e Fryirs (2005), a última instância para determinar um estilo de rio é o material de leito, e este foi o principal fator de diferenciação entre os estilos fluviais parcialmente confinados.

Tabela 13 - Matriz do Estilo Fluvial Parcialmente Confinado Arenoso. Elaboração: Autoral (2020).

DETALHES DA ANÁLISE	
ESTILO FLUVIAL	Estilo Fluvial Parcialmente Confinado Arenoso
CARACTERÍSTICA FLUVIAL	
CONFIGURAÇÃO DE VALE	Vale parcialmente confinado
FORMA EM PLANTA	Apresenta canal único e com leito arenoso com presença de seixos no talvegue. Possui vale estreito com 8,5 m de largura e 1,5 m de profundidade. Possui também planícies de inundação descontínuas nas margens do canal.
TEXTURA DE MATERIAL DE LEITO	Leito arenoso
UNIDADES GEOMÓRFICAS	<ul style="list-style-type: none"> Planícies de inundação arenosas descontínuas nas margens do canal geradas através do processo de deposição de sedimentos arenosos. Deve-se levar em consideração que o fato deste trecho estar localizado próximo à foz da bacia, recebe todo material sedimentar erodido e transportado das partes mais altas da bacia que não ficaram retidos nos impedimentos. Barras e ilhas formadas através da deposição de material sedimentar, considerando que as ilhas são formas estáveis e as barras mutáveis periodicamente. Terraço na margem esquerda gerado através de processos de deposição pretéritos que não são mais alcançados pelos processos de inundação atuais. Este terraço atua como confinante da margem esquerda do canal.
COMPORTAMENTO FLUVIAL	
ESTÁGIO SECO	Por não possuir vazão na estação seca, o trecho permite a acumulação de altas taxas de sedimentos arenosos em todo o vale, com a presença de seixos na área do talvegue.
ESTÁGIO DE CHEIA	Quando há fluxo no canal, que ocorre entre janeiro e maio, o canal consegue de transporte apenas os sedimentos finos, como silte e argila, devido aos baixos valores de declividade neste trecho. O fato de receber grandes cargas de sedimentos que superam sua capacidade e competência, impede que o fluxo transporte os materiais recebidos, forçando-o a depositar os materiais de granulometria arenosa.
CONTROLES FLUVIAIS	
ÁREA DE CAPTAÇÃO DO ESTILO	5809 km ²
UNIDADE DE RELEVO	Superfície Pedimentar de Acumulação.
PROCESSO FLUVIAL ATUANTE	Deposição.
DECLIVIDADE DO VALE	0,08 %

Um fator importante que pode condicionar o comportamento parcialmente confinante destes estilos é a energia de fluxo que será um tema abordado na identificação dos controles fluviais da bacia hidrográfica do alto curso do rio Piranhas.

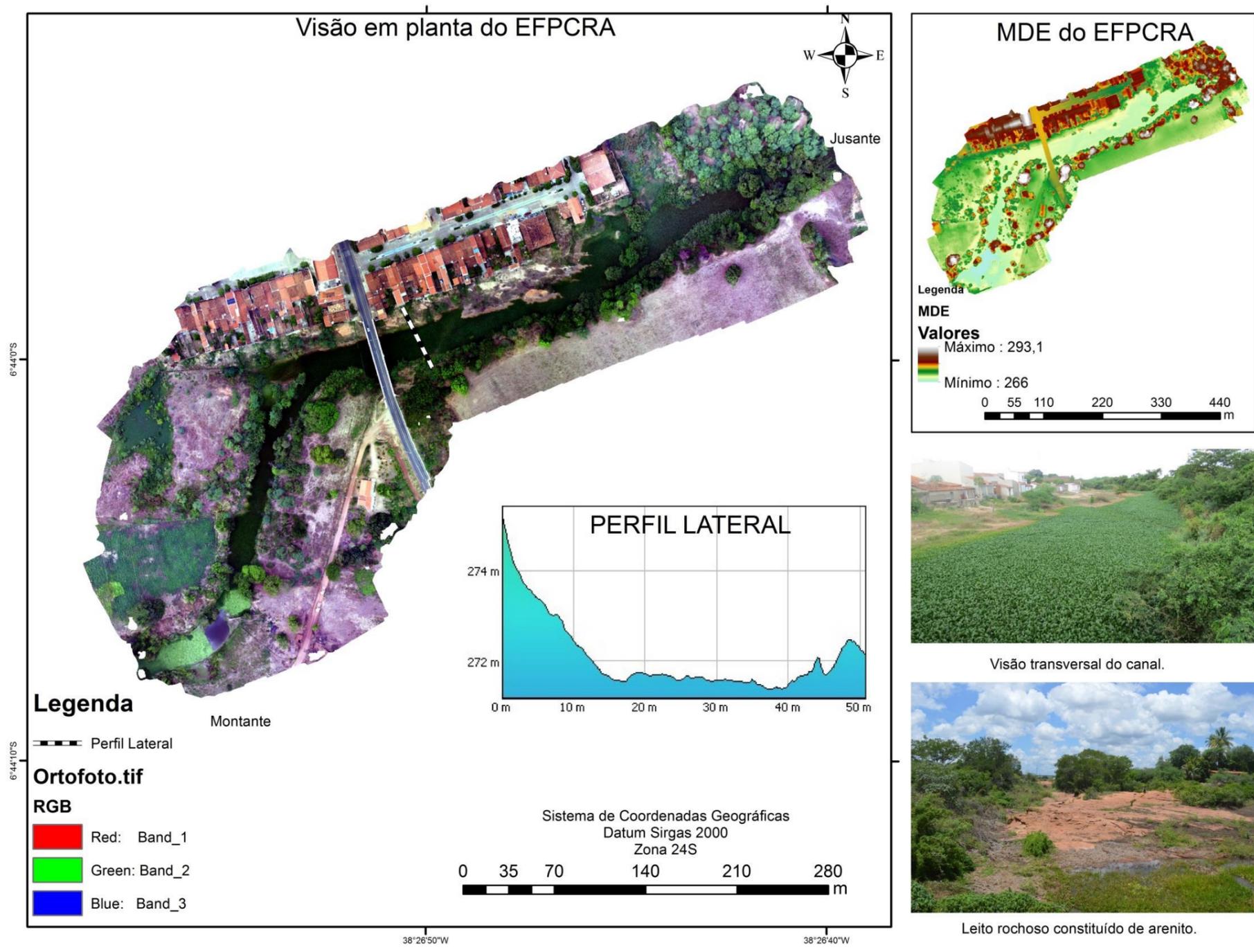


Figura 18 - Estilo Fluvial Parcialmente Confinado Rochoso E Arenoso. Elaboração: Autoral (2020).

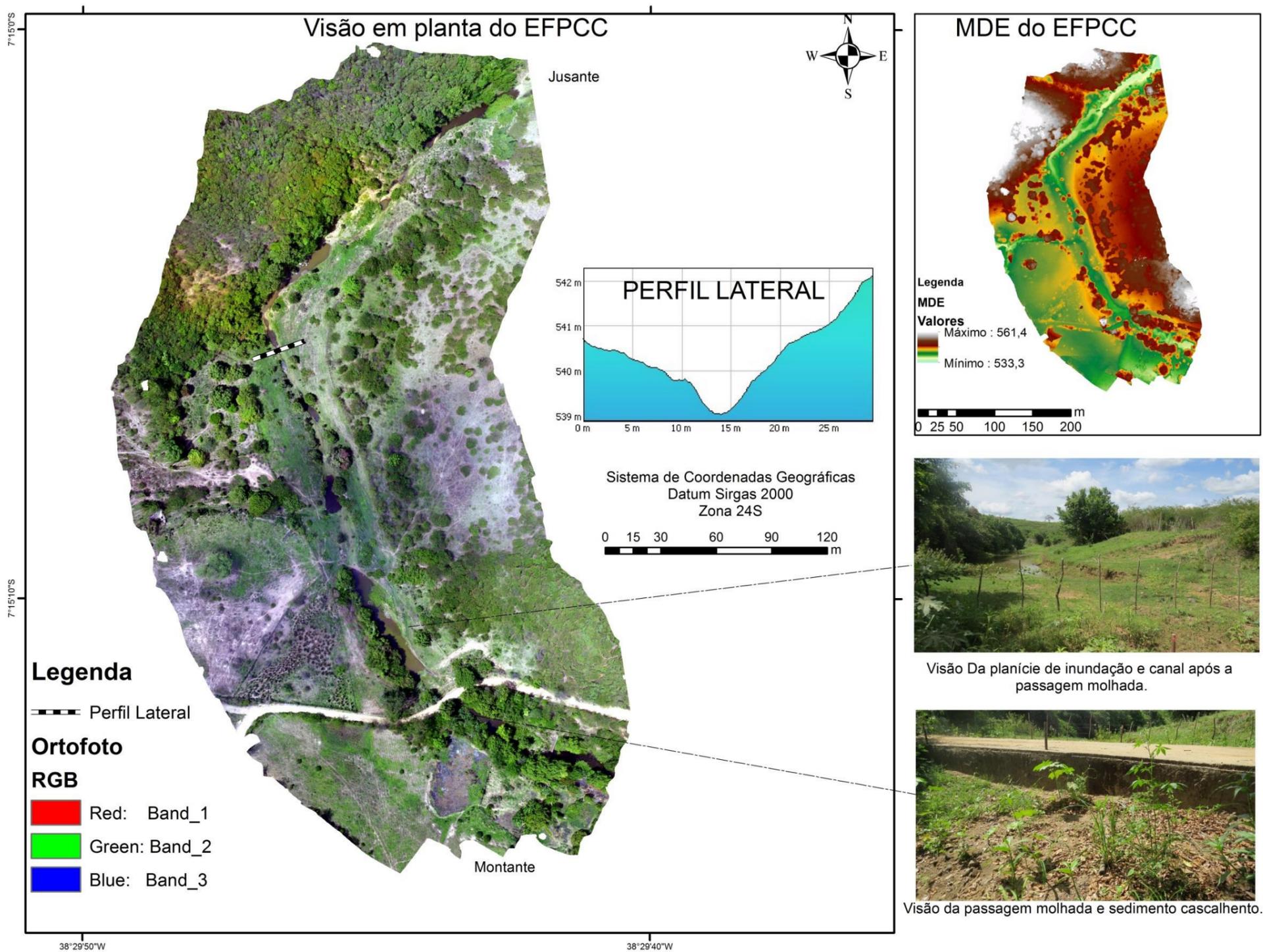


Figura 19 - Estilo Fluvial Parcialmente Confinado Cascalhento. Elaboração: Autoral (2020).

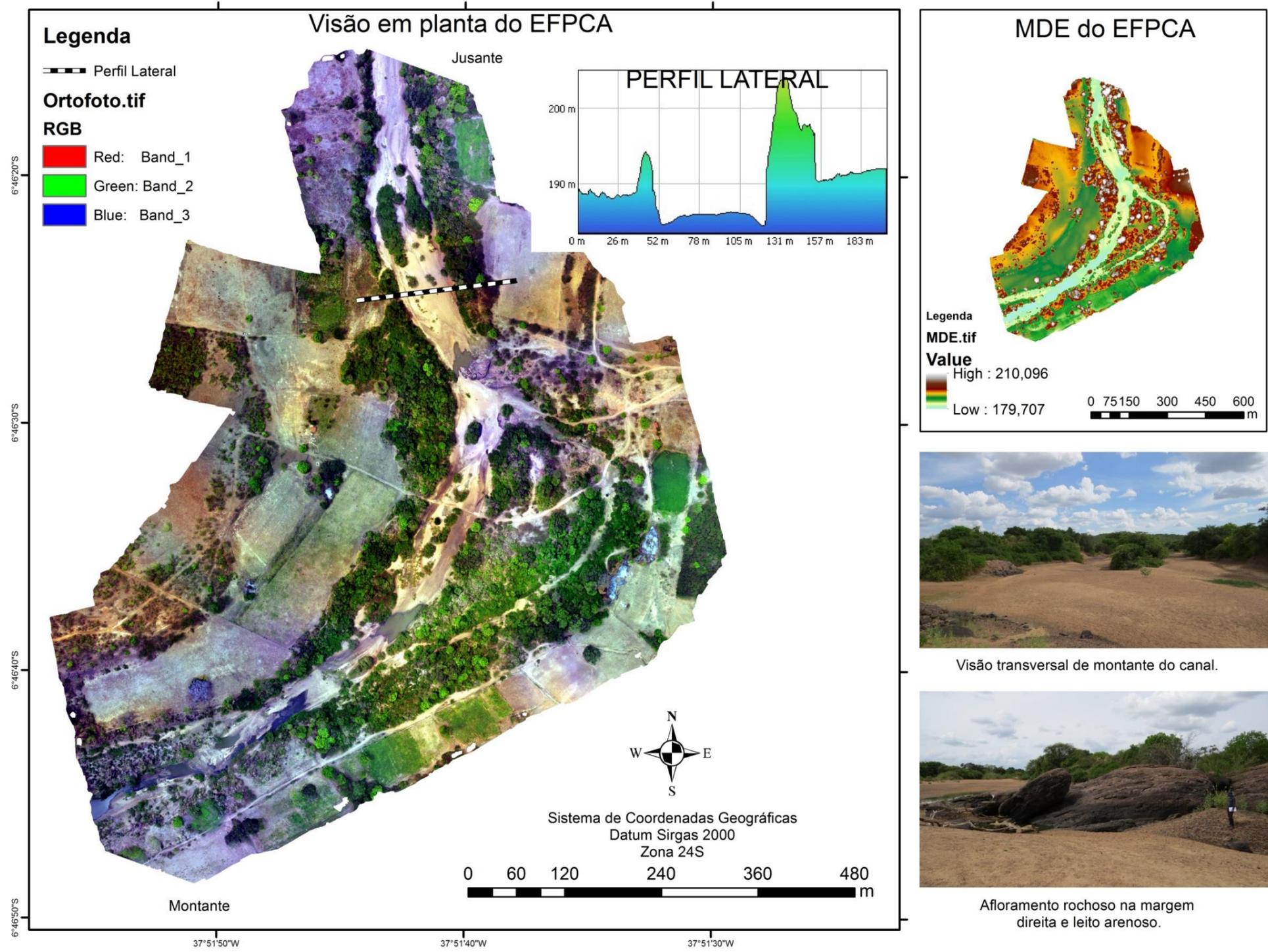


Figura 20 - Estilo Fluvial Parcialmente Confinado Arenoso. Elaboração: Autoral (2020).

