

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

**GEOMORFOLOGIA FLUVIAL DO RIO SÃO JOÃO (RJ):
PROCESSOS, AJUSTES E MUDANÇAS**

RODRIGO CORREIA DOS SANTOS

Rio de Janeiro

2019

Rodrigo Correia dos Santos

**GEOMORFOLOGIA FLUVIAL DO RIO SÃO JOÃO (RJ):
PROCESSOS, AJUSTES E MUDANÇAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Geografia do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza, como requisito necessário à obtenção do grau de Mestre em Geografia.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Mônica dos Santos Marçal

**Rio de Janeiro
2019**

Santos, Rodrigo Correia dos

S237g Geomorfologia fluvial do rio São João (RJ): processos, ajustes e mudanças / Rodrigo Correia dos Santos. – Rio de Janeiro, 2019.

137 f.

Orientadora: Mônica dos Santos Marçal

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geografia, Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2019.

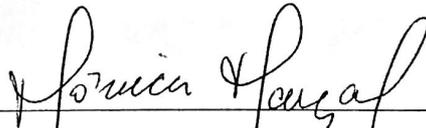
1. Rio São João. 2. Estilos Fluviais. 3. Geomorfologia Fluvial. I. Marçal, Mônica dos Santos (orient.). II. Título.

Rodrigo Correia dos Santos

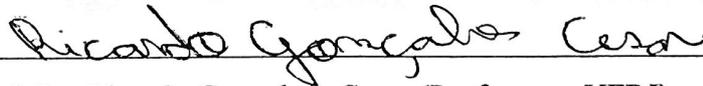
**GEOMORFOLOGIA FLUVIAL DO RIO SÃO JOÃO (RJ):
PROCESSOS, AJUSTES E MUDANÇAS**

Defendida em 13/08/2019

BANCA EXAMINADORA:



Prof.^a Dr.^a Mônica dos Santos Marçal (Orientadora – UFRJ)



Prof. Dr. Ricardo Gonçalves Cesar (Professor – UFRJ)



Prof.^a Dr.^a Sandra Baptista da Cunha (Professora – UFF)

Rio de Janeiro

2019

AGRADECIMENTOS

Na conclusão de mais uma etapa da minha vida, até então a mais importante de todas, aprender a ser grato a tudo e a todos que partilharam desta jornada comigo é o grande ensinamento que carregarei.

E antes de tudo e todos, todo este trabalho assim como todos que vieram ou virão no futuro, eu dedico aos meus pais Luiz e Ana. Vocês me mostram dia a dia o que o amor e dedicação por alguém é capaz de fazer. Aprendi com vocês, pessoas simples e honestas, as coisas mais importantes da minha vida e sinto no esforço diário de vocês a força que preciso para encarar a vida. Dedico também a minha irmã e meu sobrinho, as quais fizeram e farão parte de toda a minha história, assim como toda minha família.

Agradeço a minha orientadora, Mônica dos Santos Marçal, por toda a paciência, dedicação, ensinamentos e a força que me deu ao longo dos últimos cinco anos. Você é e sempre fará parte da minha vida, com todo carinho e admiração que eu possa sentir.

Aos meus também amigos e companheiros do Grupo GEOMORPHOS/UFRJ, que lá estão hoje ou já estiveram um dia, vocês me ensinaram e alimentaram todo este desejo que tenho em aprender e ser feliz conhecendo o mundo através de vocês.

Agradeço a todos os meus amigos, aos antigos e aos mais recentes, da faculdade aos do ensino fundamental. Cada passo que dei na vida foi junto a vocês, o homem que sou hoje se deve muito ao que aprendi com todos vocês.

A Isabela Emília, que a tão pouco tempo humano conheço, mas que a muito tempo deste universo já era parte de mim. Com você vejo não apenas meu futuro, mas também todo amor que multiplicarei pela vida.

E dedico a todos que passaram na minha vida, a todos que irão passar, a quem se foi, a quem está longe, a quem está perto, pois cada pequeno passo me fez ser o que sou e chegar aonde estou.

RESUMO

A intrínseca complexidade das relações que compõem os sistemas fluviais é responsável pela variedade de formas e comportamentos que os canais fluviais apresentam. Quando lhe são associadas modificações humanas, recorrentes nos últimos séculos, são adicionados novos elementos que interferem na dinâmica e nos processos dos rios. Com isso, a multiplicidade e correlação das interferências, naturais e humanas, são um aspectos-chave para a compreensão das ações e evolução do relevo. Dentro deste âmbito, a bacia hidrográfica do rio São João localizada no Estado do Rio de Janeiro, está inserida em um contexto de recorrentes alterações em seus canais e usos, diretamente impactantes nas suas características morfológicas e dinâmicas, gerando problemas ambientais que atuam em conjunto e em diferentes escalas espaciais e temporais ao longo da bacia e do canal principal. Assim a pesquisa teve por objetivo compreender as relações espaciais e temporais entre o uso e ocupação da terra, as mudanças ocorridas nos rios e como eles respondem às alterações, de forma a identificar e compreender os ajustes e/ou mudanças no rio São João. Foi utilizada a metodologia dos Estilos Fluviais, que atua sob a ótica da diferenciação dos segmentos que compõem os rios, aliado à análise histórica do uso das terras da bacia e as mudanças na morfologia do canal principal entre 1964 e 2018, para identificar como se comporta atualmente o rio São João e como se dão seus ajustes e mudanças ao longo do tempo. Assim foram identificados oito Estilos Fluviais ao longo da bacia, que a partir da elevada e histórica pressão antrópica demonstraram uma intensificação na dinâmica dos seus processos, evidenciados pelos indicativos de ajustes geomorfológicos encontrados, que possibilitam também a identificação de áreas sensíveis a alterações e prioritárias a conservação. Embora apresente mudanças em sua dinâmica apenas nas regiões onde o canal foi diretamente modificado, as evidências encontradas apontam para uma tentativa do sistema em encontrar uma nova condição de equilíbrio mesmo diante das variadas influências a qual é submetida. Assim o rio São João demonstra que embora esteja se condicionando as circunstâncias que lhe foram impostas são necessárias ações de conservação, em especial nas suas áreas mais sensíveis a ajustes, para diminuir os impactos negativos existentes e possibilitando que seu sistema fluvial se mantenha conservado, tanto em seu aspecto ambiental quanto social.

Palavras-chave: Rio São João; Estilos fluviais; Geomorfologia fluvial.

ABSTRACT

The intrinsic complexity of the relationships that make up river systems is responsible for the variety of forms and behaviors that river channels present. When associated with human modifications, recurrent in recent centuries, new elements are added that interfere with the dynamics and fluvial processes. Thus, the multiplicity and correlation of interference, natural and human, are key aspects for understanding the landscape's actions and evolution. Within this context, the São João river basin located in the state of Rio de Janeiro, is inserted in a context of recurrent changes in its channels and uses, directly impacting on its morphological characteristics, generating environmental problems that act together and at different spatial and temporal scales along the whole basin and its main stream. This being said, the research aimed to understand the spatial and temporal relationships between land use and occupation, changes in rivers and how they respond to them, in order to identify and assess the adjustments and/or changes in the São João channel. The River Styles methodology, which gives insight in the differentiation of segments that make up rivers, allied to the historical analysis of the land use of the basin and the changes in the morphology of the main channel between 1964 and 2018 were used to identify how the São João river's adjustments and changes take place over time. Eight River Styles were identified along the basin, which, based on the high record of anthropic pressure show an intensification on the dynamics of their processes, also evidenced by the indications of geomorphological adjustments found. Given identification allowed an interpretation of areas sensitive to alterations and thus priorities for conservation management. Although the basin presents significant changes in its dynamics only in the regions where the channel was directly modified, the evidence found points to an attempt by the system to find a new equilibrium condition even in the face of the varied influences to which it is submitted. Therefore, the São João river demonstrates that although it is adapting to the conditions imposed, conservation actions are necessary, especially in its most sensitive areas for adjustment, to reduce the existing negative impacts and allowing its river system to be conserved, both environmental and social aspects.

Keywords: São João river; River Styles; Fluvial Geomorphology.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Localização da bacia do rio São João e seus afluentes	14
Figura 2 – Média mensal de chuvas para as estações dentro da bacia do rio São João	16
Figura 3 – Localização das estações da ANA utilizadas na pesquisa	16
Figura 4 – Série histórica de dados pluviométricos para as estações na bacia do rio São João	17
Figura 5 – Total de chuvas acumulada por ano, para as estações na bacia do rio São João	18
Figura 6 – Geologia da bacia do rio São João	19
Figura 7 – Compartimentação geomorfológica da bacia do rio São João	21
Figura 8 – Tipos de solos na bacia do rio São João	23
Figura 9 – Linha do tempo das principais atividades econômicas, modificações, influências e do crescimento populacional na bacia do rio São João	30
Figura 10 – Estágios da metodologia do Estilos Fluviais	41
Figura 11 – Fluxograma representativo da operacionalização da pesquisa	51
Figura 12 – Mosaico georreferenciado das fotografias aéreas do Projeto USAF sob a imagem Worldview 2	54
Figura 13 – Fluxograma da identificação dos Estilo Fluviais	55
Figura 14 – Formas de ajuste erosionais	61
Figura 15 – Uso e cobertura da terra da bacia do rio São João para 1975, 1985, 1995 e 2010	66
Figura 16 – Uso e cobertura da terra da bacia do rio São João em 2015	67
Figura 17 – Padrões para a bacia do rio São João	69
Figura 18 – Declividade da bacia do rio São João	74

Figura 19 – Vista em imagem de satélite e forma em planta do Estilo Fluvial Vale confinado, cabeceira íngreme	75
Figura 20 – Uso e cobertura da terra para o Estilo Fluvial Vale confinado, cabeceira íngreme	75
Figura 21 – Vista em imagem de satélite, forma em planta e unidades geomorfológicas do Estilo Fluvial Vale parcialmente confinado, margem controlada pelo substrato rochoso, planícies descontínuas	77
Figura 22 – Leito rochoso no Estilo Fluvial Vale parcialmente confinado, margem controlada pelo substrato rochoso, planícies descontínuas	77
Figura 23 – Uso e cobertura da terra do Estilo Fluvial Vale parcialmente confinado, margem controlada pelo substrato rochoso, planícies descontínuas	78
Figura 24 – Vista em imagem de satélite, forma em planta e unidades geomorfológicas do Estilo Fluvial Vale lateralmente não confinado, canal contínuo, baixa sinuosidade	79
Figura 25 – Leito arenoso do Estilo Fluvial Vale lateralmente não confinado, canal contínuo, baixa sinuosidade	80
Figura 26 – Uso pastoril da planície fluvial do Estilo Fluvial Vale lateralmente não confinado, canal contínuo, baixa sinuosidade	80
Figura 27 – Uso e cobertura da terra do Estilo Fluvial Vale lateralmente não confinado, canal contínuo, baixa sinuosidade	81
Figura 28 – Vista em imagem de satélite, forma em planta e unidades geomorfológicas do Estilo Fluvial Vale lateralmente não confinado, canal contínuo, sinuoso	82
Figura 29 – Uso e cobertura da terra do Estilo Fluvial Vale lateralmente não confinado, canal contínuo, sinuoso	83
Figura 30 – Vista em imagem de satélite, forma em planta e unidades geomorfológicas do Estilo Fluvial Vale lateralmente não confinado, canal contínuo, baixa sinuosidade, canalizado	84