6.2.3. Estilos Fluviais Não Confinados

Pensando em trechos de rio não confinados, segundo Brierley e Fryirs (2005), podem ser denominados como canais não confinados àqueles que apresentarem planície de inundação em mais de 90% em ambas as margens do trecho fluvial. Desta maneira, o fluxo tem probabilidade de extravasamento nos períodos de cheia, por não ter controles nas margens.

O Estilo Fluvial Não Confinado Arenoso (EFNCA) é o trecho de maior extensão da bacia hidrográfica do Alto Curso do Rio Piranhas. Esse estilo fluvial não possui confinamento nas margens e apresenta planícies de inundação contínuas. Escoam sobre rochas cristalinas do paleoproterozóico tanto no rio do Peixe, como também, no rio Piranhas. Seus vales são largos, com valores que chegam em média a 53,7 m de largura e 2,98 m de profundidade (Figura 21). De modo geral, a largura está intimamente relacionada às áreas deposicionais correspondentes às planícies de inundação, enquanto que na área de talvegue, observa-se um pequeno vale em forma de “V”. Este trecho escoam a baixas declividades, tendo em vista a disposição plana da unidade de relevo em que está inserida, que corresponde à unidade de Pedimentos dissecados, que apresenta característica de relevo ondulado a suave ondulada. Sua área de captação no rio Piranhas é de aproximadamente 781 km² e por não possuir vazão natural, ou seja, uma resposta imediata aos eventos de chuva como ocorrem em outros estilos fluviais, o comportamento deste estilo não se altera interanualmente (Tabela 14).

A barragem Engenheiro Ávidos localizada logo no início deste estilo fluvial faz a manutenção do fluxo durante todo o percurso do estilo, fazendo com que o trecho não apresente variações de vazão ao longo de sua extensão. Obviamente ocorrem pequenas variações de fluxo interanualmente como foi visto na discussão dos dados de fluviometria durante a caracterização da área, tendo em vista o recebimento de energia de alguns pequenos tributários existentes após o ponto de instalação da barragem, mas nada eu altere a dinâmica da vazão de forma significativa, de acordo com os dados de vazão apresentados pela estação fluviométrica Várzea Grande. A barragem atua como um elemento de desconectividade, a qual retém energia e matéria à montante do impedimento e ocasiona o contrário a sua jusante, reduzindo drasticamente a vazão e a disponibilidade de sedimentos (FARAH-PÉREZ *et al.*, 2020). Desta maneira, a paisagem fluvial do Estilo Fluvial Não Confinado Arenoso (EFNCA) apresenta as marcas de processos pretéritos na extensão desses alcances fluviais, tendo em

vista que foi retirada desses canais a capacidade natural de se ajustar de acordo com os diferentes níveis de energia que entram na área de captação deste estilo.

Tabela 14 - Matriz do Estilo Fluvial Não Confinado Arenoso. Elaboração: Autoral (2020).

DETALHES DA ANÁLISE	
ESTILO FLUVIAL	Estilo Fluvial Não Confinado Arenoso
CARACTERÍSTICA FLUVIAL	
CONFIGURAÇÃO DE VALE	Vale confinado
FORMA EM PLANTA	Apresenta canal único com substrato arenoso, planície de inundação nas duas margens e um vale com 120 m de largura e 2,98 m de profundidade.
TEXTURA DE MATERIAL DE LEITO	Leito Arenoso
UNIDADES GEOMÓRFICAS	•Planície de inundação formadas por processos deposicionais frequentemente retrabalhadas nas enchentes.
COMPORTAMENTO FLUVIAL	
ESTÁGIO SECO	Observa-se que este estilo fluvial está intimamente relacionado com as áreas influenciadas por barramentos. No rio Piranhas, o EFNCA inicia após o ponto da barragem Eng. Ávidos (maior barragem da bacia hidrográfica do Alto Curso do Rio Piranhas). No rio do Peixe, esse estilo inicia após a barragem Lagoa do Arroz. Ambos os açudes fazem a manutenção do fluxo durante o ano inteiro, gerando alteração da dinâmica natural dos canais na paisagem fluvial, e o que se vê atualmente são marcas de processos pretéritos deposicionais nesses trechos/alcances fluviais.
ESTÁGIO DE CHEIA	
CONTROLES FLUVIAIS	
ÁREA DE CAPTAÇÃO DO ESTILO	781 km ²
UNIDADE DE RELEVO	Superfície Aplainada de Agradação.
PROCESSO FLUVIAL ATUANTE	Transporte e deposição.
DECLIVIDADE DO VALE	0,05%

O Estilo Fluvial Não Confinado Cascalhento (EFNCC) é um trecho que também não apresenta planície de inundação, sendo este, localizado na parte final do rio do Peixe, correspondendo ao trecho de foz do referido rio. Sua morfologia em planta mostrou que esse estilo apresenta canal único com 33,7 m de largura por 3,7 m de profundidade (Tabela 15). Desta maneira, é um trecho relativamente largo, se comparado com os outros estilos da bacia e apresenta leito cascalhento. Foi importante definir a textura de material de leito para definir esse estilo, tendo em vista que apresenta características morfológicas semelhantes às do Estilo Fluvial Não Confinado Arenoso. A diferença relativa à textura de material de leito é

parâmetro chave para entender que os processos geomorfológicos atuantes são de maior competência no Estilo Fluvial Não Confinado Cascalhento. De modo geral, a morfologia de leito também apresentou a existência de Planícies de inundação em ambas as margens e ilhas estabelecidas no ambiente fluvial com densa vegetação arbustiva sobre elas (Figura 22). A área de captação deste estilo é de 3407 km², indicando que por ser um trecho de foz, conseqüentemente apresenta uma das maiores áreas de captação/contribuição entre os estilos fluviais identificados.

Esse estilo escoar sobre terrenos sedimentares, principalmente sobre a unidade geológica Sousa do mesozoico cretáceo. Através da identificação da textura de material de leito cascalhento, inferiu-se que este estilo possui capacidade e competência de transporte maiores que as do Estilo Fluvial Não Confinado Arenoso, mas esta discussão será estabelecida no próximo tópico desta pesquisa, que se refere à parte de identificação dos controles dos estilos fluviais da bacia. Tendo em vista a variabilidade interanual da entrada de energia no sistema fluvial, este estilo apresenta processos geomorfológicos simultâneos em seu alcance no período chuvoso, pois o transporte de material fino no tipo silte, argila e areia ocorrem de forma intensa, enquanto ocorre o predomínio de acumulação de material de textura cascalhenta no leito, evidenciando que sua competência não é capaz de transportar material cascalhento. Durante a estação seca, o trecho não possui fluxo, tendo em vista as características intermitentes deste estilo fluvial.

Tabela 15- Matriz do Estilo Fluvial Não Confinado Cascalhento. Elaboração: Autoral (2020).

DETALHES DA ANÁLISE	
ESTILO FLUVIAL	Estilo Fluvial Não Confinado Cascalhento
CARACTERÍSTICA FLUVIAL	
CONFIGURAÇÃO DE VALE	Vale não confinado
FORMA EM PLANTA	Apresenta canal único com substrato sedimentar, planície de inundação nas duas margens e ilhas. Seu vale tem 33,72 m de largura e 3,74 m de profundidade.
TEXTURA DE MATERIAL DE LEITO	Leito Cascalhento e arenoso
UNIDADES GEOMÓRFICAS	<ul style="list-style-type: none"> • Planície de inundação formadas por processos deposicionais frequentemente retrabalhadas nas enchentes e constituídas principalmente de cascalhos e areia. • Ilhas fluviais estáveis com presença de vegetação e formadas por silte e argila.
COMPORTAMENTO FLUVIAL	
ESTÁGIO SECO	O estilo possui vazão na estação seca por se encontrar na parte mais baixa do rio do Peixe, o que lhe permite receber toda a drenagem da bacia do rio do Peixe. No entanto, o fluxo é baixo se comparado com o fluxo da estação chuvosa, fazendo com que haja manutenção e transporte apenas dos sedimentos mais finos, como areia, silte e argila.
ESTÁGIO DE CHEIA	Quando há fluxo no canal, que ocorre entre janeiro e maio, o canal consegue de transporte os sedimentos cascalhentos, os quais são preponderantes no ambiente fluvial. Como este é o trecho que corresponde à foz da bacia, é onde o rio do Peixe possui maior vazão e conseqüentemente maior capacidade de transporte. No entanto, seria via de regra que este trecho deveria receber maiores quantidades de sedimentos, que não ocorre por conta dos impedimentos antrópicos como barragens localizadas nos estilos à montante.
CONTROLES FLUVIAIS	
ÁREA DE CAPTAÇÃO DO ESTILO	3407 km ²
UNIDADE DE RELEVO	Superfície Aplainada de Agradação.
PROCESSO FLUVIAL ATUANTE	Transporte e deposição.
DECLIVIDADE DO VALE	0,05%

O Estilo Fluvial Não Confinado Rochoso e Cascalhento (EFNCRC) está localizado entre o EFNCA e o EFPCA, sobre a Superfície Aplainada de Agradação. Esse estilo apresenta textura cascalhenta no leito, o que permite inferir que possui competência de fluxo capaz de transportar os materiais finos (areia, silte e argila) em sentido de jusante (Figura 23).

O EFNCRC apresenta declividade de 0,08 %, semelhante a do EFNCA, mas seu leito é composto por um substrato rochoso que expõe a unidade geológica Sousa, ou seja, sedimentar, evidenciando capacidade e competência de transporte maior que a do EFNCA, certamente por conta da maior área de captação do EFNCRC que é de cerca de 5000 km² e corresponde a 18,2% de toda a extensão do rio Piranhas (Tabela 16).

Tabela 16 - Matriz do Estilo Fluvial Não Confinado Rochoso e Cascalhento. Elaboração: Autoral (2020).

DETALHES DA ANÁLISE	
ESTILO FLUVIAL	Estilo Fluvial Não Confinado Rochoso e Cascalhento
CARACTERÍSTICA FLUVIAL	
CONFIGURAÇÃO DE VALE	Vale não confinado
FORMA EM PLANTA	Apresenta canal único com substrato rochoso sedimentar, planície de inundação nas duas margens e ilhas. Seu vale tem 170 m de largura e 2,9 m de profundidade.
TEXTURA DE MATERIAL DE LEITO	Leito Cascalhento e arenoso
UNIDADES GEOMÓRFICAS	<ul style="list-style-type: none"> •Planície de inundação formadas por processos deposicionais frequentemente retrabalhadas nas enchentes e constituídas principalmente de areia. As planícies estão cobertas por vegetação arbustiva e são estreitas. •Matacões localizados no ambiente fluvial evidenciando a competência do fluxo nesse estilo. •Ilhas fluviais estáveis com presença de vegetação e formadas por silte e argila.
COMPORTAMENTO FLUVIAL	
ESTÁGIO SECO	O estilo não possui vazão na estação seca, mas apenas algumas piscinas que são áreas alagadas nas depressões do vale. No entanto, o leito é exposto por rochas sedimentares areníticas e funcionam como soleiras rochosas que retêm material sedimentar arenoso pela ausência de fluxo contínuo.
ESTÁGIO DE CHEIA	Quando há fluxo no canal, que ocorre entre janeiro e maio, o canal consegue de transporte os sedimentos cascalhentos, os quais são preponderantes no ambiente fluvial. Como este trecho corresponde a área de confluência do rio do Peixe com o rio Piranhas, torna-se o ponto de maior energia da bacia, conseguindo expor o leito rochoso constituído por rochas sedimentares areníticas através do processo de erosão e remoção do material disponível. É importante salientar que os afloramentos rochosos que deixam o leito desnivelado funcionam como resistência ao fluxo, diminuindo sua velocidade em alguns pontos do estilo.
CONTROLES FLUVIAIS	
ÁREA DE CAPTAÇÃO DO ESTILO	5008 km ²
UNIDADE DE RELEVO	Superfície Aplainada de Agradação.
PROCESSO FLUVIAL ATUANTE	Transporte e deposição.
DECLIVIDADE DO VALE	0,6%

Também é importante salientar que este estilo apresenta amplas planícies de inundação que constituem junto com o leito menor um vale fluvial com 63 m de largura e profundidade de 2,9 m. O leito é irregular e a exposição de rocha cristalina controla a evolução vertical do canal, permitindo apenas que as planícies cascalhentas e arenosas sejam retrabalhadas com maior frequência.

De modo geral, estilos fluviais estão intimamente ligados às características de paisagem e relevo de suas bacias, os quais refletem na morfologia e processos fluviais as condições ambientais por onde escoam os rios (BRIERLEY et al, 2019). Também são úteis para definir as zonas processuais que ocorrem na extensão de qualquer segmento fluvial e apontar para possíveis condições ambientais da bacia. Nessa perspectiva, observa-se na bacia do alto curso

do rio Piranhas que os estilos fluviais não são homogêneos ou repetitivos durante a extensão do rio Piranhas, considerando que as variações topográficas e geológicas que constituem as unidades de relevo demonstram forte influência na dinâmica e morfologia fluvial do referido canal.

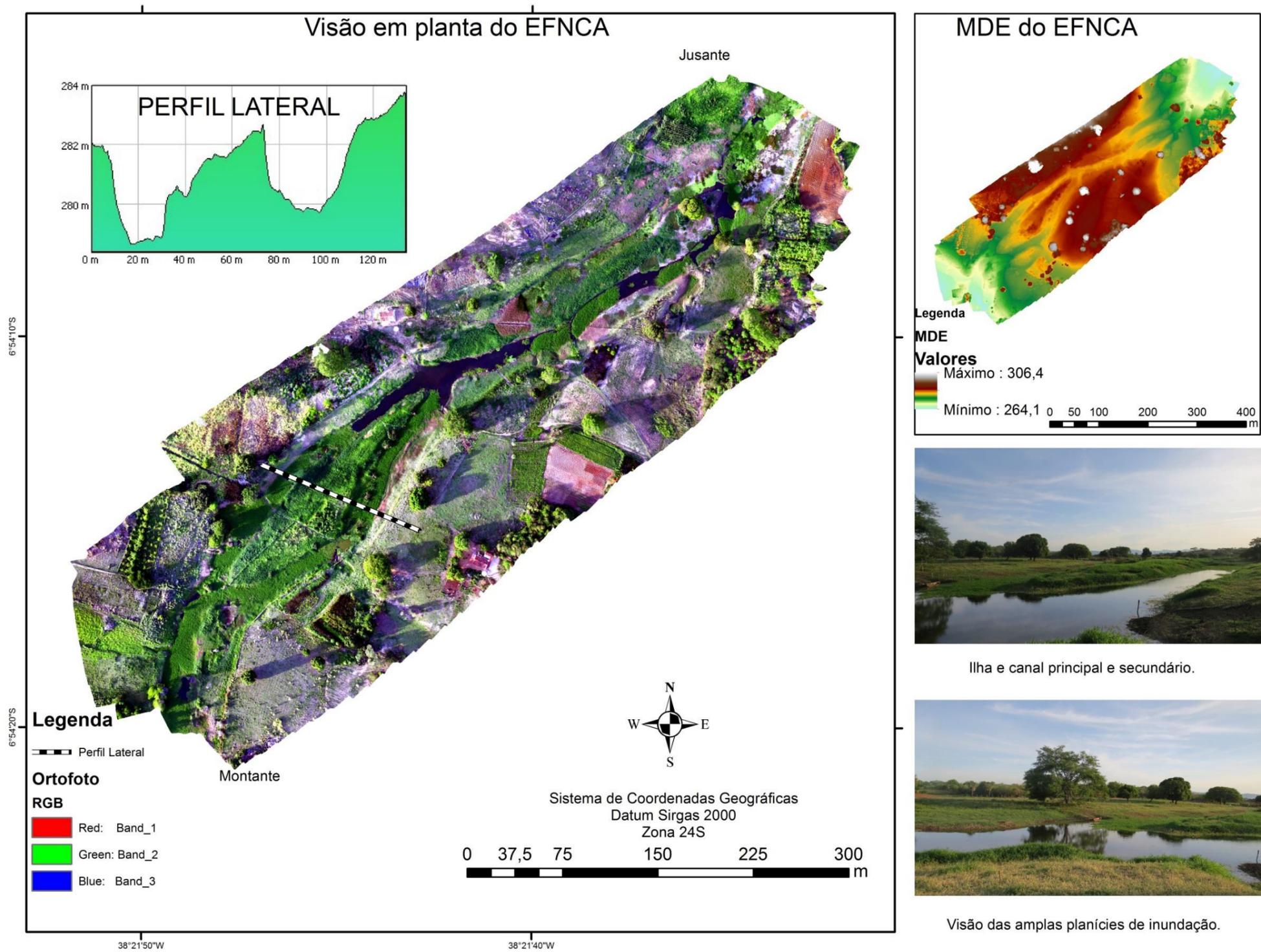


Figura 21 - Estilo Fluvial Não Confinado Arenoso. Elaboração: Autoral (2020).

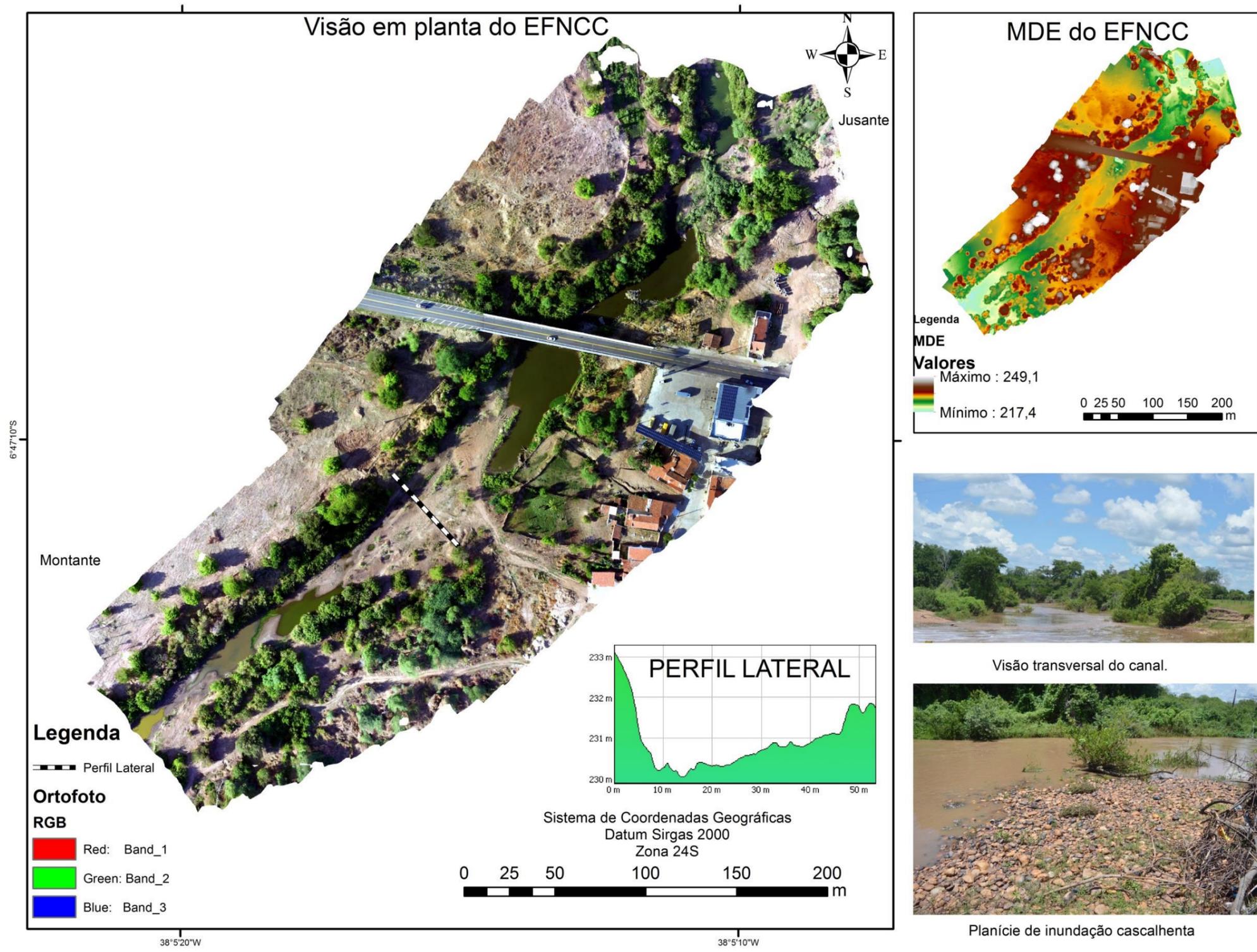


Figura 22 - Estilo Fluvial Não Confinado Cascalhento. Elaboração: Autoral (2020).

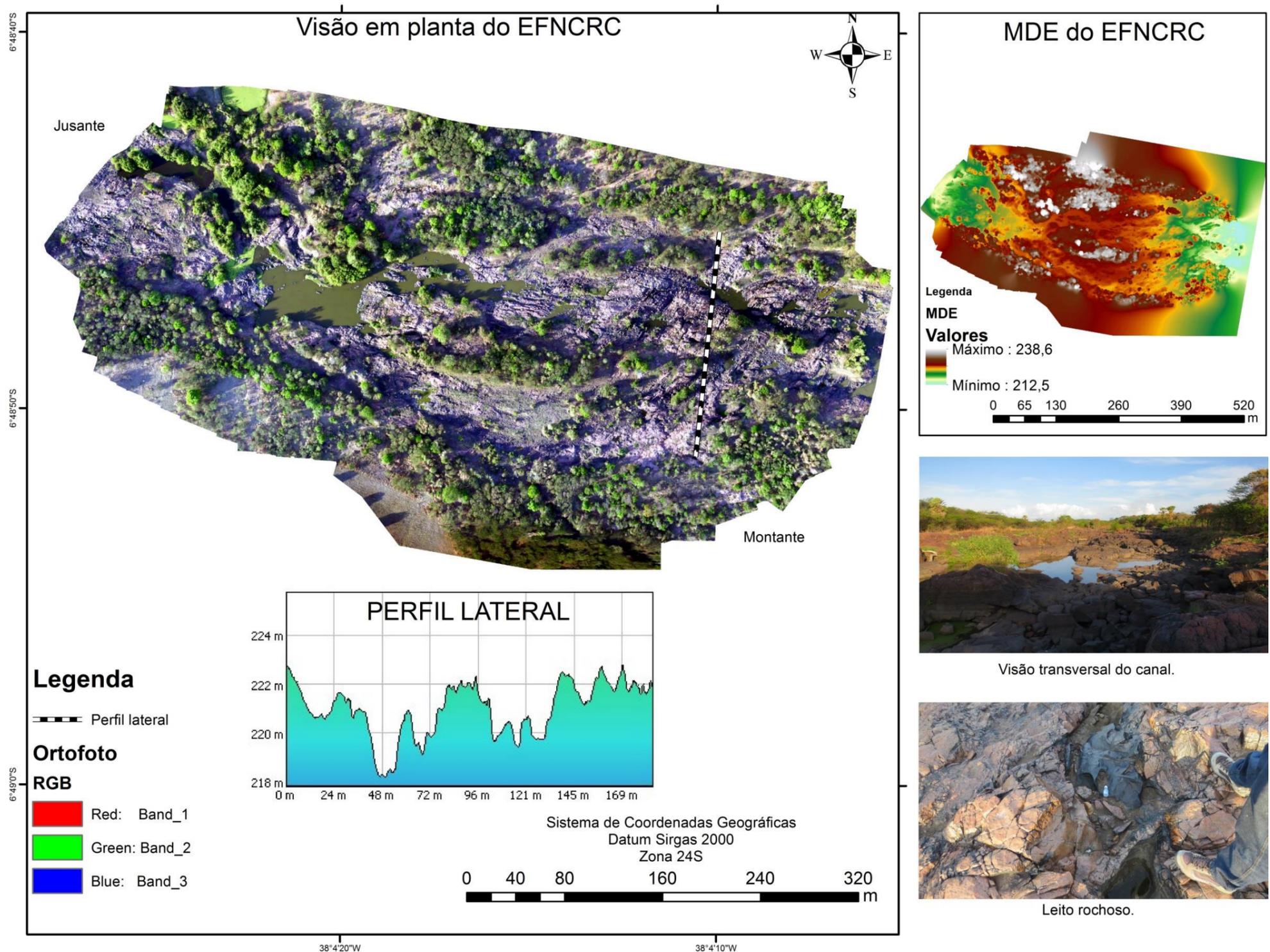


Figura 23 - Estilo Fluvial Não Confinado Rochoso e Cascalhento. Elaboração: Autoral (2020).

6.3. Identificação dos controles fluviais

O perfil longitudinal de um rio representa suas variações topográficas no que tange à altimetria e declividade de sua nascente até a foz através de um plano cartesiano. De modo geral, o perfil longitudinal de um rio está intimamente ligado ao relevo, representando o rio através de um eixo de ordenadas que representa as altitudes e outro eixo de abscissas que representa a extensão (SILVA et al., 2016). O perfil Longitudinal apresenta tipicamente uma curva parabólica côncava e declividades mais acentuadas em direção à nascente e declividades menores próximo à foz (CHRISTOFOLETTI, 1981).

É importante salientar que perfis que estejam dentro da perspectiva da concavidade exponencial apresentam equilíbrio no balanço de sedimentos, tendo em vista a importância da exportação de material sedimentar e energia (SCHUMM, 1977). No entanto, é praticamente impossível de observar na natureza um perfil exatamente côncavo, considerando as irregularidades naturais e declives acentuados gerados por fatores geomorfológicos (LIMA, 2013).

O rio Piranhas apresenta os maiores índices de energia de fluxo nos locais onde ocorrem as maiores inclinações da superfície, e esses locais estão próximos à cabeceira de drenagem de substrato cristalino (Figura 24).

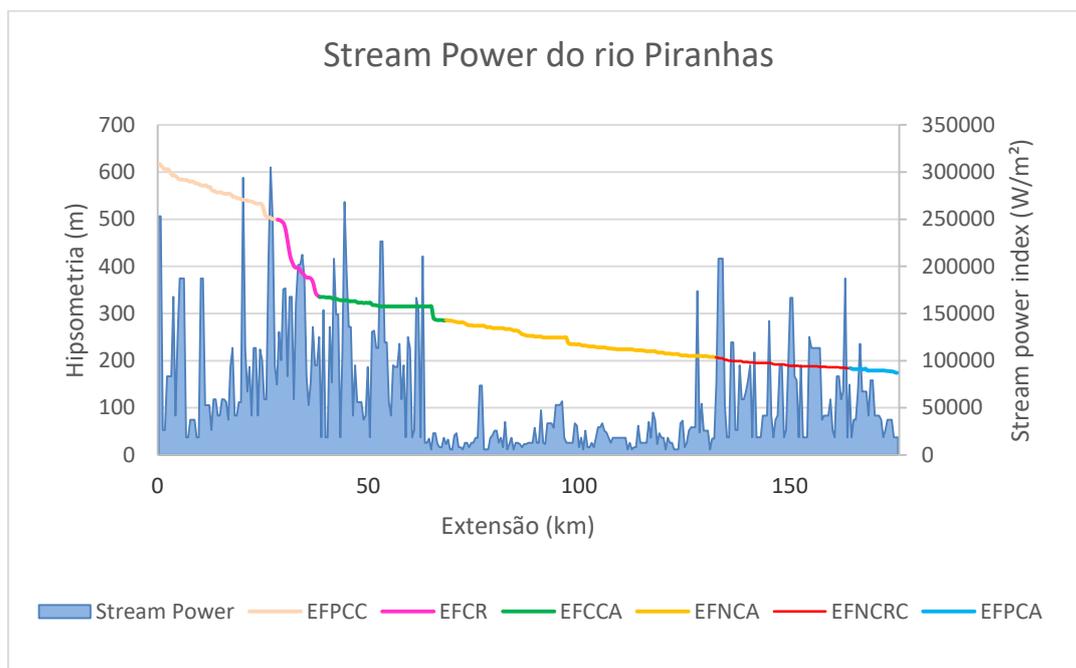


Figura 24 – Relação entre *Stream Power* e estilos fluviais do rio Piranhas. Elaboração: Autorial (2020).

O Estilo Fluvial Parcialmente Confinado Cascalhento (EFPC) está localizado na cabeceira do rio Piranhas e apresenta moderados índices de energia de fluxo. No Estilo Fluvial Confinado Rochoso (EFCR) e no Estilo Fluvial Confinado Cascalhento e Arenoso (EFCCA) ocorrem os primeiros picos seguidos de energia de fluxo da bacia hidrográfica do alto curso do rio Piranhas, onde delimitam o processo erosivo e característica confinante desses estilos. Nessa perspectiva, mesmo os índices de energia de fluxo variando de moderados a altos para essas áreas de cabeceira, as superfícies anômalas atuam como condicionantes de energia para o fluxo dos canais, o que gera processos de erosão e transporte (Tabela 17).