Figura 31 – Leito do Estilo Fluvial Vale lateralmente não confinado, canal contínuo, baixa sinuosidade, canalizado	85
Figura 32 – Uso e cobertura da terra do Estilo Fluvial Vale lateralmente não confinado, canal contínuo, baixa sinuosidade, canalizado	85
Figura 33 – Série histórica da estação Correntezas	86
Figura 34 – Curva de permanência para a vazão da estação Correntezas para obtenção do valor de Q95	87
Figura 35 – Vazões máximas anuais para a estação Correntezas	88
Figura 36 – Médias mensais para a estação Correntezas	89
Figura 37 – Vista em imagem de satélite, forma em planta e unidades geomorfológicas do Estilo Fluvial Vale parcialmente confinado, controlado pela forma em planta, alta sinuosidade, planícies descontínuas	90
Figura 38 – Uso e cobertura da terra no Estilo Fluvial Vale parcialmente confinado, controlado pela forma em planta, alta sinuosidade, planícies descontínuas	91
Figura 39 – Vista em imagem de satélite, forma em planta e unidades geomorfológicas do Estilo Fluvial Vale lateralmente não confinado, canal contínuo, baixa sinuosidade, canalizado	92
Figura 40 – Nivelamentos do Reservatório de Juturnaíba nas proximidades do vertedouro	93
Figura 41 – Uso e cobertura da terra no Estilo Fluvial Vale lateralmente não confinado, canal contínuo, baixa sinuosidade, canalizado	93
Figura 42 – Vista em imagem de satélite e forma em planta do Estilo Fluvial Vale lateralmente não confinado, canal contínuo, alta sinuosidade	95
Figura 43 – Uso e cobertura da terra do Estilo Fluvial Vale lateralmente não confinado, canal contínuo, alta sinuosidade	95
Figura 44 – Perfil longitudinal do rio São João para o ano de 1964	98
Figura 45 – Forma em planta do rio São João para o ano de 1964	99

Figura 46 – Exemplos de evidências de ajustes geomorfológicos no rio São João	101
Figura 47 – Tipos e quantidade de ajustes geomorfológicos por estilo fluvial	102
Figura 48 – Evidências de ajustes morfológicos identificados no rio São João	104
Figura 49 – Forma em planta do rio São João para os anos de 1964 e 2018 e os Estilos Fluviais identificados	114

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Panorama dos materiais imagéticos obtidos e utilizados na pesquisa	52
Tabela 2 – Classificação da Sinuosidade	57
Tabela 3 – Equivalência dos termos utilizados nas diferentes pesquisas utilizadas, referentes ao uso e cobertura da terra da Bacia do rio São João	64
Tabela 4 – Evolução temporal do uso e cobertura da terra na bacia do rio São João	65
Tabela 5 – Tabela dos Estilos Fluviais identificados	71
Tabela 6 – Controles das características e comportamento do rio São João	73
Tabela 7 – Vazão média ao longo das décadas analisadas para a estação Correntezas	87
Tabela 8 – Q95 ao longo das décadas analisadas	88
Tabela 9 – Comparação da morfometria do rio São João	98

ÍNDICE DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
DNOS	Departamento Nacional de Obras e Saneamento
DRM-RJ	Departamento de Recursos Minerais do Estado do Rio de Janeiro
IBDF	Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INEA	Instituto Estadual do Ambiente
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
MDE	Modelo Digital de Elevação
MMA	Ministério do Meio Ambiente
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
USAF	United States Air Force

SUMÁRIO

I	INTRODUÇÃO	12
II	OBJETIVOS	15
III	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E O HISTÓRICO DE USO E OCUPAÇÃO DA TERRA DA BACIA DO RIO SÃO JOÃO	15
	3.1 – Características físicas	15
	3.2 – Histórico de uso e ocupação da terra	25
	3.3 – Trabalhos anteriores	31
IV	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO-CONCEITUAL	32
	4.1 – Canais fluviais: formas e processos associados	32
	4.2 – Classificação de rios	37
	4.2.1 – A metodologia dos Estilos Fluviais	40
	4.3 – Sensitividade da paisagem: identificando as mudanças e ajustes do sistema fluvial	43
V	METODOLOGIA	50
	5.1 – Aquisição de dados	51
	5.1.1 – Pesquisa bibliográfica	51
	5.1.2 – Material cartográfico	52
	5.2 – Análise e mapeamento do uso e cobertura da terra	54
	5.3 - Identificação dos Estilos Fluviais	55
	5.4 – Mapeamento espaço-temporal do canal fluvial	60
	5.4.1 – Identificação de ajustes geomorfológicos	61
	5.5 – Trabalhos de campo	62
VI	RESULTADOS	63
	6.1 – Mudanças no uso e cobertura da terra	63
	6.2 – Identificação dos Estilos Fluviais	68
	6.3 – Análise espaço-temporal do rio São João	97
	6.3.1 – Forma em planta e morfometria	97

6.3.2 – Evidências de ajustes geomorfológicos	100
VII DISCUSSÕES	105
VIII CONCLUSÕES	121
IX REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	123

I – INTRODUÇÃO

A geomorfologia fluvial, como uma subárea da geomorfologia, constitui uma forma de se estudar o relevo através das formas esculpidas pelos rios, tendo seus primeiros estudos datados das antigas sociedades (LEOPOLD *et al.*, 1964; GREGORY, 1992). Com o passar dos séculos, em conjunto da evolução e mudanças de paradigmas, os estudos sobre rios, suas formas e das paisagens as quais eles pertencem passaram por transformações em suas questões norteadoras e chegaram ao século XXI com questionamentos sobre as influências atuantes, no que tange ao funcionamento e composição de um rio (MARÇAL; LIMA, 2016).

As múltiplas interferências que constituem um canal são reflexos da complexidade dos sistemas fluviais, os quais são compostos por um conjunto de processos inter-relacionados que produzem uma variedade diversificada de formas (CHARLTON, 2008; HOGAN; LUZI, 2010). Leopold *et al.* (1964), relata que as inter-relações no sistema tornam difícil a visualização de um todo simultaneamente e que qualquer tentativa de descrição de partes singulares tende a perda ou não consideração de outras características igualmente importantes, atribuindo assim a esta complexidade inerente a constituição da característica mais marcante dos rios.

Assim, autores como Kondolf *et al.* (2003), Brierley e Fryirs (2005) e Rinaldi *et al.* (2016), na busca de conhecimento que abarquem esta diversidade de fatores, se utilizam de métodos de avaliação do comportamento e funcionamento dos sistemas fluviais que considerem não apenas os processos mas também as respostas e mudanças nos rios. Este tipo de análise representa uma perspectiva geomorfológica de entendimento das características de evolução do sistema, onde se integram conhecimentos interdisciplinares para avaliar as funções e características da paisagem (BRIERLEY *et al.*, 2002).

Este tipo de estudo possibilita entender a história dos ambientes fluviais, quais são as suas principais e determinantes características e de que forma o seu desenvolvimento aconteceu, sendo importante pontuar que não se deve deixar de considerar as diferentes trajetórias de degradação destes sistemas (FRYIRS; BRIERLEY, 2013).

Contudo, a maioria dos sistemas fluviais operam sob condições ambientais completamente diferentes das que operavam antes das interferências antrópicas, sejam elas diretas e indiretas aos canais fluviais (BRIERLEY; FRYIRS, 2008; LIMA; MARÇAL, 2013).

Um dos fatores que influenciam diretamente a dinâmica das bacias hidrográficas são as formas de utilização de suas terras, que possuem reflexos diretos nos sistemas de drenagem

adjacentes. Com registros de 5000-4700 a.C. de desmatamento de regiões florestais para o cultivo humano (KNOX, 2001), o histórico de ocupação humana apresenta importância ímpar quando relacionado aos sistemas fluviais.

Fatores como produção de água, aumento de taxas de inundação e transporte de sedimentos podem ser dramaticamente modificados através de atividades humanas sob a terra (ESHLEMAN, 2004). Em consonância a isto, ao longo do século XX principalmente, foram realizadas modificações diretas ao canal, como retificações e represamentos, com o objetivo de melhorias na utilização dos recursos hídricos e das terras, que resultaram na maior parte das vezes em experiências que comprometeram a estrutura dos rios, principalmente por desconsiderarem sua complexidade, continuidade e dinamicidade dos seus processos (FRYIRS; BRIERLEY, 2013).

Assim, ao longo do tempo o ser humano passou a ser um importante fator nas complexas relações que compõe um sistema fluvial, tornando-se um agente geomorfológico dominante (LAVE *et al.*, 2019), alterando as características e comportamentos precedentes e estabelecendo novas relações espaço-temporais ao longo dos cursos dos rios e de seus processos (MARÇAL *et al.*, 2017).

Wheaton *et al.* (2008) aponta que as consequências ambientais dos projetos voltados para “melhorias” nos sistemas de drenagem foram historicamente ignoradas pelas políticas públicas ao longo de quase todo o século XX. E dessa forma, trabalhar hoje com fenômenos e formas dinâmicas nos canais fluviais pressupõe lidar com variações e mudanças ao longo do tempo, oriundas de diferentes agentes e de modo a entender que inúmeras ações tem o poder de interferir na dinâmica fluvial.

Dentro deste contexto, com pertinentes modificações em seu sistema fluvial, a bacia hidrográfica do rio São João está inserida em um contexto de recorrentes alterações em seus canais e em seus usos, diretamente impactantes em suas características físicas e dinâmicas.

Localizada na região das Baixadas Litorâneas do Estado do Rio de Janeiro, com aproximadamente 2.160 km² de superfície, seu canal principal nasce na Serra do Sambê, parte do complexo da Serra do Mar a uma altitude de aproximadamente 720 m e deságua junto ao distrito de Barra de São João, localizado no município de Casimiro de Abreu (Figura 1).

A bacia ao longo da história passou por modificações e impactos que mudaram suas configurações originais, sendo realizadas ao longo de várias décadas diferentes modificações em seus sistemas de drenagem como retificações e represamento das águas do rio (CUNHA,

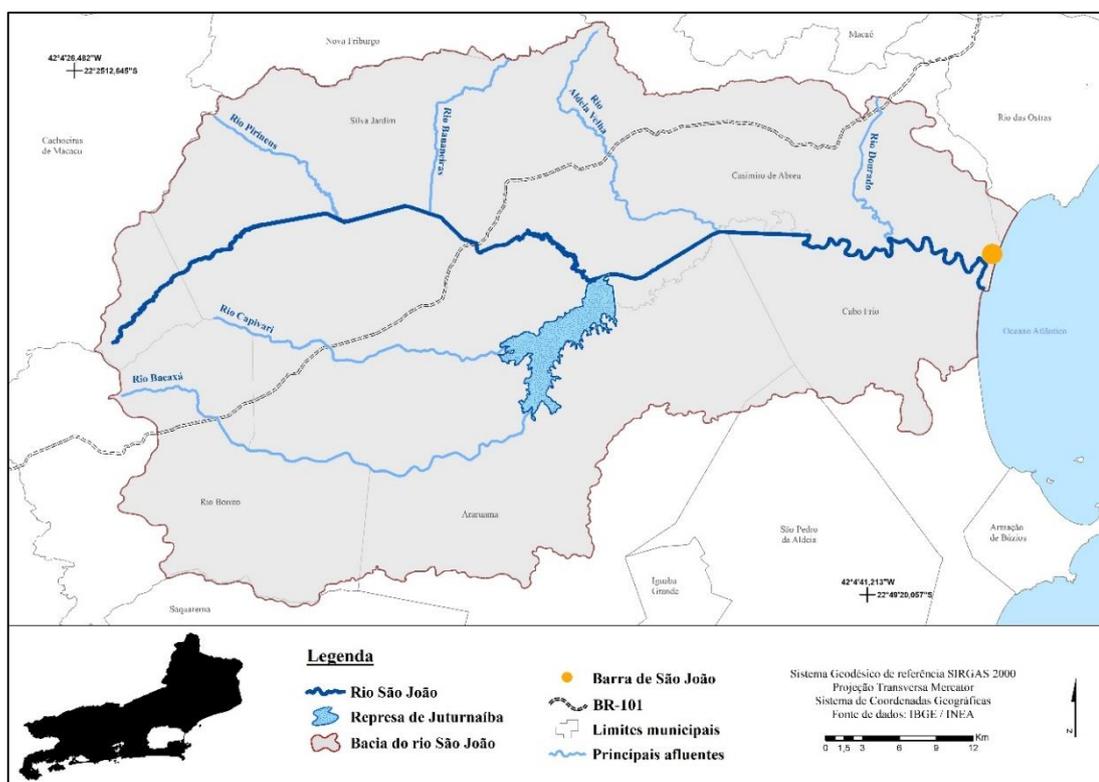
1995) além da substituição de sua vegetação natural por grandes áreas de cultivos e pastagens (SEABRA, 2012).