Tabela 17 - Controles fluviais do alto curso do rio Piranhas. Elaboração: Autorial (2020).

	EFPC	EFCR	EFCCA	EFNCA	EFNCRC	EFPCA
UNIDADE DE PAISAGEM	Patamares elevados de dissecação	Pedimentos Dissecados	Pedimentos Dissecados	Superfície Pedimentar de Acumulação	Superfície Pedimentar de Acumulação	Superfície Pedimentar de Acumulação
VALE	Parcialmente Confinado	Confinado	Confinado	Não Confinado	Não Confinado	Parcialmente Confinado
TEXTURA	Cascalhento	Rochoso	Cascalhento e Arenoso	Arenoso	Rochoso e Cascalhento	Arenoso
PROCESSO	Transporte e Deposição	Erosão e transporte	Transporte	Deposição	Transporte	Transporte e Deposição
STREAM POWER MÉDIA (W/M)	121286	149001	97965	68578	58870	62565

É importante salientar que mesmo ocorrendo um pico de energia de fluxo no início do Estilo Fluvial Não Confinado Arenoso (EFNCA), o comportamento desse estilo é deposicional. É possível que o impacto antrópico gerado pelo homem através da barragem Engenheiro Ávidos, que retém energia e sedimentos do sistema fluvial e altera completamente as características processuais do sistema, tenha condicionado tal comportamento agradacional. É visto que os dados da estação fluviométrica Várzea Grande que foram usados para gerar a energia de fluxo após o ponto onde está inserida a barragem Eng. Ávidos que faz a manutenção da vazão, a energia de fluxo ficou com valores de energia baixos se comparados com os dos trechos que não sofreram com a manutenção do fluxo imposta pela barragem. Além disso, ocorre uma queda nos índices de energia de fluxo desse estilo pelo fato da superfície tornar-se aplainada na maior parte do trecho. Desta maneira, o critério utilizado para definir a extensão do trecho que sofre a influência de baixa energia de fluxo é desde a barragem Eng. Ávidos até a confluência com o rio do Peixe, considerando que o rio do Peixe atua como principal afluente do rio Piranhas e tem grande área de captação de fluxo com 1540,6 km².

O *input* de energia advindo do rio do Peixe condiciona o rio Piranhas a apresentar característica de Estilo Fluvial Não Confinado Rochoso e Cascalhento com processo de transporte e remoção da maior parte do material. A redução gradativa de energia de fluxo próximo à foz do rio Piranhas condiciona o aparecimento de outro estilo fluvial, o Estilo Fluvial Parcialmente Confinado Arenoso (EFPCA), que apresenta planície de inundação em apenas uma das margens, e concentra material arenoso em excesso no leito (Tabela 10).

No caso do rio do Peixe que escoar quase que em sua totalidade sobre terreno sedimentar, observa-se que a variação dos estilos de rio também está intimamente relacionada aos índices de energia de fluxo (Figura 25).

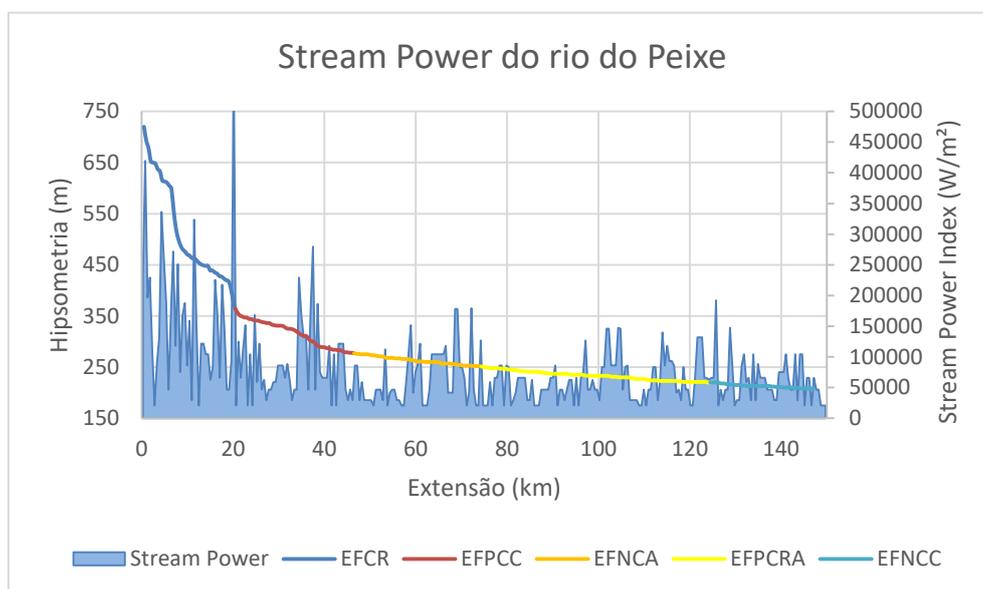


Figura 25 - Relação entre Stream Power e estilos fluviais do rio do Peixe. Os estilos fluviais foram distribuídos no perfil longitudinal. Elaboração: Autoral (2020).

No rio do Peixe, o Estilo Fluvial Confinado Rochoso (EFCR) que também ocorre no rio Piranhas, está relacionado com os maiores índices de energia de fluxo do rio do Peixe, onde os picos estão localizados próximos à cabeceira de drenagem, e esta energia lhe atribui característica confinante e comportamento erosivo e de transporte.

O Estilo Fluvial Parcialmente Confinado Cascalhento (EFPC) apresenta uma redução abrupta de energia no contato entre o EFCR e o EFPC. Posteriormente a energia apresenta aumento gradativo relacionado a deformações na superfície em que o EFPC esco, atribuindo-lhe característica parcialmente confinado com presença de planícies contínuas em apenas um dos lados e processo de transporte como o mais atuante.

O Estilo Fluvial Não Confinado Arenoso (EFNCA) também se repete no rio Piranhas, mas no rio do Peixe seu limite inicial de montante está relacionado com uma redução gradativa de energia de fluxo, indicando que esse estilo diferentemente dos estilos a sua montante não possui energia suficiente para dar continuidade aos processos erosivos e de transporte. É importante salientar que o índice de energia de fluxo (SPI) não demonstra a relação dos impactos antrópicos com a energia, pois é um modelo alimentado pela descarga média do rio completo e considera a energia estimada. Nessa perspectiva, há a hipótese de que no limite

inicial do EFNCA do rio do Peixe que ocorre impacto antrópico com o açude Pilões, haja a retenção da vazão e dos sedimentos advindos das áreas à montante, que associados a baixos valores de energia apresentados pelo modelo, corroboram em uma característica não confinante e de comportamento deposicional. Todavia, não foi possível indicar a energia após o impacto da barragem, pois não existem estações fluviométricas funcionando no trecho que possui vazão controlada pelo açude Pilões.

Foi destacado que o modelo *Stream Power Index* considera a descarga média do rio completo pelo fato de que o Estilo Fluvial Parcialmente Confinado Rochoso e Arenoso (EFPCRA) apresenta índices de energia de fluxo semelhantes ao do EFNCA, e nesse sentido, baseado apenas no modelo, seria complexo discutir a característica e comportamento fluviais. Com isso, o EFPCRA indica que a energia de fluxo disponível neste trecho é capaz de remobilizar os materiais finos (silte e argila e parte do material arenoso), evidenciando no leito rochas sedimentares e planície de inundação contínua em uma das margens, como visto na descrição dos estilos na Etapa 2 do Estágio 1.

Por outro lado, o Estilo Fluvial Não Confinado Cascalhento (EFNCC) está localizado próximo à foz do rio do Peixe, que relacionado ao *Stream Power Index*, indica que seu início é delimitado por uma frequência média nos valores de energia, que lhe atribui característica não confinante e ainda assim, energia suficiente para gerar o processo de transporte dos materiais finos (areia, silte e argila), deixando no leito a predominância dos materiais cascalhentos. O uso do *Stream Power* é útil para relacionar os índices de energia de fluxo com limites dos estilos e definir de forma precisa onde é iniciado cada estilo fluvial, tendo em vista que a descrição inicial dos estilos em gabinete é definida em campo e através de análises com índices de energia (Tabela 18).

Tabela 18 - Controles fluviais do alto Curso do rio Piranhas. Fonte: Autoral (2020).

	EFRCR	EFPCRA	EFNCA	EFPCRA	EFNCC
UN. PAISAGEM	Pedimentos Dissecados	Pedimentos Dissecados	Superfície Pedimentar de Acumulação	Superfície Pedimentar de Acumulação	Superfície Pedimentar de Acumulação
VALE	Confinado	Parcialmente Confinado	Não Confinado	Parcialmente Confinado	Não Confinado
TEXTURA	Rochoso	Cascalhento	Arenoso	Rochoso e Arenoso	Cascalhento
PROCESSO	Erosão e transporte	Transporte	Deposição	Transporte	Transporte
STREAM POWER MÉDIA (W/M)	161570	85723	63541	62659	58091

6.4. Determinar a capacidade de ajuste

A morfologia de um rio se ajusta continuamente através do equilíbrio entre resistência e perturbação, numa perspectiva lateral e vertical, o que geralmente atua como geoindicador de graus de liberdade de um canal fluvial. Assim, o ajuste vertical refere-se à instabilidade do leito de um rio, enquanto o ajuste lateral refere-se às margens. Outro conceito importante a ser levado em consideração é o de capacidade de ajuste, que é uma medida de extensão em que um respectivo trecho tem de se ajustar, podendo o canal ajustar-se nas dimensões lateral ou vertical (FRIYRS, 2016).

Três graus de liberdade são avaliados para determinar a capacidade de ajuste de um rio, que são: característica do leito, característica do canal, e a forma em planta do canal (BRIERLEY E FRIYRS, 2005). Nesse sentido, dentro de cada grau de liberdade uma série de geoindicadores é avaliada para determinar a capacidade de cada estilo fluvial de se ajustar dentro de sua configuração de vale. Assim, a característica do leito é avaliada em termos de tamanho e classificação dos grãos que o constitui e o regime de sedimentos. A característica do canal é avaliada em termos de tamanho e forma do canal, morfologia da margem, estrutura da vegetação e carregamento de detritos lenhosos. A forma em planta do canal é avaliada em termos como número, sinuosidade e estabilidade lateral.

Foram analisados individualmente cada geoindicador no intuito de tabular os dados e organizá-los (Tabela 19). Desta maneira, foi possível gerar o resultado de sensibilidade natural dos estilos fluviais de acordo com a proposta qualitativa simplificada de Brierley e Friyrs (2005).

Tabela 19 - Geoindicadores analisados para determinar os graus de liberdade de ajuste dos estilos fluviais do alto curso do rio Piranhas. Elaboração: Autoral (2020)

MATRIZ DOS GEOINDICADORES DOS ESTILOS FLUVIAIS								
Estilos Fluviais								
Grau de Liberdade	EFPC	EFRC	EFCCA	EFNCA	EFNCC	EFPCA	EFPCRA	EFNCRC
ATRIBUTOS DE CANAL								
Tamanho médio	25m de largura e 2,7m de profundidade	40m de largura e 3,3m de profundidade	40m de largura e 2,7m de profundidade	53,7m de largura e 2,9m de profundidade	40m de largura e 3m de profundidade	80m de largura e 2m de profundidade	45m de largura e 3,4m de profundidade	170m de largura e 3,5m de profundidade
Forma e morfologia da margem	Margens assimétricas e leito irregular	Margens assimétricas e leito irregular	Margens simétricas e leito irregular	Margens simétricas e leito regular	Margens assimétricas e leito irregular	Margem simétrica e leito irregular	Margem assimétrica e leito regular	Margens assimétricas e leito irregular
Carregamento de material lenhoso	Não apresenta	Não apresenta	Não apresenta	Não apresenta	Ocorre densamente	Não apresenta	Não apresenta	Ocorre minimamente
FORMA EM PLANTA DO CANAL								
Número de canais	Canal único	Canal único	Canal único	Múltiplos canais	Canal único	Múltiplos canais	Canal único	Múltiplos canais
Sinuosidade de canais								
Unidades Geomórficas	afloramentos rochosos	Matações, marmitas, soleiras e corredeiras	Terraço fluvial e afloramento rochoso	Planície de inundação contínua nas duas margens	Planície de inundação e ilhas	Planície de inundação, barras e ilhas e terraço	Marmitas, soleiras rochosas e planície de inundação	Planície de inundação, matações e ilhas
Vegetação ripária	Arbustiva densa	---	Arbustiva densa	Gramínea densa	Arbustiva espaçada	Gramínea espaçada	Arbustiva espaçada	Arbustiva densa
CARACTERÍSTICA DO LEITO								
Tamanho do Grão	Cascalhento	Rochoso	Cascalhento	Arenoso	Cascalhento	Arenoso	Rochoso e arenoso	Rochoso
Estabilidade do leito	Sem marcas de incisão vertical	Sem marcas de incisão vertical	Sem marcas de incisão vertical	Sem marcas de incisão vertical	Sem marcas de incisão vertical	Sem marcas de incisão vertical	Sem marcas de incisão vertical	Sem marcas de incisão vertical

Através dos dados expostos na Tabela 19, observa-se que os canais confinados apresentam canais únicos, sem presença de unidades geomórficas e textura de material de leito grosseira e/ou rochosa. Esses indícios demonstram que esses canais confinados são capazes de transportar a maioria do material fino durante os períodos de fluxo, permitindo apenas os materiais grosseiros, principalmente cascalhos, blocos e matações. Associando esses geoindicadores com a energia de fluxo, observa-se que os estilos confinados são marcados por altos picos de energia, o que indica alta capacidade e competência de deslocar os sedimentos do leito. Como consequência, seus vales são relativamente estreitos (se comparados com os vales dos outros estilos), irregulares e com pouca profundidade, devido ao controle rochoso imposto pelo substrato cristalino.

Os estilos parcialmente confinados são marcados pela existência de controle em um lado das encostas e deposição do outro, permitindo a existência de planície de inundação em uma das margens. Com exceção do EFPC (localizado nas áreas de cabeceira), os estilos parcialmente confinados são largos e apresentam profundidade máxima na margem confinada e rasa na

margem deposicional. A textura de material de leito varia em todos os estilos fluviais, refletindo a capacidade de transporte dos estilos, ou seja, o EFPC localizado nas áreas de cabeceira do rio Piranhas e Peixe apresentam considerável energia de fluxo, o que condiciona esses estilos a transportarem a maioria dos grãos finos e permitir a permanência de material cascalhento no leito durante os períodos de seca no canal (estação seca). De modo contrário, o EFPCA por estar localizado na foz da bacia (recebe maior quantidade de material produzido na bacia) sob baixas declividades, apresenta leito totalmente arenoso.

Os estilos fluviais não confinados também apresentam boa variabilidade, tanto em largura, forma em planta e textura de material de leito. Com exceção do EFNCRC que é controlado por substrato cristalino e apresenta o vale mais largo da bacia com alta energia de fluxo, os estilos não confinados apresentam baixa energia de fluxo, o que condiciona esses canais a assumir uma dinâmica deposicional nas margens e no leito fluvial. Como consequência, o que se observa são canais com amplas planícies de inundação e com leitos cascalhentos e arenosos. Nessa perspectiva, o EFNCA está localizado após barragens, tanto no rio do Peixe como no rio Piranhas, onde os barramentos desconectam a energia à montante e altera totalmente a dinâmica natural dos canais, gerando os processos de deposição. O EFNCC por estar localizado na foz do rio do Peixe, faz a captação de toda a drenagem à montante, dando capacidade de transporte suficiente de transportar os finos (silte, argila e areia).

Após identificar em campo os atributos do canal, forma em planta e textura do leito, foi possível gerar uma tabela com as informações de sensibilidade dos estilos, conforme observado na tabela 20.

Tabela 20 - Capacidade de ajuste dos estilos fluviais do alto curso do rio Piranhas. Fonte: Autoral (2020).

Estilo Fluvial	Morfologia do canal	Forma em planta	Característica do leito	Sensitividade
CONFINADOS				
EFCCR				Por apresentar controle rochoso nas margens e no leito, esse estilo apresenta baixa sensibilidade fluvial por conta de seus altos níveis de resistência.
EFCCA				Apresenta resistência no leito e em uma das margens rochosas e pela encosta, inibindo modificações laterais ou verticais e sendo conseqüentemente pouco sensível, ou seja, de baixa sensibilidade.
PARCIALMENTE CONFINADOS				
EFPCC				Apresenta uma das margens e leito pouco coesos associados a valores médios de energia, o que lhe atribui maior mobilidade fluvial localizada na margem pouco coesa. Assim, apresenta moderada sensibilidade fluvial. Os ajustes são limitados às planícies de inundação.
EFPCA				Por apresentar leito arenoso e uma das margens arenosas, esse estilo apresenta mobilidade potencial nas áreas pouco coesas, sendo definido como um estilo de moderada sensibilidade. Todavia, é importante destacar que o canal possui valores médios de energia e grande quantidade de carga sedimentar, sendo necessários eventos extremos para gerar modificações no ambiente fluvial
EFPCRA				Apresenta controle rochoso em alguns pontos no leito e em uma das margens, mas a alta ocupação antrópica potencializou os eventos erosivos, principalmente na margem pouco coesa. Desta maneira, apresenta alta sensibilidade fluvial identificada através de seus geoindicadores propensos à modificação, especialmente as margens não controladas por rocha.
NÃO CONFINADOS				
EFNCA				Apresenta geoindicadores com alto potencial de sensibilidade, como o leito e margens arenosas, ou seja, pouco coesas. Contudo, a baixa energia de fluxo controlado impede alterações na morfologia do canal.
EFNCC				Localizado na foz do rio do Peixe, possui valores de energia de fluxo médios associada a baixos níveis de resistência no leito e margens cascalhentas. Dessa maneira, apresenta alta, mas precisa de eventos de alta magnitude para gerar ajustes fluviais.
EFNCRC				Esse estilo apresenta controle rochoso no leito fluvial, o que atribui a esse geoindicador alta resistência. Todavia, suas margens são compostas por material cascalhento e arenoso e de baixa coesão, que sob valores altos de energia condiciona um comportamento erosivo nas margens, gerando mobilidade lateral em pontos isolados. Senso assim é um estilo fluvial de sensibilidade moderada.

	Baixa sensibilidade
	Sensibilidade Moderada
	Alta sensibilidade

Observa-se na Figura 20 que os estilos fluviais confinados apresentam baixa sensibilidade. Isso ocorre pelo fato desses alcances possuírem resistência no leito e margens que são geralmente constituídos de rocha. Embora o EFCCA apresente material arenoso em seu leito, esse capeamento não é suficiente para permitir incisão vertical.

Os estilos parcialmente confinados variam de moderada a baixa sensibilidade. Essa variação ocorre porque um dos estilos (EFPCRA) possui baixa resistência em alguns de seus

geoindicadores. Além disso, esses estilos não conseguem alcançar alta sensibilidade por também apresentarem controle rochoso em uma das margens geralmente. As áreas propensas à modificação são pontuais nos alcances, geralmente restringidas às planícies de inundação.

Os estilos fluviais não confinados apresentam antes de tudo, variações de energia de fluxo entre eles. Essas variações de energia de fluxo são fundamentais para entender como a propensão à mudança de alguns geoindicadores pode ser explorada nos estilos fluviais. Por exemplo, o EFNCA apresenta propensão à mudança em vários geoindicadores, sendo definido como um trecho de alta sensibilidade, contudo, a vazão controlada pelo açude Engenheiro Ávidos inibe o potencial de ajuste desse estilo. De contrário ocorre com o EFNCC, que estando localizado na foz do rio do Peixe e sem influência de barramentos, recebe valores médios de energia de fluxo, que associado à baixa resistência dos geoindicadores analisados, apresenta consequentemente alta sensibilidade fluvial.

Os estilos não confinados do alto curso do rio Piranhas variam de moderada a baixa energia de fluxo (em relação aos outros estilos da bacia). Geralmente, estilos não confinados de baixa energia apresentam processo de transporte suspenso, ou seja, são capazes de transportar apenas materiais finos como silte e argila. Já os estilos não confinados de energia moderada são compostos por uma mistura de sedimentos de leito e nas margens, o que gera diferentes níveis de resistência dentro do trecho, com predominância de sedimentos não coesos (BRIERLEY e FRYIRS, 2005).

Após a análise da sensibilidade, foi possível aplicar o *checklist* de condição geomórfica a cada estilo fluvial, como observado na Figura 26.

Tabela 21 - Checklist de condição geomórfica dos estilos fluviais do alto curso do rio Piranhas. Fonte: Adaptado de Brierley e Fryirs. 2005.

Geoindicadores relevantes	Questões para fazer a cada estilo fluvial	ESTILOS FLUVIAIS							
		EFPC	EFRC	EFCA	EFNA	EFNC	EFPCA	EFPCRA	EFNCRC
Atributo de canal	3 de 4 perguntas devem ser respondidas SIM para que o fluxo seja avaliado em BOAS condições								
Tamanho	• O formato do canal é apropriado ao longo do alcance (ou seja, as margens são irregulares ao longo das seções controladas pela rocha e escalonadas onde ocorrem as planícies de inundação?)	S	S	S	S	S	S	S	N
Monofolia da margem	• As margens estão sofrendo erosão nos lugares certos e na taxa certa? (ou seja, sem sinais de expansão do canal?)	S	S	S	S	S	N	N	N
Estrutura da vegetação ribeirinha	• Há madeira ao redor das ilhas e / ou potencial para recrutamento de madeira? (a madeira muitas vezes induz o desenvolvimento da ilha e atua como um agente de força para o desenvolvimento da piscina)	S	S	S	N	N	S	S	S
Carregamento de material lenhoso	• A estrutura da vegetação ecológica é adequada?	S	S	S	N	S	S	N	N
Forma em planta do canal	1 de 2 perguntas devem ser respondidas SIM para que o fluxo seja avaliado em BOAS condições								
Conjunto de unidades geomórficas	• O conjunto, padrão e condição das unidades geomórficas ecológicas e de planície de inundação são apropriados para o Estilo do Rio? As unidades principais estão presentes? (ou seja, o alcance tem poças induzidas por leito rochoso e cursos com ilhas bem vegetadas e afloramentos rochosos sem sinais de deterioração, como poças preenchidas ou extensos lençóis de areia cobrindo o leito do canal?)	S	S	S	S	S	S	N	N
Vegetação ripária	• Existem tipos apropriados e densidade de vegetação ripária presentes no rio, nas margens e na planície de inundação?	S	S	S	N	S	S	N	N
Textura de material de leito	2 de 3 perguntas devem ser respondidas SIM para que o fluxo seja avaliado em BOAS condições								
Tamanho do grão e classificação	• O tamanho do grão, a classificação e a organização dos materiais em diferentes unidades geomórficas são apropriados para o Estilo do Rio? (ou seja, o alcance tem uma mistura de afloramentos rochosos expostos e poças rochosas, ilhas arenosas, materiais de granulação fina em poças e em ilhas, e cascalhos ocasionais em corridas?)	S	S	S	S	S	S	S	S
Diversidade hidráulica	• Existe uma ampla gama de características de rugosidade e diversidade hidráulica ao longo do alcance?	S	S	S	S	S	S	S	S
Regime de sedimentos	• A função de armazenamento / transporte de sedimentos do alcance é apropriada para o Estilo do rio e sua posição de captação (ou seja, esses alcances agem como zonas de fluxo de sedimentos com armazenamento localizado de sedimentos em ilhas?)	S	S	S	S	S	S	N	N

O *checklist* de condição geomórfica indica se os canais estão sob boa ou má condição geomórfica, ou seja, se estão sob condição esperada ou não para sua posição na bacia hidrográfica. Dessa maneira, os estilos confinados apresentaram boa condição geomórfica, ou seja, são canais que estão dentro de uma condição esperada, pois são controlados por substrato e margens rochosas impedindo a migração lateral e vertical independente dos eventos de distúrbio que ocorreram nessas áreas. É importante salientar que canais rochosos apresentam alta resistência, o que condiciona baixa sensibilidade nesses trechos (Tabela 20). Levando em consideração que eventos climáticos dificilmente conseguiriam gerar uma alteração abrupta na morfologia desses canais, é improvável que eles necessitem se adequar processual e morfologicamente a um alto *input* de energia. O que se constatou é que a ação abrasiva dos sedimentos no leito rochoso conseguiu gerar marmitas ao longo do tempo (fora da escala de tempo desta pesquisa), e essas unidades são comuns em trechos de alta energia com leito rochoso.

Dos canais parcialmente confinados do alto curso do rio Piranhas, apenas o EFPCRA não apresentou boa condição geomórfica, ou seja, é um comportamento não esperado para esse tipo de estilo fluvial, pois de acordo com Brierley e Fryirs (2005), estilos parcialmente confinados geralmente apresentam boa condição geomórfica e baixa sensibilidade. O que ocorre no EFPCRA é que a forte ocupação antrópica alterou a dinâmica natural do canal nesse trecho, condicionando processos de erosão tanto na margem deposicional como também, na margem confinante associado à retirada da vegetação natural das margens.

Entre os estilos não confinados, apenas o EFNCRC apresentou má condição geomórfica, ou seja, os processos e morfologias não são adequados ao que poderia ser o canal. O trecho não apresenta planícies de inundação escalonadas, mas, intensa erosão nas margens expondo raízes e removendo a vegetação arbustiva e arbórea, contudo, o que seria esperado para esse estilo na posição em que está inserido na bacia é que apresentasse planícies de inundação como os estilos antecessores á montante, considerando que não houve variação de declividade para potencializar um possível aumento da energia potencial.

5.5 Condicionantes de Mudança e sequência evolutiva

A análise estatística da vazão a partir permitiu a compreensão de seu comportamento no que tange à duração ao ano com máxima quantidade de dias com vazão, a média de vazão diária entre 2004 e 2018 e o maior evento de alta magnitude para as 3 estações fluviométricas analisadas. No sentido de montante para jusante, a análise da vazão foi iniciada a partir dos dados da estação Várzea Grande localizada entre os açudes Eng. Ávidos e o açude São Gonçalo no rio Piranhas (Figura 27).

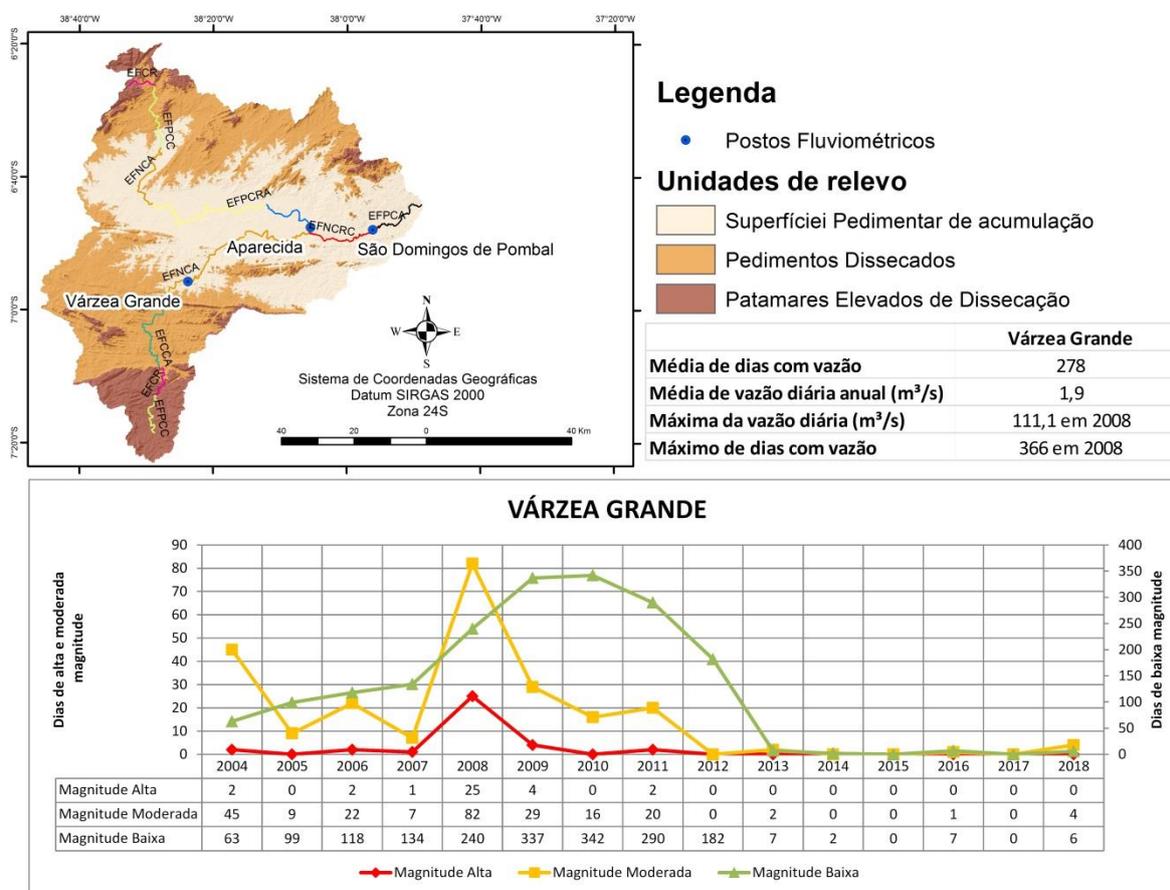


Figura 26 - Localização da estação fluviométrica Várzea Grande e distribuição dos eventos de alta, moderada e baixa magnitude no alto curso do rio Piranhas. Fonte de dados de vazão: Ana (2018). Elaboração: Autoral (2021).