Estas obras foram responsáveis não apenas por modificar a forma do canal e seus processos, como também, segundo Cunha (1995), alteraram significativamente o regime hidrológico da região, romperam o equilíbrio longitudinal do rio e alteraram amplamente o sistema aquático, além da redução das zonas de brejos e a quase completa eliminação das matas ciliares (PRIMO; VOLCKER, 2003).

Dessa forma, a bacia do rio São João se caracteriza por ser uma área com diferentes interferências no sistema fluvial, gerando problemas ambientais que atuam em conjunto e em diferentes escalas espaciais e temporais ao longo da bacia e do canal, com um amplo potencial de alterações, tanto na paisagem quanto na estrutura, forma e nos processos fluviais do canal.

Assim, a presente pesquisa tem o objetivo de compreender as relações espaciais e temporais entre o uso e ocupação da terra, as mudanças ocorridas nos rios e como eles respondem às alterações, de forma a identificar e compreender os ajustes e/ou mudanças no rio São João.

Figura 1 – Localização da bacia do rio São João e seus afluentes



Elaborada por Rodrigo Correia dos Santos.

II – OBJETIVOS

A presente pesquisa tem por objetivo analisar os processos fluviais do rio São João, tendo como base as suas características e comportamento para o ano de 2018. A partir das informações levantadas busca-se analisar de forma espacial e temporal os ajustes e/ou mudanças ocorridas no canal fluvial, entre os anos de 1964 e 2018.

Possui ainda os seguintes objetivos:

- Identificar e analisar os Estilos Fluviais do rio São João e dos seus principais afluentes para o ano de 2018.
- Analisar espaço-temporalmente as mudanças e ajustes ocorridas nos ambientes fluviais para os anos de 1964 e 2018.
- Apresentar o histórico das transformações de uso e ocupação ocorridas na Bacia do rio São João e os reflexos no sistema de drenagem

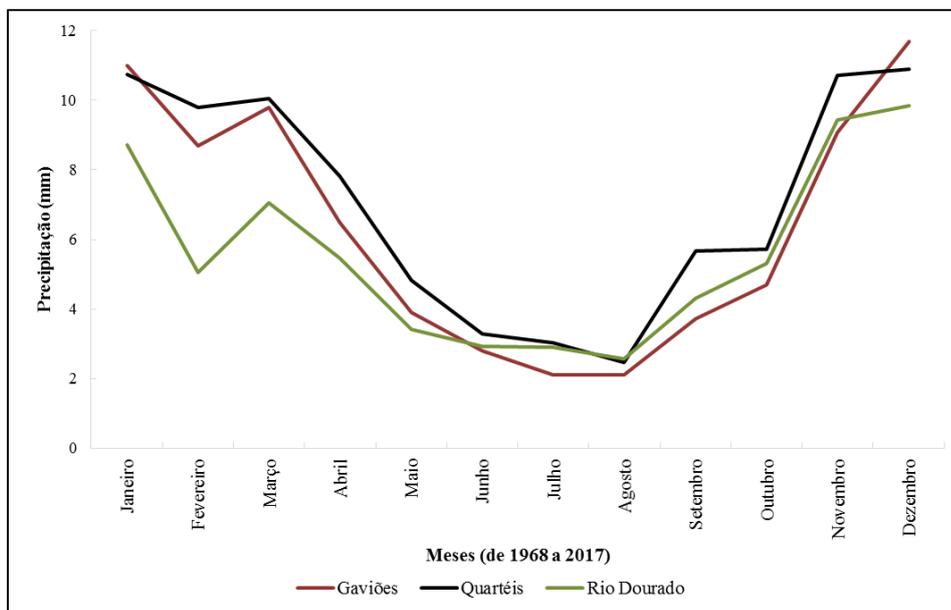
III – CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E O HISTÓRICO DE USO E OCUPAÇÃO DA TERRA DA BACIA DO RIO SÃO JOÃO

3.1 – Características Físicas

A bacia do rio São João tem seu limite hidrográfico definido a oeste pela bacia do rio Macacu, a norte e a nordeste pelas bacias dos rios Macaé e das Ostras, respectivamente, e ao sul com a bacia do rio Una e as lagoas de Araruama, Jacarepiá e Saquarema. O seu canal principal percorre uma distância de aproximadamente 120 km, sendo 55 km da sua nascente até a Represa de Juturnaíba e 65 km da represa até a sua foz. Além disso, tem como principais afluentes os rios Bacaxá e Capivari pela margem direita e os rios Aldeia velha, Bananeiras, Rio Dourado e Pirineus pela margem esquerda.

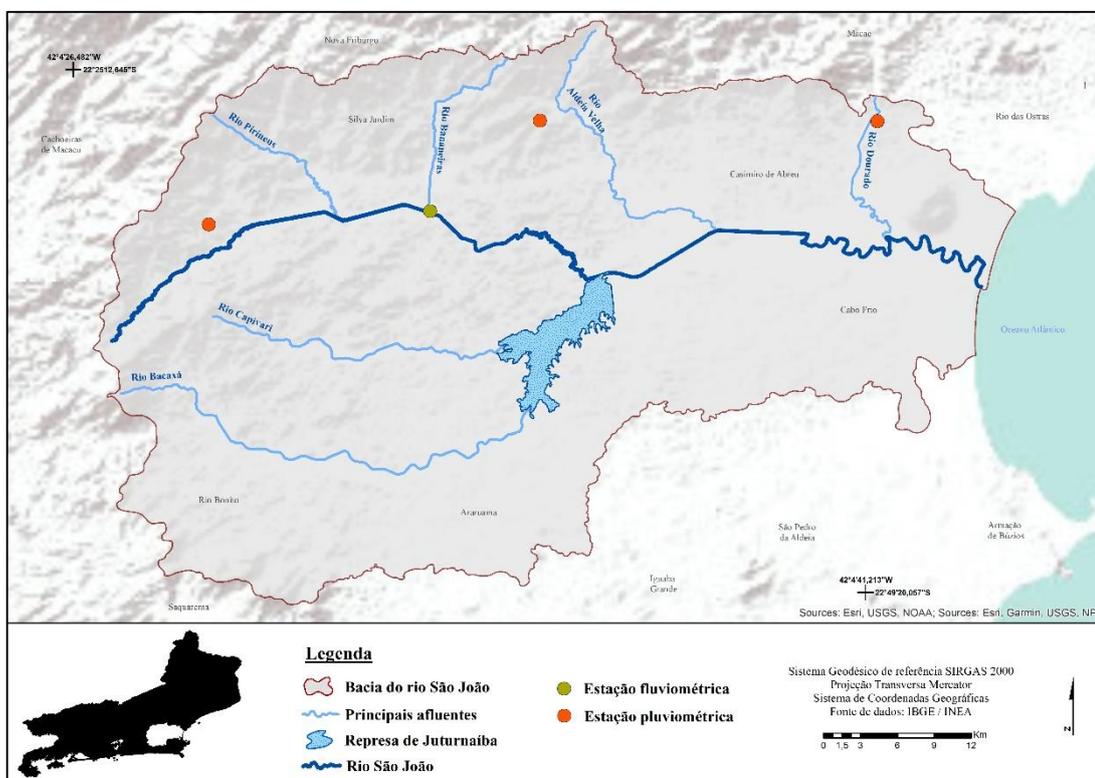
O clima é predominantemente tropical quente úmido e com médias anuais de temperatura entre 18°C e 24°C. Quintela e Cunha (1990) discorrem acerca da concentração de chuvas entre os meses de novembro e março, que representa aproximadamente 75% do total anual e caracterizam também os meses entre junho e agosto como os meses menos chuvosos ao longo do ano. Estes dados também podem ser verificados a partir da Figura 2, acerca da média mensal de chuvas para as estações de Gaviões, Quartéis e Rio Dourado, respectivamente, todas localizadas dentro dos limites da bacia (Figura 3).

Figura 2 – Média mensal de chuvas para as estações dentro da bacia do rio São João.



Fonte: Agência Nacional de Águas – ANA. Elaborada por Rodrigo Correia dos Santos.

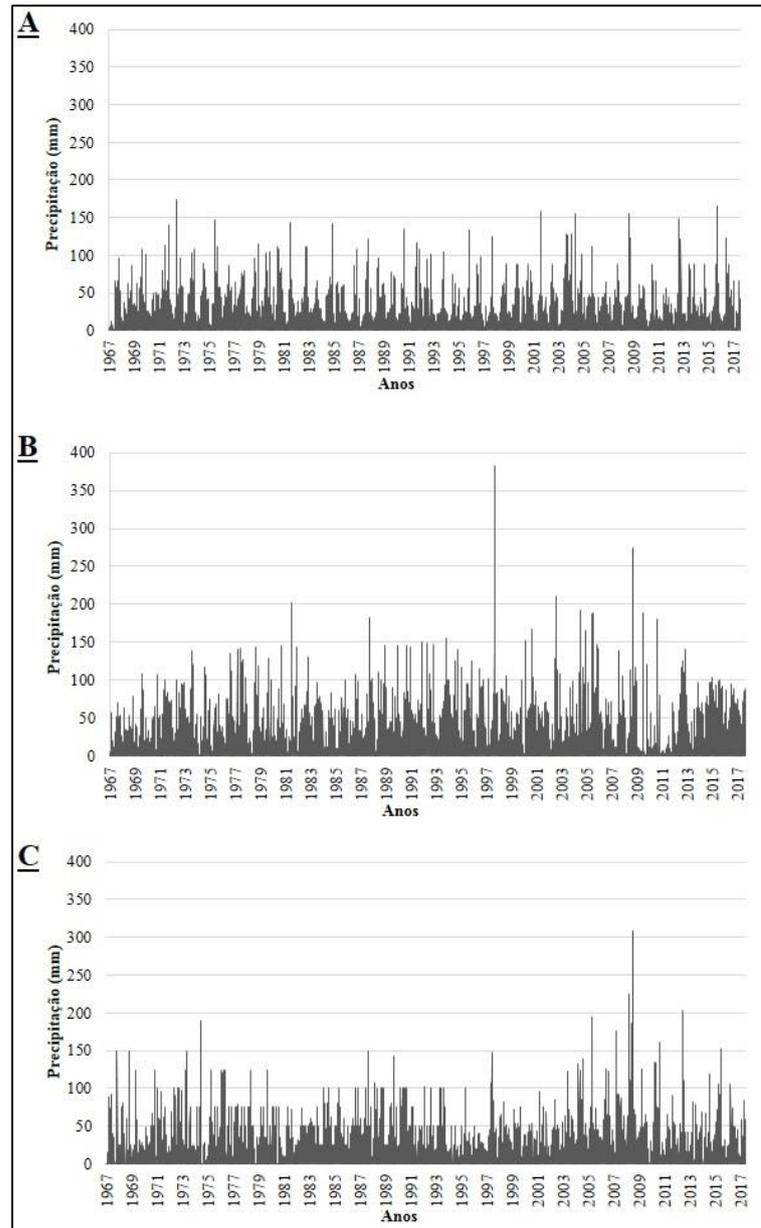
Figura 3 – Localização das estações da ANA utilizadas na pesquisa



Fonte: Agência Nacional de Águas – ANA. Elaborada por Rodrigo Correia dos Santos.