A análise dos dados de vazão da estação Várzea Grande indica que a área ocupada pelo Estilo Fluvial Não Confinado Arenoso no rio Piranhas (com alta sensibilidade) apresenta uma média de 278 dias com vazão, ou seja, na maior parte do ano o canal apresenta fluxo com cerca de 1,9 m³/s em média. O ano em que o canal apresentou maior quantidade de dias com vazão foi o de 2008, no qual ocorreu o maior evento de alta magnitude da série histórica, 111,1 m³/s em apenas um dia no ano de 2008.

Observa-se que o canal apresenta manutenção de fluxo, principalmente de baixa magnitude entre os anos de 2006 e 2012, mas uma pequena incidência de eventos de alta e moderada magnitude nos anos subsequentes. A incidência dos eventos de alta magnitude no ano de 2008 totalizando em 25 dias corrobora para o entendimento que esse ano foi o que apresentou possíveis condições de modificação fluvial. Todavia, por se tratar de uma área que apresenta vazão controlada, como demonstra o dado de média de dias com vazão, essa energia de fluxo

montante desse barramento. Todavia, como o objetivo desta etapa é analisar os estilos com maior propensão à mudança de acordo com a etapa anterior referente à sensibilidade e capacidade de ajuste, os estilos confinados (EFCR e EFCCA) e o EFPCC não necessitaram de análise histórica de suas morfologias.

Na foz do rio do Peixe está localizada a estação fluviométrica Aparecida, a qual reflete o comportamento da vazão do rio do Peixe, ou seja, corresponde a área de captação do rio do Peixe e seus tributários (Figura 29).

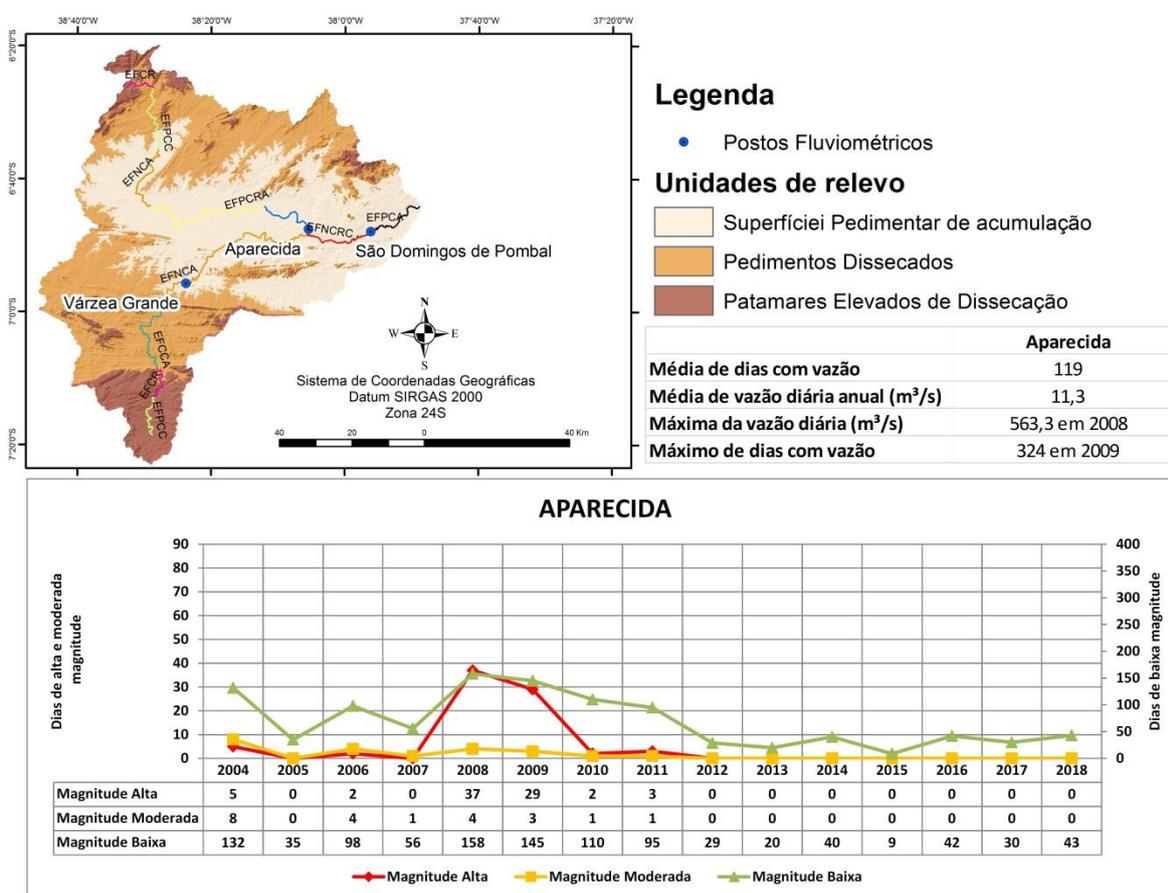


Figura 28 – Localização da estação fluviométrica Aparecida e distribuição dos eventos de alta, moderada e baixa magnitude no alto curso do rio Piranhas. Fonte de dados de vazão: Ana (2018). Elaboração: Autorial (2021).

De acordo com a Figura 29, a média de dias com vazão é de 119 dias, ou seja, mais da metade do ano o rio do Peixe não possui vazão. A média de vazão diária indica que o rio do Peixe possui 11,3 m³/s, ou seja, apresenta vazão média mais elevada que o rio Piranhas. Essa questão da vazão média e da quantidade de dias com vazão entre o rio Piranhas e Peixe pode ser relacionada à influência dos grandes barramentos que existem no rio Piranhas, que

controlam e retém energia. Além disso, observa-se que a máxima vazão diária ocorreu em 2008 no rio do Peixe, com o valor de 563,3 m³/s, indicando o maior evento extremo de vazão da série analisada para toda a bacia do alto curso do rio Piranhas. Em 2009 foi o ano em que ocorreu a maior quantidade de dias com vazão no rio do Peixe, alcançando 324 dias.

O Estilo Fluvial Parcialmente Confinado Rochoso e Arenoso (EFPCRA) é um dos estilos que apresentaram maior propensão à mudança, considerando os geoindicadores com alta sensibilidade e sua má condição geomórfica que permitiram alteração na morfologia desse estilo (Figura 30).

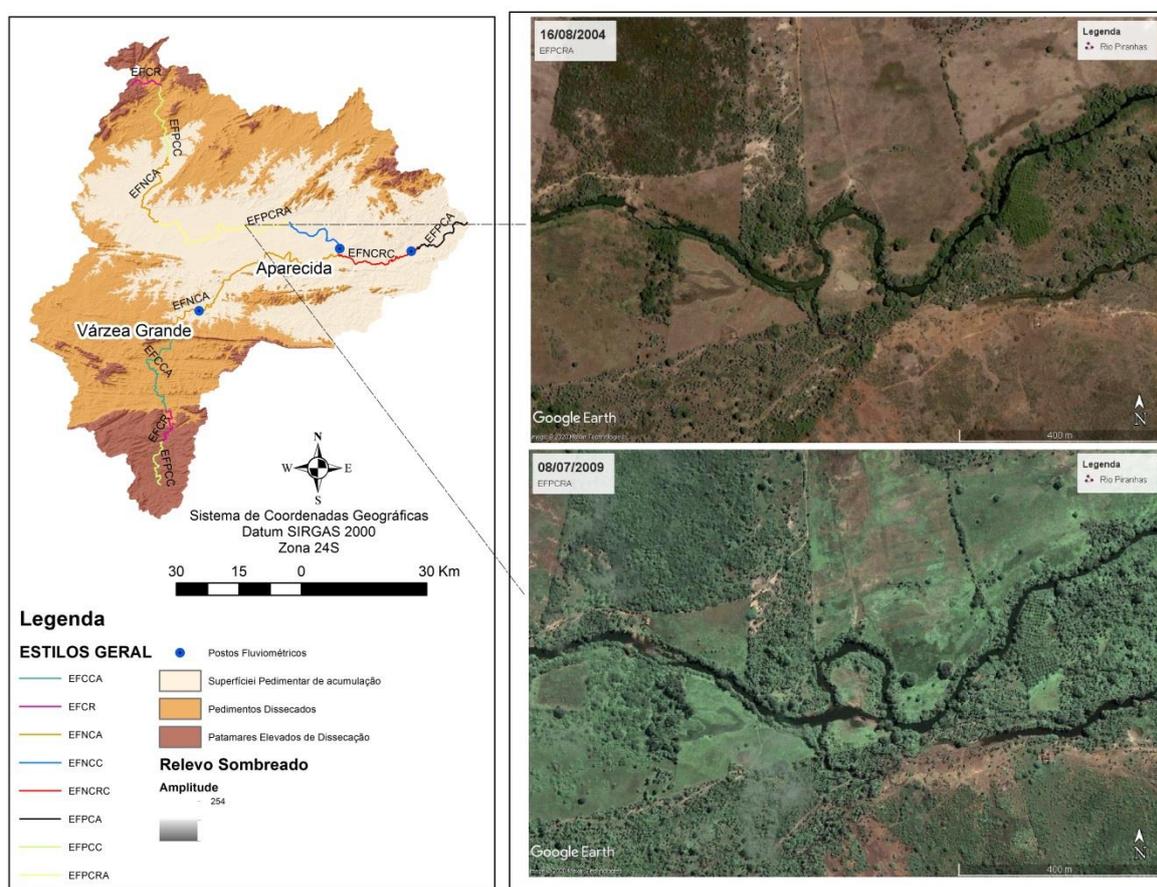


Figura 29 – Imagens de satélite antes (10/08/2004) e após (08/07/2009) do maior evento de alta magnitude que ocorreu no ano de 2008. Fonte: Earth (2020). Elaboração: Autoral (2021).

As imagens utilizadas para analisar a morfologia do EFPCRA foram as mais próximas antes e após o maior evento de alta magnitude da série histórica que foi de 563,3 m³/s no dia 04 de abril no ano de 2008. A imagem mais próxima anterior a esse evento foi a de 16/08/2004 e a vazão desse dia foi de 0 m³/s, o que implica dizer que a água existente no canal refere-se a um

trecho alagado. A imagem posterior ao evento de alta magnitude foi a de 08/07/2009 e a vazão nesse dia foi de 3,4 m³/s.

Estilos fluviais parcialmente confinados são controlados em uma das margens, geralmente por uma margem rochosa e apresenta a outra margem com baixa resistência por se tratar de uma zona de acumulação. No EFPCRA localizado no rio do Peixe, a margem confinante localizada do lado direito na imagem de satélite de 2004 indica que o canal estava restringido a acompanhar a curvatura do meandro, todavia, após a alta incidência de dias com eventos extremos em 2008 que totalizou em 37 dias, além de ter nesse período o evento de maior magnitude da série que foi de 563,3 m²/s também em 2008, condicionou o canal a apresentar alteração em sua morfologia, conseguindo romper a margem confinante e iniciar o processo de abandono de meandro, como é visto na imagem de satélite de 2009. Não é possível definir se apenas o maior evento de alta magnitude foi o responsável pelo rompimento da margem confinante do EFPCRA, ou se foi a grande incidência de dias com eventos de alta magnitude que correspondem aos eventos acima de 220 m³/s.

A estação fluviométrica São Domingos de Pombal está localizada após o a confluência do rio Piranhas com o rio do Peixe, e esse trecho faz a captação de toda energia dos rios Piranhas e Peixe que não fica retida nas barragens. A questão é que essa estação fluviométrica indica que a vazão que ocorre nesse trecho é maior da que ocorre em Várzea Grande e menor do que ocorre em Aparecida, como é demonstrado na Figura 31.

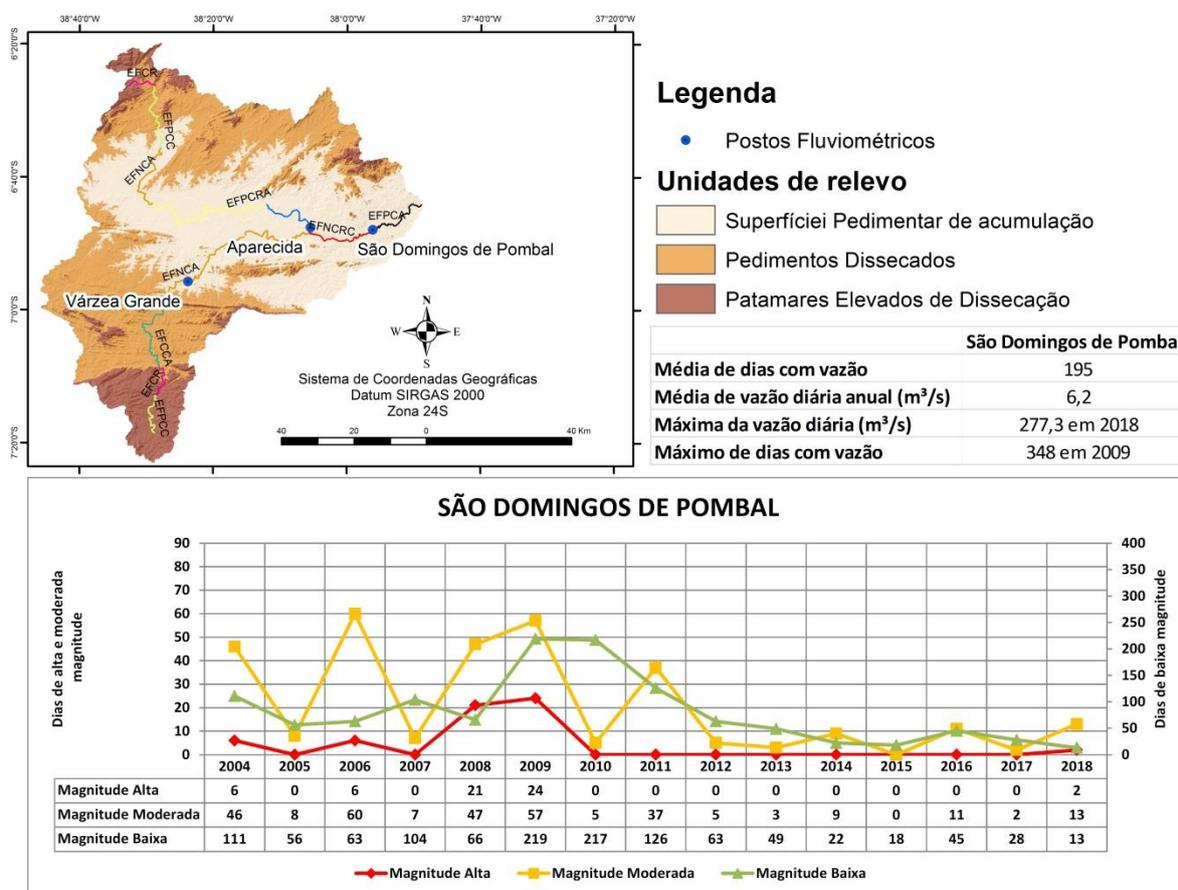


Figura 30 – Localização da estação fluviométrica São Domingos de Pombal e distribuição dos eventos de alta, moderada e baixa magnitude no alto curso do rio Piranhas. Fonte de dados de vazão: Ana (2018). Elaboração: Autoral (2021).

De acordo com a Figura 31, a média de dias com vazão que ocorre na estação fluviométrica São Domingos de Pombal é de 195 dias, com uma média de vazão de 6,2 m³/s, valores abaixo do que ocorre em Aparecida, mesmo sendo uma estação localizada à jusante. Atualmente, essa pesquisa não pode indicar com veracidade e certeza o motivo pelo qual ocorre essa redução de vazão após a confluência entre os rios Piranhas e Peixe, mas a hipótese é que após alguns quilômetros da confluência o rio Piranhas escoar sobre uma unidade geológica sedimentar denominada Rio Piranhas que pode favorecer o processo de captação de escoamento da água através da infiltração. Embora o máximo de dias com vazão tenha ocorrido no ano de 2009 e a maior incidência de eventos de alta magnitude tenha ocorrido também em 2009 com 24 eventos, o maior evento extremo ocorreu em 2018, alcançando um valor de vazão de 277,3 m³/s no dia 24 de fevereiro.

O EFNCRC é um estilo fluvial que apresenta má condição geomórfica, ou seja, é um estilo fluvial não esperado para sua posição na bacia, além disso, sua capacidade de ajuste é limitada verticalmente por um substrato rochoso, funcionando como uma soleira no ambiente fluvial e atribuindo ajustes restritos a pontos isolados nas margens pouco coesas, sendo considerado um estilo moderadamente sensível. Sua morfologia pode sofrer alteração lateral, principalmente através de migração lateral por possuir margens arenosas e de baixa coesão. A análise histórica da morfologia foi feita nesse estilo fluvial antes e após o maior evento de alta magnitude que ocorreu na estação fluviométrica de São Domingos de Pombal no ano de 2018 (Figura 32).

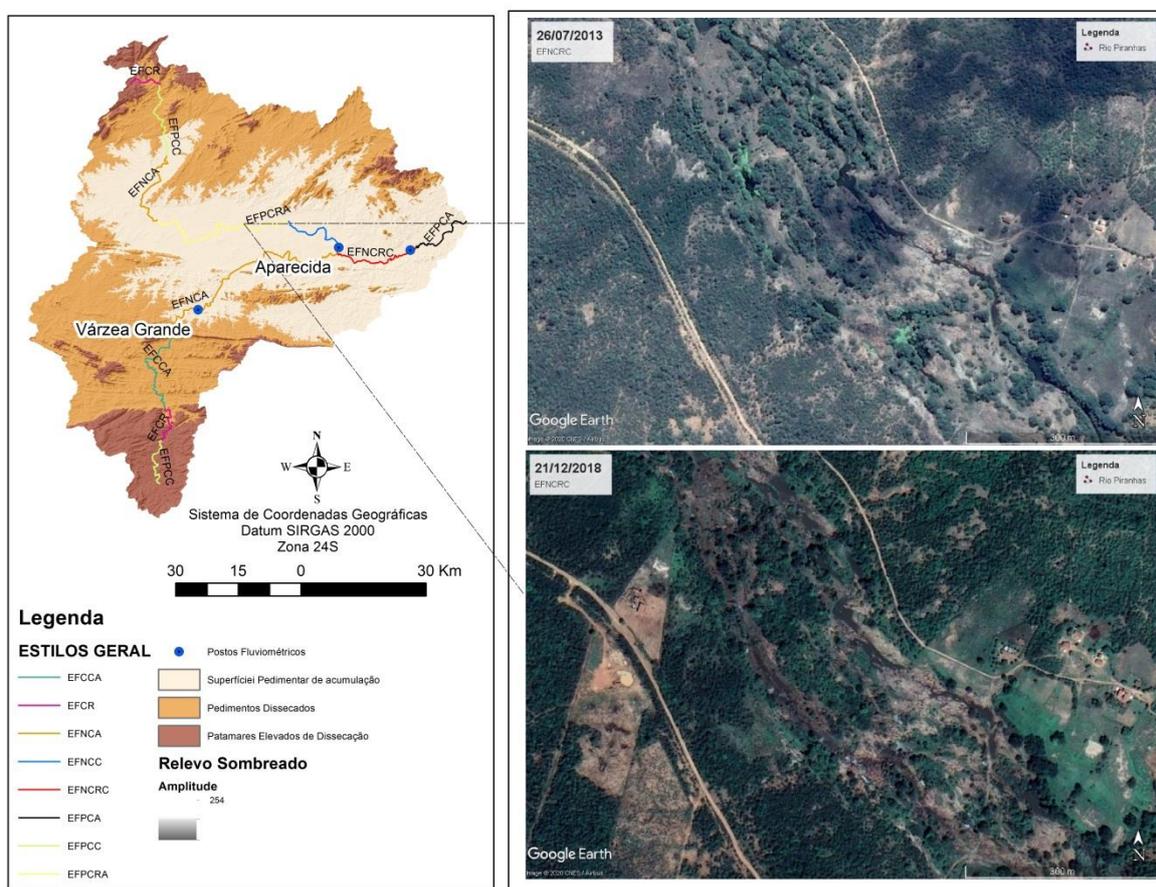


Figura 31 - Imagens de satélite antes (26/07/2013) e após (21/12/2018) do maior evento de alta magnitude que ocorreu no ano de 2008. Fonte: Earth (2020). Elaboração: Autoral (2021).

As imagens utilizadas para analisar a morfologia do EFNCRC foram as mais próximas antes e após o maior evento de alta magnitude da série histórica que foi de $277,3 \text{ m}^3/\text{s}$ no dia 24 de fevereiro no ano de 2018. A imagem mais próxima anterior a esse evento foi a de 26/07/2013

e a vazão desse dia foi de 0,2 m³/s. A imagem posterior ao evento de alta magnitude foi a de 21/12/2018 e a vazão nesse dia foi de 0 m³/s, demonstrando que a água existente no canal se refere a áreas alagadas.

Ambas as imagens de satélite (antes e após o dia com o maior evento de alta magnitude) indicam que o padrão morfológico do ambiente fluvial não apresentou profundas alterações, mas, modificações pontuais. Dessa maneira, a base rochosa impediu que o canal pudesse escavar novas áreas de talvegue ou aprofundar talvegues preexistentes, mas condicionou que os processos se limitem às margens do ambiente fluvial. Assim, observa-se na imagem de satélite de dezembro de 2018 que houve alargamento de algumas áreas de talvegue, principalmente através da erosão das planícies de inundação. Observa-se também que por mais que o EFNCRC apresenta moderada sensibilidade, o canal permite apenas alterações pontuais no ambiente fluvial, graças à sua resistência de leito e existência de vegetação densa sobre as margens fluviais, atribuindo maior resistência às mesmas.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando que grande parte dos estudos de modificação de ambientes fluviais desenvolvidos no Brasil são feitos para ambientes úmidos, esta pesquisa precisou recorrer ao modelo teórico-metodológico desenvolvido pelos australianos Brierley e Fryirs em 2005. Essa abordagem permitiu avaliar os tipos de evolução que ocorreram na bacia hidrográfica do alto curso do rio Piranhas, com base em estágios e etapas de análise. Para cada estágio, ocorrem etapas de análise que enfocam em diferentes variáveis do sistema fluvial em uma perspectiva hierárquica. Isso quer dizer que a metodologia partiu da escala de bacia até a escala de material de leito, para cada estilo fluvial identificado.

Essa pesquisa demonstrou que a bacia hidrográfica do alto curso do rio Piranhas apresenta dois canais principais, que são os rios Piranhas e Peixe, sendo esses rios de ambiente semiárido e que apresentam vazão em apenas uma parte do ano. Foram identificados 8 estilos fluviais, que entre eles 3 se repetem, totalizando em 11 trechos na bacia. Cada trecho foi analisado a partir de geoindicadores que permitiram identificar seus níveis de sensibilidade e

capacidade de ajuste, além da condição geomórfica. Esses dados que indicam propensão à mudança relacionados à dinâmica em pulsos de escoamento que favorece níveis de vazão concentradas que são relacionadas ao comportamento das chuvas no semiárido, podem condicionar eventos de vazão de alta magnitude que tem potencial de gerar modificação no ambiente fluvial caso o estilo apresente capacidade de ajuste para mudança.

Entre os estilos identificados no alto curso do rio Piranhas, 3 apresentaram maior propensão à mudança (EFNCA, EFPCRA e EFNCRC). Esses estilos foram analisados antes e após seus respectivos eventos de maior magnitude entre 2004 e 2018 a partir de imagens de satélite disponibilizadas no Google Earth. Os principais tipos de ajustes fluviais identificados foram início de processo de abandono de meandro no EFPCRA e alargamento das margens fluviais no EFNCRC. Todavia, por mais que o EFNCA apresente boa capacidade de ajuste/sensibilidade, o fato desse estilo estar localizado em uma área de vazão controlada, inibe qualquer efeito de alteração abrupta condicionada pela vazão sobre a morfologia do canal.

Essa pesquisa pode dar suporte a outros trabalhos que enfoquem a modificação de ambientes fluviais semiáridos, e um dos objetivos futuros é avaliar o padrão de evolução de rios a partir de características ambientais semelhantes entre estilos fluviais em diferentes bacias hidrográficas de ambiente semiárido.

Esse tipo de abordagem teórico metodológica pode ser aprimorada e melhor aplicada com a utilização de fotografias aéreas históricas que permitam uma análise histórica mais apurada. Além disso, a associação com outros tipos de aplicações como o índice de sinuosidade pode dar suporte para análise histórica a partir da comparação da sinuosidade antes e após eventos de alta magnitude, permitindo assim, avaliar as taxas de variação da forma em planta do canal quantitativamente. Todavia, para fazer essa ponte entre a abordagem de estilos e o índice de sinuosidade são necessárias imagens de satélite de alta resolução (5 a 10 m) que permitam identificar a forma em planta do canal dentro de uma área aluvial. A correlação com outros índices, como a conectividade da paisagem pode permitir o entendimento das ligações longitudinais e laterais de energia e matéria e como essa dinâmica pode influenciar em estilos fluviais de uma bacia hidrográfica.

Segundo Brierley e Fryirs (2005) a proposta de análise dos estilos fluviais pode ser aplicada a qualquer ambiente morfoclimático, pois é uma abordagem aberta que permite adaptações, quando necessário. Os próprios autores evidenciam a necessidade de conhecer o sistema ambiental em que a abordagem será aplicada, pois a gama de avaliações dos elementos depende da potencialidade dos elementos existentes/atuantes.

8. REFERÊNCIAS

AB'SABER, Aziz Nacib. Depressões periféricas e depressões semiáridas no nordeste do Brasil. **Boletim Paulista de Geografia - Bpg**, São Paulo, v. 1, n. 22, p.1-18, mar. 1956.

ALLEN, Daniel C. *et al.* River ecosystem conceptual models and non-perennial rivers: a critical review. **Wires Water**, [S.L.], v. 7, n. 5, p. 1-13, 28 ago. 2020.

ARAÚJO, J. As barragens de contenção de sedimentos para conservação de solo e água no semi-árido. In: *Tecnologias Apropriadas para Terras Secas*. Fundação Konrad Adenauer e Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ). Fortaleza, Ceará. 2006.

BELLETTI, B. *et al.* A review of assessment methods for river hydromorphology. **Environmental Earth Sciences**, [S.L.], v. 73, n. 5, p. 2079-2100, 2 ago. 2014.

BOAS, Guilherme Hissa Villas; MARÇAL, Monica dos Santos. AVALIAÇÃO DA SENSITIVIDADE DO SISTEMA FLUVIAL NO ALTO-MÉDIO VALE DO RIO MACAÉ (RJ). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Uberlândia, v. 14, n. 1, p.93-102, mar. 2013.

BOULTON, A. *et al.* Hydrological Connectivity in Intermittent Rivers and Ephemeral Streams. IN: DATRY, T; BONADA, M; BOULTON, A. *Intermittent Rivers and Ephemeral Streams: Ecology and Management*. Science Direct, p. 79 – 108, 2017.

BRAGA, Ricardo A P *et al.* A SUSTENTABILIDADE DO USO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA FRENTE À EXPLORAÇÃO DE AREIAS EM LEITO DE RIOS DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO. In: XVIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 18., 2014, Belo Horizonte. **Anais [...]**. Belo Horizonte: Revista Águas Subterrâneas, 2015. v. 1, p. 1-15.

BRASIL. MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. RIMA – Relatório de Impacto Ambiental. Projeto de Integração do rio São Francisco com Bacias Hidrográficas do Nordeste Sentrional. Governo Federal. Julho, 2004.