Os dados das séries históricas da ANA, referentes a estas estações pluviométricas, indicam um aumento na quantidade de chuvas acima de 150mm, principalmente quando observado e comparado os dados referentes ao século XX e XXI (Figura 4).

Figura 4 – Série histórica de dados pluviométricos para as estações na bacia do rio São João.
(A) Estação Gaviões; (B) Estação Quartéis; (C) Estação Rio Dourado.



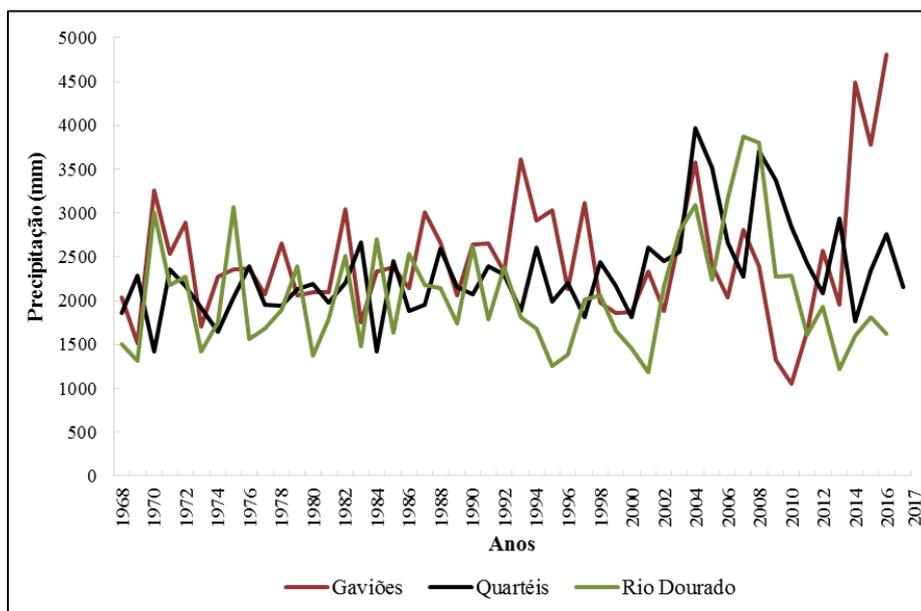
Fonte: Agência Nacional de Águas – ANA. Elaborado por Rodrigo Correia dos Santos.

Quando analisados os valores, agrupados em total acumulado por ano, as três estações apontam um aumento expressivo (Figura 5). Na estação de Gaviões, os menores valores no século XXI se equiparam aos maiores valores do século XX e o ano com maior acúmulo da década de 2000 apresenta valor quase dobrados do que das décadas antecedentes.

Para a estação de Quartéis, há um padrão até o início do século XXI em que os totais anuais variam entre 1500 e 3500mm, sem mudanças muito bruscas entre anos consecutivos. Já após os anos iniciais dos anos 2000, as variações anuais se apresentam de forma mais abrupta e com um acúmulo mínimo anual com valor próximo de 1000mm e acúmulo máximo de quase 5000mm, valores discrepantes se comparados as décadas do século XX analisadas.

E para a estação de Rio Dourado, há um padrão na discrepância de ano a ano, de aproximadamente 1000mm, até próximo do fim do século XX. Com a proximidade do século XXI, as diferenças anuais passaram a diminuir significativamente e já na primeira década do século foram registrados os valores anuais acumulados de menor e maior expressão, em 2002 e 2008 respectivamente, sendo o de 2008 quase 800mm maior que o antigo registro máximo.

Figura 5 – Total de chuvas acumulada por ano para as estações na bacia do rio São João.



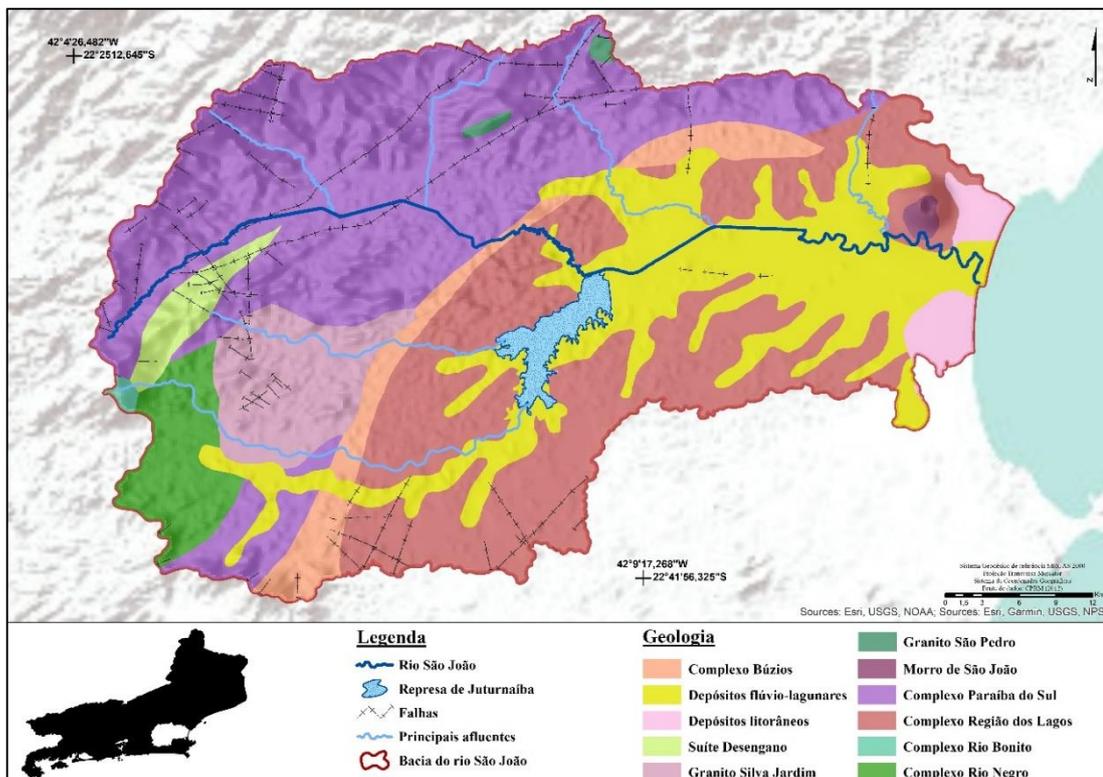
Fonte: Agência Nacional de Águas – ANA. Elaborado por Rodrigo Correia dos Santos.

Oliveira e Mello (2007), indicam que estes padrões de chuvas existem devido a influência da Massa Tropical Atlântica e da Massa Continental Equatorial, que atua sobre a região durante os verões, garantindo a esta época do ano os seus maiores registros e acúmulos de pluviosidade. Contudo, a região sofre frequentemente a interferência das frentes polares e linhas de instabilidade tropical, que propiciam chuvas ao longo do ano inteiro.

A topografia da Serra do Mar também possui grande influência nas questões climáticas da região, pois ela atravessa o Estado do Rio de Janeiro, no sentido WSW-ENE, concordante com a orientação da linha da costa. Segundo Pimenta (2014), esta configuração provoca o isolamento da planície litoral, caracterizando-a como quente e úmida e possuindo uma estação seca e outra chuvosa, devido ao efeito orográfico exercido pela serra, já que ela em sua maior parte apresenta encostas escarpadas e de alta altitude.

Esta topografia é originada de acordo com as condições geológicas da região, que possui em sua composição a predominância por rochas metamórficas e uma extensa região de depósitos flúvio-lagunares, que juntos constituem 80% da área da bacia e se dividem em três principais unidades litológicas (Figura 6).

Figura 6 – Geologia da bacia do rio São João.



Fonte: CPRM (2012).

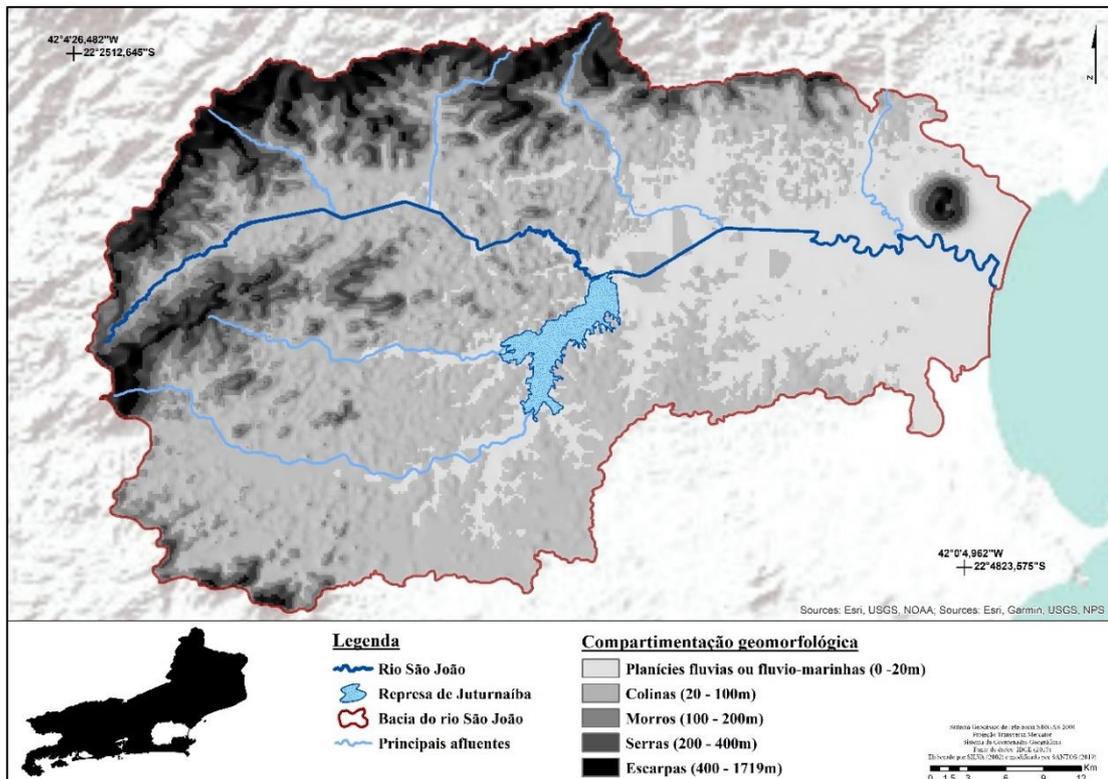
A unidade com maior extensão na bacia é a do Complexo Paraíba do Sul denominada regionalmente como Unidade São Fidélis, de idade Brasiliana, que cobre uma área de aproximadamente 736,65 km², representando 34,76% do território. Esta unidade se localiza nas porções norte, noroeste e num pequeno fragmento na porção sudoeste da bacia e tem como principal elemento rochas metassedimentares do Domínio Costeiro e é oriunda de metamorfismo regional. É composta por (sillimanita)-biotita gnaisses leucocrático, bandados ou homogêneos, com níveis estromáticos localizados e corpos lenticulares de leucogranitos de até 5 metros de espessura subparalelos ao bandamento. Possuindo intercalações de quartzitos (com até 10 metros de espessura) e camadas de rochas calcissicáticas decimétricas, com textura fina e cor verde (SCHMITT *et al.*, 2012).

A unidade com segunda maior extensão na bacia é a do Complexo Região dos Lagos, datada do Pré-Siluriano, oriunda de metamorfismo regional e que cobre uma área de aproximadamente 544 km², 25,69% da bacia, além de se localizar na porção central e centro-oeste. Esta unidade tem grande expressão e influência em toda a região, não apenas nesta bacia. É composta por ortognaisses graníticos com metaquartzo-dioritos subordinados em sua maior parte, contendo desde protólitos facilmente reconhecíveis a metagranitóides, transformam-se em gnaisses finamente bandados com estruturas migmatíticas, caracterizando assim, vários graus de deformação em sua composição (SCHMITT *et al.*, 2012).

E a terceira unidade preponderante na geologia da região são os Depósitos flúvio-lagunares, oriundos do Quaternário e que estão localizados na porção mais centro-oeste e no litoral da bacia, cobrindo uma área de aproximadamente 416,14 km², ou seja, 19,63% do total da área de estudo. Estes depósitos são formados por camadas areno-siltico-argilosas com níveis de cascalheiras associados a Depósitos de tálus, e sedimentos lacustrinos e de manguezais retrabalhados. Estes sedimentos inconsolidados de origem quaternária representam as áreas de baixada/planícies atuais dos rios. Quando associados às áreas de restinga, apresentam composição mais argilo-arenosa com elevados teores de matéria orgânica (GERALDES *et al.*, 2012).

Com a ação de múltiplas influências, o relevo da região foi moldado a partir de sua litologia sendo esculpido através de milhares de anos e apresentando hoje cinco compartimentos geomorfológicos, que variam de acordo com o desnivelamento altimétrico (Figura 7), com base na técnica de compartimentação geomorfológica realizada por Silva (2002).

Figura 7 – Compartimentação geomorfológica da bacia do rio São João



Elaborado por Silva (2002) e adaptada por Rodrigo Correia dos Santos.

O primeiro compartimento a ser explicitado é composto por planícies flúvias ou flúvio-marinhas, com altitudes máximas de 20 metros. Elas perpassam por quase toda a porção leste da bacia, muito devido à baixa declividade que esta região possui. Em sua porção oeste, elas representam as planícies flúvias, principalmente dos rios Bacaxá, Capivari e São João, todos eles a montante da represa. A jusante caracteriza-se principalmente por ser de origem flúvio-marinha, apresentando comprimento superior a 20 km e largura variável entre 16 e 8 km.

O segundo compartimento geomorfológico elucidado é um grande grupo formado por colinas de altitudes entre 20 e 100 metros. Estas feições são encontradas ao longo de toda a bacia, principalmente em toda porção oeste, se distribuindo ao longo dos vales dos rios Bacaxá, Capivari e São João, este último em sua parcela a montante da represa. Estas colinas podem ainda ser encontradas a sul-sudoeste da bacia e na grande planície a jusante da barragem de Juturnaíba, em zonas mais periféricas a norte e ao sul (PRIMO; VOLCKER, 2003).

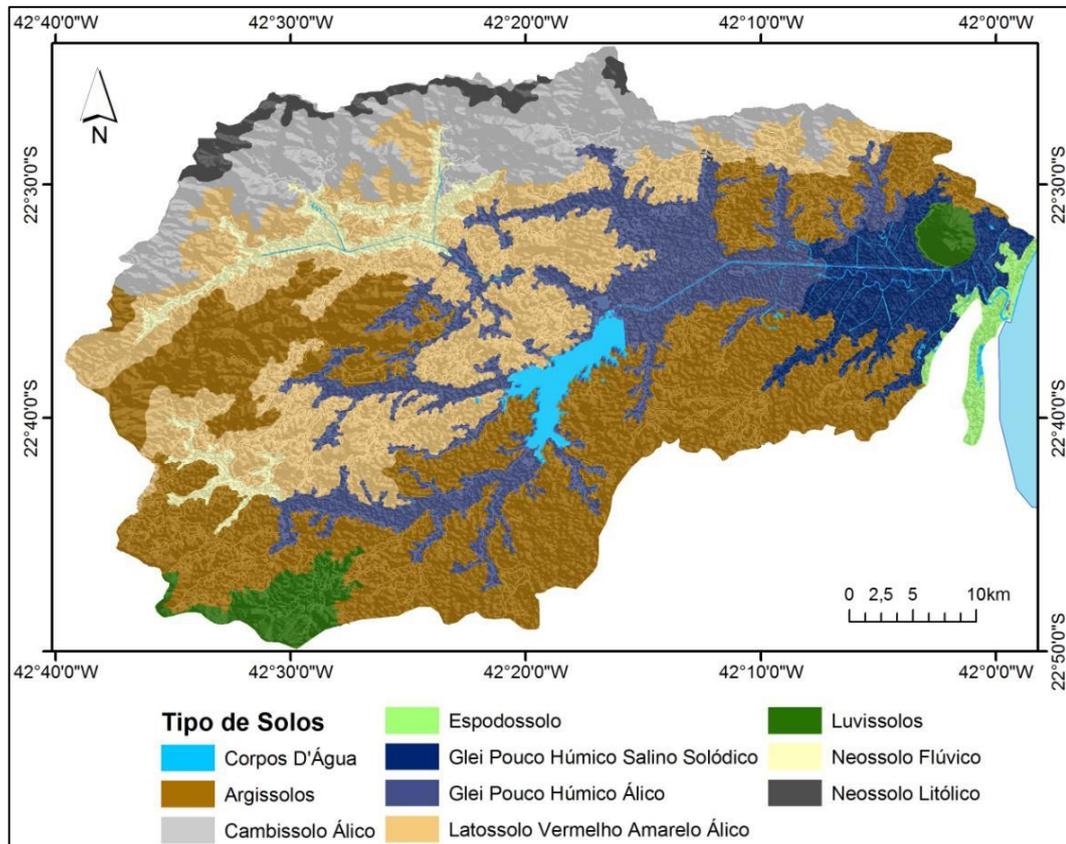
O terceiro e quarto compartimentos descritos, formados respectivamente por morros que vão de 100 a 200 metros e as serras que vão de 200 a 400 metros, estão presentes prioritariamente nas partes norte-noroeste, extremo oeste e uma pequena porção a sudoeste da bacia. Estão associadas a transição entre as regiões mais baixas e mais altas da bacia, na gradação entre os segmentos compostos por colinas até as escarpas serranas, ambos os mais significativos e predominantes da bacia.

A quinta e última compartimentação analisada é formada por escarpas serranas com altitudes acima de 400 metros, que se encontram nas regiões norte-noroeste e sudoeste e tem como característica encostas abruptas e íngremes (CUNHA, 1995). Na porção norte da bacia, o conjunto que faz parte da Serra do Mar estende-se de leste a oeste, com elevações superiores a mil metros, com destaque para a pedra do Faraó que possui altitude de 1.719m e é o ponto mais alto da bacia.

Já na parte sudoeste, presente na divisa entre os municípios de Saquarema e Rio Bonito, as escarpas apresentam valores máximos próximos a 700 metros. Havendo também a Serra do Sambê, com aproximadamente 908m a oeste, mais próxima do Reservatório de Juturnaíba. Dentro deste compartimento, é importante o destaque para o Morro São João, localizado próximo à foz do rio São João, na região leste da bacia. O Morro São João de 781 metros de altitude é um antigo vulcão extinto que tem mais de 59 milhões de anos e possui uma superfície de aproximadamente 14 km² (PRIMO; VOLCKER, 2003).

Sob estas características morfológicas foram desenvolvidas nove classes de solo (Figura 8), tendo por base os estudos de Carvalho Filho *et al.* (2000) e Seabra (2012), sendo apresentado com maiores detalhes as informações acerca das cinco classes predominantes na bacia.

Figura 8 – Tipos de solos na bacia do rio São João



Extraído de SEABRA (2012).

A primeira classe de solo a ser destacada é a classe dos latossolos, que na bacia são representados pela classe latossolo vermelho-amarelo álico são solos em avançado estágio de intemperização, muito evoluídos e normalmente muito profundos e de elevada permeabilidade. Este tipo de solo está presente em todo o Estado do Rio de Janeiro, mesmo com variadas condições climáticas e geralmente ocorrem em regiões de relevo movimentado de baixa fertilidade, tornando a pastagem como uso predominante.

A classe dos Argissolos é representada aqui por solos podzólicos vermelho-amarelos, de grande expressão territorial na bacia e no estado, além de serem frequentemente associados aos latossolos. São solos bem drenados e com perfis espessos e são encontrados em relevos que variam de suave ondulado a montanhoso.

Os cambissolos álicos compreendem uma classe de solos minerais, pouco evoluídos e não hidromórficos, localizados na parte norte da bacia. São solos também associados aos latossolos vermelho-amarelo e predominantes nas regiões serranas do estado além de zonas de relevo montanhoso a forte ondulado.

Os gleissolos são solos minerais, pouco evoluídos, hidromórficos e são representados na bacia pela classe dos gleissolos pouco húmicos. São solos mal drenados, com lençol freático elevado a maior parte do ano e estão localizados nas regiões de várzea da bacia onde são utilizados principalmente para pastagens. Cabe ressaltar também a influência do mar sob este tipo de solo, formando mais próximo a foz do rio São João a classe Gleí pouco húmico salino solódico e a presença de um horizonte turfoso neste solo na região mais próxima à atual Represa de Juturnaíba.

Já a classe dos Neossolos Flúvicos apresenta importância particular para a bacia, pois está presente no fundo de vale do rio São João a montante da represa, a mesma região do canal que sofreu grandes modificações por obras de engenharia (CUNHA, 1995). Estes são solos minerais pouco evoluídos, desenvolvidos a partir de depósitos aluviais quaternários, com estratificação de camadas e geralmente associados a gleissolos.

Estes solos, que dão suporte para as atividades humanas e ecossistemas em geral, tem a sua cobertura caracterizada, segundo dados do Instituto Estadual do Ambiente – INEA para o ano de 2015¹, como predominantemente utilizado para pastagens. Há também parte dos solos sendo utilizados para cultivo, principalmente da cana-de-açúcar na região do baixo curso, possível devido às obras de engenharia realizadas durante décadas na bacia, o que com o passar dos anos, foi acentuando o esgotamento dos solos.

A presença de vegetação nativa se dá de forma fragmentada, onde já na década de 1980 o Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal - IBDF (1981) atribuía esta característica a expansiva devastação da Mata Atlântica que iniciou-se junto dos primeiros ciclos coloniais do Brasil, devido à extração de madeiras, mas que teve sua maior parcela de desmatamento após a implantação e consolidação do cultivo irrigado na região, sendo as planícies as principais áreas afetadas.

Hoje, ainda segundo os dados de 2015 do INEA, a vegetação da bacia do rio São João é composta primordialmente por uma vegetação secundária, em estágios inicial e médio/avançado, sendo eles responsáveis por 5% e 33%, respectivamente, da ocupação das terras da bacia.