BRIDGE, John S. The interaction between channel geometry, water flow, sediment transport and deposition in braided rivers. **Geological Society, London, Special Publications**, [S.L.], v. 75, n. 1, p. 13-71, jan. 1993.

BRIERLEY, Gary; FRYIRS, Kirstie. **Geomorphology and River Management: applications of the river styles framework**. Oxford: Blackwell Publishing, 2005. 412 p.

BRIERLEY, Gary et al. Application of the River Styles framework as a basis for river management in New South Wales, Australia. **Applied Geography**, [s. L.], v. 22, n. 1, p.91-122, jan. 2002.

BRIERLEY, Gary; FRYIRS, Kirstie. River Styles, a Geomorphic Approach to Catchment Characterization: Implications for River Rehabilitation in Bega Catchment, New South Wales, Australia. **Environmental Management**, New York, v. 25, n. 6, p.661-679, jun. 2000.

BRUNSDEN, Denys. A critical assessment of the sensitivity concept in geomorphology. **Catena**, [s. L.], v. 42, n. 4, p.99-123, jan. 2001.

BUFFINGTON, J. M.; MONTGOMERY, D. R. 2013. Geomorphic classification of rivers. In: Shroder, J.; Wohl, E., ed. *Treatise on Geomorphology; Fluvial Geomorphology*, Vol. 9. San Diego, CA: Academic Press. p. 730-767.

CAMPELO, Romário Carvalho. **Análise de terrenos na porção sententrional da Província Borborema, NE do Brasil: Integração de dados geológicos e gravimétricos**. 1999. 140 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geofísica, Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal - RN, 1999.

CAVALCANTI, Edneida R.; COUTINHO, Solange F. S.; SELVA, Vanice S.. Desertificação e desastres naturais na região do semi-árido brasileiro. **Cadernos de Estudos Sociais**, [s. L.], v. 22, n. 1, p.19-31, jun. 2006.

CHARLTON, Ro. **FUNDAMENTALS OF FLUVIAL GEOMORPHOLOGY**. New York: Routledge, 2008. 275 p.

CHRISTOFOLETTI, Antônio. **Análise de sistemas em Geografia**. São Paulo: Hucitec, 1979.

CHRISTOFOLETTI, Antônio. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia fluvial: o canal fluvial**. 2 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1981.

COELHO, Victor H. R. *et al.* Dinâmica do uso e ocupação do solo em uma bacia hidrográfica do semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S.L.], v. 18, n. 1, p. 64-72, jan. 2014.

CONTI, José Bueno. A questão climática do Nordeste brasileiro e os processos de desertificação. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba/pr, v. 1, n. 1, p.7-14, dez. 2005.

COSTIGAN, Katie H. *et al.* Flow Regimes in Intermittent Rivers and Ephemeral Streams. **Intermittent Rivers And Ephemeral Streams**, [S.L.], p. 51-78, 2017.

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

CUNHA, H. et al. Alterações no canal principal da bacia hidrográfica do Arroio Michaela, Pelotas – RS, decorrentes de um evento pluviométrico extremo do ano de 2009. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 19, n. 68, p.143-156, dez. 2018.

DANIELSON, Tyler. Utilizing a High Resolution Digital Elevation Model (DEM) to Apply Stream Power Index (SPI) to the Gilmore Creek Watershed in Winona County, Minnesota. **Papers in Resource Analysis**, Winona, v. 15, n. 11, p.1-11, nov. 2013.

FARAH-PÉREZ, Aldo *et al.* An analysis of river fragmentation by dams and river dewatering in Costa Rica. **River Research And Applications**, [S.L.], v. 36, n. 8, p. 1442-1448, 22 jul. 2020.

FRYIRS, Kirstie; BRIERLEY, Gary. **Practical Applications of the River Styles Framework as a Tool for Catchment-wide River Management: A Case Study from Bega Catchment, NSW, Australia**. Sydney: Macquarie University, 2005.

FRYIRS, Kirstie A.. Developing and using geomorphic condition assessments for river rehabilitation planning, implementation and monitoring. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Water**, [S.L.], v. 2, n. 6, p. 649-667, 23 jul. 2015.

FRYIS, K. River Sensitivity: a lost foundation concept in fluvial geomorphology. *Earth Surface Processes and Landforms*, v. 42, n. 1. 55 – 70. 2017.

GILLULY, J.; WATERS, A. C.; WOODFORD, A. O. **Princípios de Geologia**. S. L: Aguilar, 1964. 424 p.

GRAFF, W. L. **Arid Zone Geomorphology: Process, Form and Change in Drylands**. Oxford, Uk: John Wiley & Sons, Ltd, 2011.

GURNELL, Angela M. *et al.* Assessing river condition: a multiscale approach designed for operational application in the context of biodiversity net gain. **River Research And Applications**, [S.L.], v. 36, n. 8, p. 1559-1578, 13 jul. 2020.

HUGGETT, Richard. A history of the systems approach in geomorphology. **Géomorphologie**, [s. L.], v. 13, sn, p.145-158, 2007.

KLEINA, Monica; PAULA, Eduardo Vedor de; SANTOS, Leonardo José Cordeiro. ANÁLISE COMPARATIVA DOS ESTILOS FLUVIAIS DO RIO SAGRADO (MORRETES/PR) PARA OS ANOS DE 2006 E 2011. **Revista Geografa**, Curitiba/pr, v. 9, n. 1, p.27-44, jun. 2014.

LANGAT, P. et al. Characterisation of channel morphological pattern changes and flood corridor dynamics of the tropical Tana River fluvial systems, Kenya. *Journal of African Earth Sciences*. V, 163. S.N. S.I. 2020.

LIMA, Kleber Carvalho; LUPINACCI, Cenira Maria. MORFOLOGIAS FLUVIAIS EM AMBIENTE SEMIÁRIDO: QUESTÕES TEÓRICAS APLICADAS A UM ESTUDO DE CASO. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Uberlândia, v. 20, n. 3, p.475-490, maio 2019.

LIMA, A. G. Índice de gradiente de canal: significados e diretrizes para aplicação. *Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities research medium – UFU*, v.4, p. 680-692, 2013.

MALTCHIK, L. ECOLOGIA DE RIOS INTERMITENTES TROPICAIS. In: POMPÊO, M. L. M. **Perspectivas na Limnologia do Brasil**. São Paulo: Grafica e Editora Uniao, 1999.

MAIA, Rúbson Pinheiro; BEZERRA, Francisco Hilario R. NEOTECTÔNICA, GEOMORFOLOGIA E SISTEMAS FLUVIAIS: UMA ANÁLISE PRELIMINAR DO

CONTEXTO NORDESTINO. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Uberlândia, v. 12, n. 3, p.37-46, 2010.

MATTOS, Sérgio Henrique Vannucchi Lemes de; PEREZ FILHO, Archimedes. Complexidade e Estabilidade em Sistemas Geomorfológicos: uma introdução ao tema. /**Revista Brasileira de Geomorfologia**, Uberlândia, v. 5, n. 1, p.11-18, 2004.

NETO, F. A. S. Diferentes formas de abastecimento de água na região semiárida da bacia do rio Paraíba. Dissertação (Mestrado). Pág. 127. Universidade Federal da Paraíba. PRODEMA. 2017.

NEVES, C. A experiência internacional com projetos de transposição de águas - lições para o do rio São Francisco. XXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção. A Engenharia de Produção e o Desenvolvimento Sustentável: Integrando Tecnologia e Gestão. Salvador. 2009.

PHILLIPS, J. Changes, perturbations, and responses in geomorphic systems. Progress in physical Geography. KENTUCKY UNIVERSITY. 2009.

PRINGLE, C. HYDROLOGIC CONNECTIVITY AND THE MANAGEMENT OF BIOLOGICAL RESERVES: a global perspective. **Ecological Applications**, [S.L.], v. 11, n. 4, p. 981-998, ago. 2001.

RAVEN, P.J. *et al.* Towards a harmonized approach for hydromorphological assessment of rivers in Europe: a qualitative comparison of three survey methods. **Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems**, [S.L.], v. 12, n. 4, p. 405-424, 2002.

RODRIGUES, J. ESPACIALIZAÇÃO DAS CHUVAS EM UMA BACIA HIDROGRÁFICA NO SEMIÁRIDO DA PARAÍBA. **Revista de Geociências do Nordeste**, [S.L.], v. 6, n. 1, p. 28-35, 16 maio 2020.

PHILLIPS, J. The end of equilibrium? **Geomorphology**, [S.L.], v. 5, n. 3-5, p. 195-201, ago. 1992.

RIBEIRO, Roberta Everllyn Pereira; ARAGÃO, Maria Regina da Silva; CORREIA, Magaly de Fatima. Distúrbio Ondulatório de Leste e Linhas de Instabilidade: Impacto na Precipitação no Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [s. L.], v. 6, n. 4, p.837-856, set. 2013.

RINALDI, M. *et al.* A method for the assessment and analysis of the hydromorphological condition of Italian streams: the morphological quality index (mqi). **Geomorphology**, [S.L.], v. 180-181, p. 96-108, jan. 2013.

ROCHA, Paulo Cesar. Indicadores de Alteração Hidrológica no Alto Rio Paraná: Intervenções Humanas e Implicações na Dinâmica do Ambiente Fluvial. **Sociedade e Natureza**, Uberlândia, v. 22, n. 1, p.191-211, mar. 2010.

ROSA, Pierluigi de; FREDDUZZI, Andrea; CENCETTI, Corrado. Stream Power Determination in GIS: An Index to Evaluate the Most 'Sensitive' Points of a River. **Water**, [s.l.], v. 11, n. 6, p.1145-1156, 31 maio 2019.

ROSGEN, D. A classification of natural rivers. **Catena**, [s. L.], v. 22, n. 3, p.169-199, jun. 1994.

SANDERCOCK, P.J.; HOOKE, J.M.. Vegetation effects on sediment connectivity and processes in an ephemeral channel in SE Spain. **Journal Of Arid Environments**, [S.L.], v. 75, n. 3, p. 239-254, mar. 2011.

SANTOS, J. Avaliação da salinização de açudes no semi-árido brasileiro POR ICP-AES. Departamento de Ciências Naturais - Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - UESB - Estrada do Bem Querer km 4 - 45100-000 - Vitória da Conquista – BA. 2000.

SANTOS, L. *et al.* ANÁLISE TECTÔNICA DE TERRENOS: METODOLOGIA, APLICAÇÃO EM CINTURÕES OROGÊNICOS E EXEMPLO DAS PROVÍNCIAS TOCANTINS E BORBOREMA, BRASIL. **Geonomos**, S.L., v. 2, n. 22, p. 51-63, abr. 2014.

SCHMIDT, Darlan Martínes; MATTOS, Arthur. DINÂMICA DOS REGIMES DE PRECIPITAÇÃO E VAZÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO PIRANHAS-AÇU - PB. **Sociedade e Território**, Natal, v. 25, n. 2, p.67-77, dez. 2013.

SCHUMM, S. A. The fluvial system. N. York: J. Wiley & Sons, 1977.

SILVA, Rubens Neves e et al. Uso do índice RDE para determinação de anomalias de drenagem no Rio Capibaribe (PE). **Reget**, Santa Maria, v. 20, n. 1, p.552-565, abr. 2016.

SILVA, Diêgo Alan Manguiera da; MOURA, Marcelo de Oliveira. Registros de desastres associados à estiagem e seca na região do Alto Sertão da Paraíba. **Regne**, Natal, v. 4, p.126-136, 2018.

SILVA, Pedro Carlos Gama da et al. Caracterização do Semiárido brasileiro: fatores naturais e humanos. In: SA, I. B.; SILVA, P. C. G. da. **Semiárido brasileiro: pesquisa, desenvolvimento e inovação**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010. p. 18-48.

SOUZA, J. Sistema fluvial e planejamento local no semiárido. *Revista Mercator*. 2012.

SOUZA, Jonas Otaviano Praça de. **MODELOS DE EVOLUÇÃO DA DINÂMICA FLUVIAL EM AMBIENTE SEMIÁRIDO – BACIA DO RIACHO DO SACO, SERRA TALHADA, PERNAMBUCO**. 2014. 191 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geografia, Universidade Federal da Paraíba, Recife, 2014.

SOUZA, Jonas Otaviano Praça de; ALMEIDA, Joana. Processos Fluviais em Terras Secas. **Revista Okara**, João Pessoa, v. 9, n. 1, p.108-122, 2015.

SOUZA, Jonas Otaviano Praça de; CORRÊA, Antônio Carlos de Barros. Análise da sensibilidade da paisagem na bacia do Riacho do Saco - PE. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Uberlândia, v. 16, n. 4, p.615-630, 2015.

SOUZA, Jonas Otaviano Praça de. DOS SISTEMAS AMBIENTAIS AO SISTEMA FLUVIAL - UMA REVISÃO DE CONCEITOS. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 14, n. 47, p.224-233, set. 2013.

STOLF, R. Transposição do Rio São Francisco para o Nordeste Semiárido do Brasil: Dados Técnicos, Impactos Ambientais e Enquete Sobre o volume Transposto. IX Congresso Latino americano Y Del Caribe de Ingeniería Agrícola – CLIA 2010.

SUTFIN, Nicholas A. et al. A geomorphic classification of ephemeral channels in a mountainous, arid region, southwestern Arizona. **Geomorphology**, [s. L.], v. 221, p.164-175, set. 2014.

SYVITSKI, James P.M. *et al.* How important and different are tropical rivers? — An overview. **Geomorphology**, [S.L.], v. 227, p. 5-17, dez. 2014.

THOMAS, Michael F. Landscape sensitivity in time and space — an introduction. **Catena**, [s. L.], v. 42, n. 2-4, p.83-98, 2001.

THOMSON, James R.; TAYLOR, Mark Patrick; BRIERLEY, Gary. Are River Styles Ecologically Meaningful? A Test of the Ecological Significance of a Geomorphic River

Characterization Scheme. **Aquatic Conservation-marine And Freshwater Ecosystems**, [s. L.], v. 14, n. 1, p.25-48, 2004.

TOOTH, Stephen. Process, form and change in dryland rivers: a review of recent research. **Earth-Science Reviews**, [S.L.], v. 51, n. 1-4, p. 67-107, ago. 2000.

VANDENBERGHE, J. Climate forcing of fluvial system development: an evolution of ideas. **Quaternary Science Reviews**, [S.L.], v. 22, n. 20, p. 2053-2060, out. 2003.