¹ www.inea.rj.gov.br/portaigeoinea

3.2 – Histórico de uso e ocupação da terra

Os primeiros registros relativos à área da bacia hidrográfica do rio São João e suas utilizações denotam uma ocupação humana inicial por volta de 8.000 anos atrás, composta por povos de caçadores e coletores (CUNHA; FREITAS, 2004). Já a sua configuração ambiental, pode ser descrita principalmente quanto a região das planícies costeiras da bacia, caracterizada por Brito & Carvalho (1978, apud CUNHA, 2012, p.5) como uma enseada aberta a aproximadamente 5.000 anos atrás, no máximo da transgressão Flandriana.

Após este período, onde a dinâmica da bacia pode ser considerada natural, a região só passou por mudanças sociais e ambientais ao longo do século XVI, em que toda a extensão que hoje é chamada de Região dos Lagos era ocupada por índios tupi-guarani e tapuias e que tinham o litoral de Cabo Frio como um foco de concentração e de resistência dos tupinambás do Rio de Janeiro, até serem conquistado em 1574 pelos portugueses, segundo Amador (1997, apud CUNHA; FREITAS, 2004, p.102).

Cunha e Freitas (2004) denotam que após a chegada dos europeus, a principal função da bacia passa a ser o transporte fluvial de madeira e produtos agrícolas provenientes da Serra do Mar, em especial o açúcar, cultivado nas planícies e zonas onduladas das colinas (BARROS, 2007). O café, que teve seu ciclo no Brasil e no Rio de Janeiro iniciado na segunda metade do século XVIII indo até o fim do século XIX, chegou a serra fluminense por volta de 1840, transformando o rio São João e o porto de Barra de São João em uma das principais rotas na época (Id., p.19), consolidando assim a principal finalidade da bacia, como fonte e transporte de produtos.

Esta função pode também ser descrita e corroborada a partir de um relato, que demonstra a capacidade de transporte do rio São João, onde o Aires de Casal (1943, p. 18) descreve as características físicas do rio São João e de seus afluentes, além de outros atributos da bacia no ano de 1817:

O rio de S. Joam, que principia na falda do morro dos Canudos com o nome de Rio d'Agua Claras, mais caudalozo, e navegável por maior espaço que o Maccahé, corre como elle por entre matas, e montes, e desemboca sete léguas ao Siu doeste do mesmo, banhando a falda meridional da montanha do seu nome”. Exporta-se por elle grande quantidade de madeira. O rio das Curubichas, e o do Bannanal engrossam-no pela esquerda. O Bacaxá, que principia na Serra de S. Anna com o nome de Rio do Oiro, une-se-lhe na margem direita por duas bocas, havendo formado pouco acima ura grande lago, onde desagua o Capivari, que vem da mesma Serra por entr'elles. Abaixo desta confluência, que fica pouco mais de três léguas em

linha recta longe do mar, desemboca o rio Ipuca, que principia perto do Maccahé, e forma uma considerável Ilha; depois o rio da Lontra, e ultimamente o Doirado, junto do qual ha um Jiquitibá, cujo tronco tem cincoenta e seis palmos de circumferencia. Todos três sam navegáveis, e se lhe encorporam pelo lado septentrional.

A condição do rio São João como principal via de transporte de produtos seguiu até meados do século XIX, sendo extinta após a construção da Estrada de Ferro Leopoldina (BARROS, 2007), que se expandiu até o norte fluminense na transição para o século XX, passando pela cidade de Indaiassu, atual Casimiro de Abreu.

Em conjunto a isto, a bacia do rio São João passa por uma notável mudança em suas atividades e usos após a Lei da Abolição da Escravatura de 1888, que causou um enfraquecimento econômico regional e que levaria as terras da bacia a um novo tipo de utilização no século seguinte (CUNHA, 1995).

Na primeira metade do século XX, embora não seja farta a quantidade de registros para a região, as relevantes descrições de Lamego (1946, p.20) ajudam a montar um imaginário acerca das características populacionais e ambientais da bacia para a época, onde ficam evidentes também o condicionamento que o ambiente exercia sobre as ações do homem:

Por várias dezenas de quilômetros de seu curso, da foz para montante, é êle marginado de brejais imensuráveis. Morros como o São-João, o da Ipuca e o da Sobara, semelham de longe ilhas na paisagem deprimida. O grande pântano do Alvarenga com duas léguas de extensão e três de largo, forçou o traçado da Estrada de Ferro Leopoldina a um longo arco entre Casimiro-de-Abreu e Poço-d'Anta, e ainda por numerosos quilômetros prolonga-se êle rio acima pelo pântano da Pelonha marginalmente ao Maratuã e entre altas morrarias que se entroncam ao sul de Friburgo num galho da cordilheira.

Quem atravessa essa região tenebrosa por estrada de ferro, o que guarda apenas na memória são montanhas negras de florestas ou capoeiras e incomensuráveis tremedais. Cenários primitivos de rudeza indescritível. Raríssimas cabanas deploráveis, perdidas sobre encostas de sapêzais. Poço d'Anta, é uma insignificante serraria, três ou quatro casinholas e uma capelinha em ruínas. Juturnaíba um amontoado de casebres quase a tremerem de maleitas conquanto à beira de um lago encantador.

Quanto à economia, Cunha e Freitas (2004) denotam que o litoral da bacia apresentava até a década de 1950 atividades como a pesca artesanal na barra do rio, a exportação do carvão extraído da mata de restinga e do Morro São João, além da fabricação de canoas para as comunidades de pescadores de toda a região. Já em sua porção mais continental, até meados de 1960 a economia local era baseada principalmente na produção de

cítricos, pesca e a criação de gado (LIMA-GREEN, 2008). Além disto, Bernardes (1957, apud CUNHA, 1995, p. 167) destaca o forte desmatamento na bacia, com amplas áreas de vegetação secundária baixa, desmatamentos em encostas e com vegetação arbórea preservada apenas em encostas elevadas da Serra do Mar.

As décadas de 1950 e 1960 representam simbolicamente um marco histórico para a região, pois é a partir deste vintênio que se iniciam as grandes obras e ações que impactam diretamente na bacia do rio São João. Ao longo destas décadas o rio São João e alguns de seus principais afluentes foram retificados, predominantemente nas regiões do médio curso dos canais, a partir de obras realizadas pelo extinto Departamento Nacional de Obras e Saneamento – DNOS. Estas obras tinham o objetivo de facilitar a construção da rodovia federal BR-101, além de aumentar áreas de cultivo na região e solucionar problemas de saúde relacionados as inundações que ocorriam nas extensas planícies presentes na bacia (MEDEIROS, 1987). Concomitantemente, o processo de urbanização da mesorregião das Baixadas Litorâneas foi intensificado a partir de mudanças estruturais de acesso à região, como construção da Ponte Presidente Costa e Silva² e da supracitada BR-101 (LIMA-GREEN, 2008), além do asfaltamento da Rodovia Amaral Peixoto, conhecida como RJ-106 (BARROS, 2007).

Já na década de 1970, com o processo de urbanização se consolidando através do parcelamento do solo para construção de residências de veraneio e invasões nas áreas menos valorizadas, como zonas de mata de restinga e manguezais (BARROS, 2007), tem início a construção da Represa de Juturnaíba sob responsabilidade da empresa Engenharia Gallioli e com execução da Construtora Queiroz Galvão. Esta obra tinha por objetivo o represamento das águas da bacia para utilização doméstica e para cultivo (CUNHA, 1995) e transformaria a lagoa, homônima a represa, com massa d'água de 3,7 km de comprimento por 1,6 km de largura e profundidade média de 4m, em uma represa com área de aproximadamente 31 km² e profundidade máxima de 11m.

Ainda nos anos de 1970, um grande desmatamento foi desencadeado em virtude da expansão madeireira na região, em especial para a produção de carvão e extração de imbuia (Id., p. 151). Nesta época também foi criado um dos principais órgãos estaduais de gestão de meio ambiente e recursos hídricos: a Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente (FEEMA), que atuou junto ao DNOS visando monitorar os impactos ambientais na região e

² Construída entre os anos de 1968 e 1974 e popularmente conhecida como Ponte Rio-Niterói.

interferiria para mitigá-los (PRIMO; VOLCKER, 2003). O órgão agiu também para a criação da Reserva Biológica Poço das Antas³ em 1974, que tem como objetivo preservar a biodiversidade local, que possui várias espécies endêmicas e ameaçadas de extinção, especialmente o mico-leão-dourado (MMA, 2008).

Entre os anos de 1970 para 1980, foram idealizadas, projetadas e iniciadas obras para a construção de diversas valas nas planícies do rio São João para dissecar os brejos na baixada à jusante da represa. Ainda dentro do período supramencionado, em decorrência da disparidade do balanço sedimentar gerado pelas retificações, foram instalados pontos de extração e mineração de areia ao longo do alto e médio curso do rio São João e seus afluentes (CUNHA 1995; OLIVEIRA; MELLO, 2007).

No decorrer da década de 1980, Cunha (1995) destaca o desmatamento florestal em regiões montanhosas, principalmente nas áreas elevadas dos afluentes da margem esquerda do rio São João. A referida autora ainda destaca a substituição de florestas por cultivos como banana e mandioca, da contínua demanda de carvão e madeira para uso urbano e industrial, além do alastramento da pecuária extensiva ao longo da bacia.

Neste mesmo período, mais propriamente em 1984, foram finalizadas as obras da Represa de Juturnaíba, que tinha como principal objetivo o acúmulo de volume de água, direcionado principalmente para o abastecimento domiciliar. Em relação ao trecho da bacia a jusante da represa, a finalização das obras significaria um maior controle sobre as cheias e forneceria água para irrigação do lavradio, majoritariamente caracterizada pelo cultivo de cana-de-açúcar para produção de álcool, incentivada pelo Proálcool⁴ e pela produção de arroz irrigado (RIBEIRO, 2016).

Lima-Green (2008) descreve que anteriormente ao represamento, cerca de 30 famílias viviam da pesca na lagoa, que também era uma importante opção de lazer da população local. Em relação a fauna, a lagoa de Juturnaíba servia de habitat para aproximadamente 34 espécies de peixe, entre outros animais, que após a conclusão das obras não possuíam mais acesso à área agora ocupada pela represa.

Ainda na década de 1980, com o objetivo acabar com os imensos brejos a jusante da barragem, para assim aumentar as áreas de cultivo na região e melhorar as condições de saneamento básico e saúde da região, o DNOS realizou a retificação do baixo curso de dos

³ REBIO Poço das Antas, com área de 5.052 hectares e totalmente inserida na bacia do rio São João.

⁴ Programa Nacional do Alcool, financiado pelo governo do Brasil a partir de 1975.

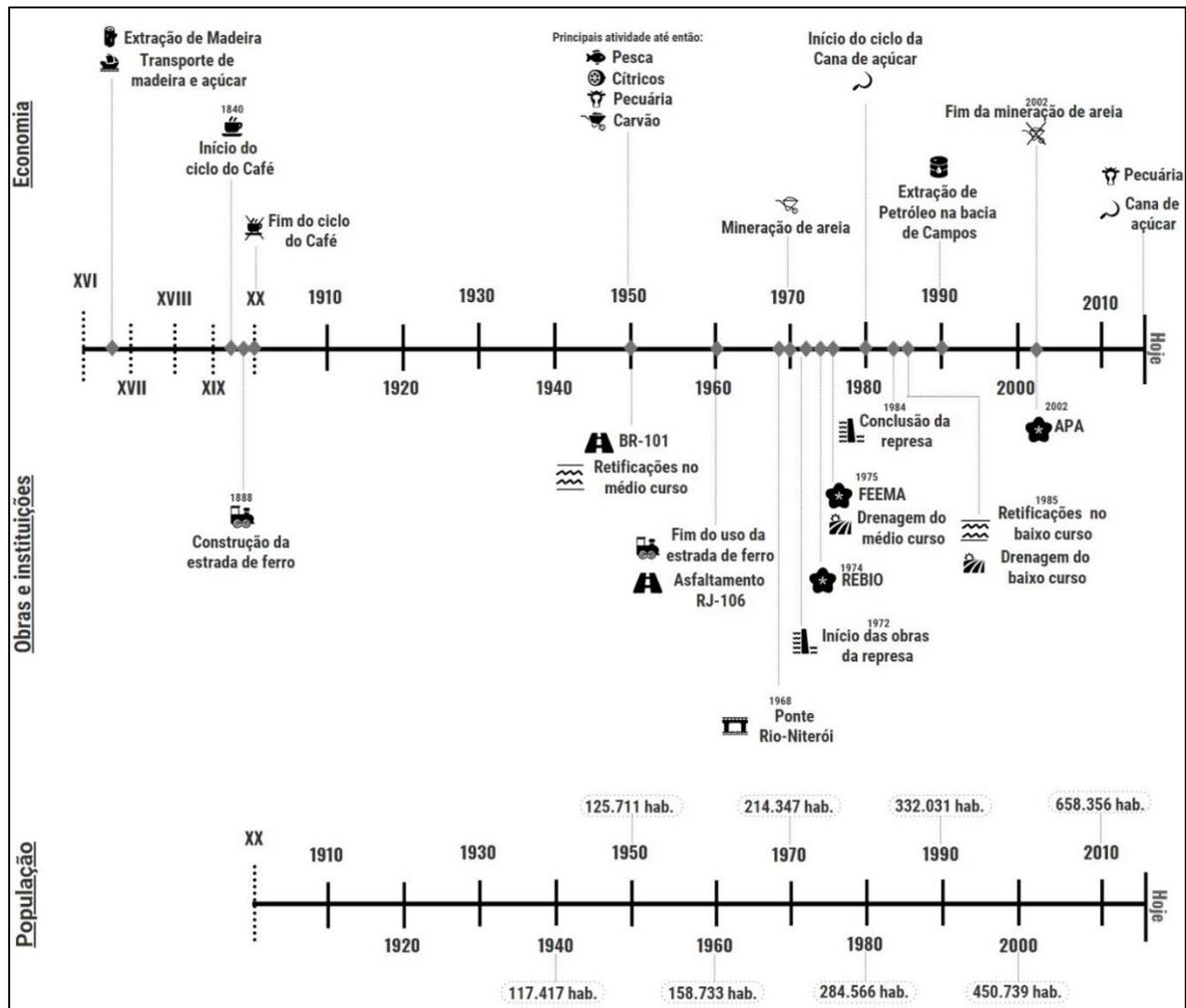
rios Aldeia Velha, Dourado, entre outros e também construiu um canal reto de 24,5 km, direcionando o fluxo proveniente da represa e que anteriormente formava o baixo curso do rio São João, cortando a sua planície e o ligando ao ainda existente trecho meandrante do rio na região mais próxima à foz.

Já no fim do século XX, devido a atividade de extração de petróleo na Bacia de Campos, houve uma nova expansão populacional para região (LIMA-GREEN, 2008), consolidando de vez a população residente na região. Quando esta nova dinâmica populacional é associada à já recorrente população flutuante⁵ da mesorregião das Baixadas Litorâneas, isto gerou uma alta taxa de ocupação que exercia acentuada pressão sobre o meio natural, resultando em uma elevada degradação ambiental, caracterizada pelo traçado irregular dos povoamentos e pela supressão de vegetações naturais e ribeirinhas, como restingas e manguezais (BARROS, 2007).

No século XXI, a partir das atividades e modificações ao longo da história na bacia do rio São João, é possível traçar uma relação direta entre as alterações ocorridas e a dinâmica populacional temporalmente variável, conforme exposto na Figura 9. Atualmente residem na área da bacia aproximadamente 660.000 pessoas (IBGE, 2010), sendo sua ampla maioria nas áreas urbanas localizadas ao longo das planícies costeiras, contudo este quantitativo sofre um aumento significativo ao longo do verão e em épocas festivas, devido ao turismo para a região (BARROS, 2007).

⁵ Veraneio.

Figura 9 – Linha do tempo das principais atividades econômicas, modificações, influências e do crescimento populacional na bacia do rio São João



Fonte: IBGE (1940, 1950, 1960, 1970, 1980, 1991, 2000 e 2010). Elaborado por Rodrigo Correia dos Santos.

Hoje, a maioria dos municípios da região são abastecidos pelo Reservatório de Juturnaíba, que tem suas águas transpostas para a Lagoa de Araruama, na ordem de $1\text{m}^3/\text{s}$ ininterruptamente (TCE/RJ, 2007) e é gerida pela empresa Águas de Juturnaíba. Além disso, enfrentam entre tantos problemas gerados ao longo do tempo, o assoreamento da represa, o baixo investimento em infraestrutura de saneamento e principalmente a poluição do rio São João e de seu lençol freático por agrotóxicos e esgoto humano (PRIMO; VOLCKER, 2003).

Sobre a biota local, é possível perceber a perda e destruição de habitats naturais, redução das matas ciliares, alteração da permanência dos mangues e o desaparecimento das florestas de várzeas (BARROS, 2007), e ainda a simplificação da taxocenose dos peixes devido a homogeneização dos canais (JARAMILLO-VILLA, 2010).

Em termos de conservação e preservação, hoje a bacia é gerida pelo Comitê das Bacias Hidrográficas dos Rios São João, Una e Ostras, criado em 2004, mas sendo importante pontuar que apenas no ano de 1999 que a bacia recebeu seu primeiro projeto de gestão ambiental, através do Consórcio Lagos São João (LIMA-GREEN, 2008).

Ainda, apenas em 2002 com a criação da Área de Proteção Ambiental (APA) do Rio São João-Mico Leão Dourado, que possui 1.507 km², que foi possível por meios legais a proteção de parte da bacia, embora Reis et al. (2009) demonstre que se aplicadas as leis ambientais brasileiras, aproximadamente 1/3 da APA deveria estar com os remanescentes florestais protegidos, o que de fato não estão.

3.3 – Trabalhos anteriores

É importante destacar nesta pesquisa a existência de trabalhos sobre a bacia e região, os quais foram utilizados ao longo deste estudo devido a sua função de demonstrar a relevância ambiental e social da bacia. São trabalhos que trazem informações, diretas e indiretas, aos processos fluviais e foram importantes para as interpretações das informações sobre a geomorfologia fluvial da bacia do rio São João.

O trabalho de Cunha (1995), refere-se a sua tese de doutorado onde são abordadas as variadas e sucessivas retificações no canal do São João e seus afluentes, que foram responsáveis por inúmeras modificações no sistema, entre elas a erosão de afluentes, perda de habitats naturais e mata ciliar, diminuição da rugosidade do leito e a transformação de meandros em bacias de decantação. Ainda segundo a autora, a conversão da Lagoa de Juturnaíba em um reservatório do mesmo nome, que apresentam predominantemente impactos irreversíveis/ ou que necessitam um longo período para sua recuperação ou atingir um novo estado de equilíbrio.

O trabalho de Oliveira e Mello (2007) em forma de artigo, pontua os impactos ambientais na bacia decorrentes da mineração de areia no rio São João, analisaram tanto mudanças na forma do canal quanto a relação do uso da terra. Os autores chegaram à conclusão que em conjunto aos outros fatores analisados, a extração de areia era um impacto ambiental secundário, uma vez que estava sendo exercida em uma região já ambientalmente fragilizada, pois impactos mais incisivos como o desmatamento e retificações, tornavam necessário a manutenção de suas condições ambientais antes de qualquer atividade econômica extrativista.

A tese de Seabra (2012) analisou em seu estudo a paisagem da bacia do rio São João em relação a favorabilidade à recuperação florestal na região, que foi classificada como moderada à baixa em suas análises. Isto se deve a constatação de que um terço da área da bacia passou por mudanças de uso e cobertura da terra nos 35 anos analisados, mas que mais da metade das áreas de pastagem de toda a bacia estão presentes na paisagem desde antes de 1975, principalmente nas planícies fluviais que foram caracterizadas por serem as unidades em pior estado de conservação e com menor favorabilidade a recuperação florestal.

Já a dissertação de Pimenta (2014) analisou o sistema fluvial no alto curso do canal, reconstruindo parte de sua história e aponta consequências na espacialidade do rio a serem analisados em estudos de renaturalização de ambientes fluviais. Foi identificada a mudança da localização sobre onde há maior densidade de drenagem, a homogeneização no número de canais e nos tipos de subambientes além de uma maior sensibilidade às transformações nas paisagens das planícies aluviais, onde o canal passou a ser em grande parte retilíneo onde anteriormente era sinuoso. Sendo concluído que os canais fluviais não devem ser restaurados criando fisicamente um desenho desejado, mas este deve estar baseado em preceitos científicos que evidenciam a forma e as dimensões dos rios como reflexo de seu suprimento de água e sedimentos.

IV – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO-CONCEITUAL

4.1 – Canais fluviais: Formas e Processos associados

A Geomorfologia é uma ciência que estuda as formas de relevo e os processos existentes na superfície da Terra. Ela é composta pela interação de elementos que moldam a superfície de acordo com os componentes e processos geológicos formadores da estrutura que embasa o relevo (LEOPOLD *et al.*, 1964; CHRISTOFOLETTI, 1990).

Adentrando suas ramificações e segmentações, existem estudos geomorfológicos mais particulares e voltados para diferentes componentes do relevo terrestre, e um deles é a geomorfologia fluvial, que baseia seus estudos nas interações entre formas e processos de canais em uma escala de espaço e tempo (CHARLTON, 2008), relacionando cursos d'água e seu escoamento, como também as características e relações existentes dentro das bacias hidrográficas (SCHUMM, 2005).

Os estudos fluviais abrangem um conjunto complexo de processos que produzem uma variedade diversificada de formas e ambientes, como também a influência de configurações e eventos passados que possam explicar a presente forma dos rios e sistemas fluviais (CHARLTON, 2008). Contemplam o que talvez seja um dos componentes mais dinâmicos da natureza, pois a quantidade de elementos, processos e formas construídas através da dinâmica fluvial e conjunto ao tempo, permeiam por todo o globo terrestre e seus variados ambientes (SUMMERFIELD, 1991).

Por sua eminente importância, os estudos sobre canais fluviais e a sua importância datam dos primórdios das civilizações, baseando-se quase sempre na relação sociedade – rio, que é uma das mais antigas formas de vinculação a qual a sociedade tem com o meio ambiente, demonstrando a dependência humana sobre os canais de escoamento quanto também a respeito de sua conexão com os impactos sobre os canais fluviais (GREGORY; WILLIAMS, 1981).

Os canais fluviais correspondem a parte da malha fluvial organizada que reflete a eficiência das principais linhas de energia e fluxo de matérias através do sistema (CHORLEY, 1969). Eles são integrantes do ciclo hidrológico e se dão na forma de redes de escoamento, com a capacidade de transporte de sedimentos, dependendo do tipo de partícula e de suas próprias características (STRAHLER, 2000).

Seus atributos estão submetidos a controles pretéritos a formação dos sistemas fluviais a qual fazem parte, contudo, por meio das relações e processos existentes em sua evolução, estes condicionantes possuem significativa importância para a modelagem da superfície terrestre, através das ações e dinâmica dos canais fluviais (LEOPOLD; WOLMAN, 1957; SCHUMM, 1977; BRIERLEY; FRYIRS, 2005).

Segundo Leopold *et al.* (1964), Summerfield (1991) entre outros, os canais são distinguidos por terem leitos aluviais e rochosos, ainda assim, contendo muitos canais sendo formados por uma combinação de ambos. Por definição, os canais rochosos são aqueles formados sob as rochas mais resistentes à erosão e que possuem movimentação limitada a zonas de rochas menos resistentes.

Já os de leito aluvial, são os formados por sedimentos e possuem uma alta variabilidade devido a potenciais mudanças no fornecimento de sedimentos, influenciadas pela mudança tanto no fornecimento da mesma, quanto pela diferenciação dos tipos de sedimentos e de mudanças de regime de fluxo.

Assim, se faz importante entender e diferenciar os três principais processos relacionados à escala do canal e aos fluxos: a erosão, transporte e a sedimentação. Estes três processos são os responsáveis pela reformulação do relevo terrestre e podem ser estudadas em diferentes localizações e bacias hidrográficas ao redor do planeta Terra (HUGGET, 1980).

De acordo com Brierley *et al.* (1999), estes processos geomorfológicos determinam a estrutura ou molde físico de um sistema fluvial, provendo a estrutura sobre a qual uma ampla gama de processos biofísicos irá interagir. Dentro da escala do canal⁶ estes processos se alternam com o decorrer do tempo e do espaço, sendo definidos pela distribuição da velocidade e turbulência do fluxo dentro do canal (CUNHA, 2011), que aliado ao fato de serem processos dependentes entre si, faz com que resultem em uma atividade dinâmica, gerando constantes mudanças e adaptações do relevo.

A sedimentação, é a atividade onde o sedimento, que pode ser formado por diferentes materiais (proveniente de diferentes tipos de leito, podendo ser rochosos ou aluviais) e com tamanho e características variados, é depositado no leito fluvial ou nas paredes do canal a partir da ação do transporte sedimentar, realizado a partir da ação de atividades erosivas sobre suas partículas e agregados.

Este processo está diretamente conectado ao processo de entalhamento, pois segundo Christofolletti (1990) o entalhamento e a deposição são dois processos que atuam modificando a forma do canal promovendo o ajuste entre as diversas variáveis em um curto lapso de tempo. Quando estes dois processos envolvem tendências gerais sob longos períodos de tempo, costuma-se descrevê-los pelo uso dos termos de agradação e degradação.

Este processo atua de formas distintas sobre os sedimentos: através de ações corrosivas e corrasivas, causando tanto a dissolução quanto a redução dos sedimentos, respectivamente, e também através do impacto hidráulico da água sobre rochas e sedimentos (SCHUMM, 2005). Facilitando assim tanto o fornecimento e entrada de sedimentos, quanto o transporte dos mesmos, o que conseqüentemente aumenta a disponibilidade sedimentar para outros segmentos do mesmo sistema.

Segundo Christofolletti (1990), o transporte sedimentar é um processo controlado pelos fatores hidrológicos, que são: quantidade e distribuição de chuvas, topografia, condições geológicas e cobertura vegetal. Estes fatores influenciam na intemperização dos materiais e o

⁶ Escala de análise que tem o canal fluvial como elemento central, focando seus processos e formas.

carregamento para/por parte dos rios. Assim, através destes fatores, a transferência de sedimentos se dá através de três formas: [A] suspensão, onde as partículas são mais finas e são carregadas em suspensão em meio ao fluxo turbulento. [B] Junto ao leito, representando os sedimentos com tamanhos maiores, que saltam ou deslizam longitudinalmente ao longo do canal e [C] dissolvidos, tendo suas partículas sendo transformados em componentes da própria água ou de outros elementos existentes no canal fluvial.

Já em relação a ação dos fluxos dos canais, condicionante e condicionado pelos processos, estes podem variar entre fluxo laminar onde o canal apresenta velocidade lenta e uniforme, sendo característica do baixo curso dos rios ou fluxo turbulento, onde as velocidades apresentam seus valores mais críticos além de maiores capacidades de transporte, relacionadas às zonas do alto e médio curso de um rio (CHRISTOFOLETTI, 1990; FRYIRS; BRIERLEY, 2013).

Schumm (1977) ressalta as condições de resistências das estruturas ao fluxo, uma vez que a rugosidade do material que compõem o leito e as margens em conjunto as configurações topográficas do canal, se apresentam como condicionantes a dinâmica do fluxo. Esta resistência só é ultrapassada quando os mecanismos de transporte e os processos morfogenéticos que atuam no rio possuem força suficiente para ultrapassar esta resistência.

Uma vez atingida esta condição, torna-se mais fácil a esculturação do canal, caracterizando a topografia do leito com uma rápida mutabilidade e de natureza deformável, sendo esta característica de alta capacidade de transformação transmitida e observável através da fisionomia do canal ao longo de toda sua extensão (CHRISTOFOLETTI, 1990).

Assim, a ação dos processos fluviais e/com a mudança do tipo de fluxo, indo do turbulento para laminar, ocorre o processo de deposição, onde as partículas transportadas tanto em suspensão quanto junto ao leito são alocadas em determinadas regiões do canal fluvial. É proveniente da deposição e agregação de sedimentos que se tem origem às formas deposicionais de um sistema fluvial, provenientes de todo o sedimento erodido e transportado, que ao longo do perfil longitudinal e que vão sendo direcionados para zonas de deposição, transformando-se em ilhas, barreiras, planícies de inundação, terraços ou deltas (HUGGET, 2011).

Estas formas geradas através da deposição de sedimentos são diretamente relacionadas a descarga dos canais fluviais e configurações de vale existentes, sendo necessário, por exemplo, vales parcialmente confinados ou não confinados para a existência

de planícies de inundação. Em outros casos, outras características de vales são fundamentais para a formação de terraços fluviais. Sendo estas duas feições, as principais feições deposicionais, mas não as únicas, quando referentes a processos fluviais.

A planície de inundação, que é definida por Leopold *et al.* (1964) como uma área restrita com relevo suave, ao longo da borda do canal fluvial, sendo inundada em eventos fluviais de magnitude elevada e nestas zonas do sistema fluvial há a maior parte dos processos fluviais. É nela que muitas vezes ocorrem as atividades de erosão e deposição de sedimentos, tornando-a um exemplo de toda a capacidade evolutiva e da continuidade do regime fluvial a partir da ação de seus processos.

Com o passar do tempo, um canal fluvial continua a sua ação de entalhamento, transporte e deposição ao longo do tempo e do sistema, fazendo com que regiões de planície que se distanciam da calha atual do canal, se consolidem e passem a sofrer outras influências do meio. Assim surgem os terraços fluviais, descritos por Leopold *et al.* (1964) como uma área aproximadamente plana que é limitada pela inclinação das superfícies nos lados de cima e de baixo, sendo eles antigas planícies que são deixadas nos lados do vale após a queda do nível de base do rio.

Segundo Charlton (2008), os terraços fluviais podem ser diferenciados em dois tipos, os aluviais ou de acumulação, localizada nos pisos dos vales e preenchida por aluvio. Eles passam a existir após a erosão vertical que cortam as planícies e os deixam encalhado nos lados do vale. Já os terraços rochosos, começam em vales onde um rio corta a rocha para produzir um vale em forma de V. Uma fina camada de cascalho geralmente cobre a superfície plana, erodida lateralmente. As bases rochosas são cortadas pela erosão lateral durante os intervalos de entalhamento, deixando os terraços rochosos em suas laterais.

Quando associados os processos que ocorrem nos ambientes fluviais com a formação e evolução das feições na geomorfologia fluvial, fica assim exposto a correlação entre os elementos existentes. Estas relações demonstram como a modelagem do relevo vai ocorrendo, através dos ajustes morfológicos constantes que existem dentro de um sistema fluvial. Estas modificações se dão de forma dinâmica e contínua, atuando sobre a morfologia dos rios, nas características dos sedimentos, no regime de fluxo e na vegetação marginal, de tal maneira que, uma modificação em um dos elementos que compõem um o sistema fluvial, pode modificar outras partes do mesmo, impactando diretamente na viabilidade e funcionamento dos ecossistemas aquáticos e de todo o sistema (BRIERLEY; FRYIRS, 2000).

É na conexão entre os elementos que compõem um canal fluvial e um sistema fluvial, que estão às bases para o entendimento das formas e processos do sistema. A interação entre os componentes de um sistema geomorfológico faz parte das relações de formas-processos, que segundo Schumm e Lichty (1965), atuam e se alteram em função do tempo e do espaço, de forma dinâmica e interdependente. Este dinamismo representa o funcionamento natural dos processos, que agem sob os canais e os sistemas e denotam a evolução contínua de um sistema fluvial, demonstrada através das adaptações e ajustes de um rio, ao longo de uma determinada escala temporal (BRIERLEY *et al.*, 1999).

Esta tendência a modificações, que compõem a evolução natural de um rio, está diretamente ligada à aptidão do sistema em responder a eventos de distúrbio (como deslizamento de terra que geram uma carga de sedimento não suportada pelo canal, ou ainda, chuvas de magnitude fora dos padrões para a região), podendo gerar mudanças que ocorrem quando um rio sofre alterações na relação de suas formas e processos convencionais (SCHUMM, 1969). Faz-se necessário assim, compreender as respostas de um sistema frente a eventos extremos, pois são seus efeitos que definem a trajetória de evolução de um rio (BRUNSDEN; THORNES, 1979).

As respostas de um sistema fluvial, assim como sua perspectiva de evolução, são demonstradas através de suas formas e processos associados, que respectivamente, ao longo de sua ação e suas modificações apresentam a cada momento um novo “presente” para a realidade do referido sistema (FRYIRS, 2017).

Esta constante adaptação dos sistemas fluviais e de seu relevo, em conjunto a integração existente entre os variados elementos do meio, demonstram como canais fluviais podem ser extremamente diversos, com diferentes configurações e trajetórias. O que dentro da ciência geomorfológica, não apenas a fluvial, traz uma importante etapa metodológica, que consiste em tentar ordenar “objetos” de características comuns de modo a distingui-los dos seus similares.

4.2 – Classificações de rios

Dentro das ferramentas e técnicas disponíveis e utilizadas pelas ciências, referentes ao entendimento dos objetos estudados, a classificação não apenas representa um artifício capaz de melhorar o entendimento do conhecimento gerado, como é parte importante e frequentemente presente nos estudos científicos, não sendo distinto na geomorfologia.

Em termos gerais, a classificação geomorfológica pode ser entendida como o agrupamento e ordenação de elementos com características comuns, referente ao relevo. Isto se deve ao fato de muitos objetos de estudo científicos apresentarem muitas características e particularidades quando ocorrem no meio, denotando a classificação a eficiência por ser uma forma de distinguir os objetos representativos existentes.

Na geomorfologia fluvial, o ato de organizar possui um papel muito importante dentro da ciência geomorfologia, uma vez que, os rios são elementos da paisagem extremamente diversos, que refletem diferentes configurações de relevo, clima e geologia (CHARLTON, 2008) e possuem em seu cerne, um caráter interdisciplinar e multifocal. Uma das características mais importantes e inerentes a cada esquema de classificação é o seu objetivo, já que classificações distintas possuem finalidades distintas, oriundas principalmente da filosofia de pensamento predominante na época de sua criação.

Segundo Buffington e Montgomery (2013), classificações geomorfológicas em geral são bastante descritivas, sem articular suas descrições a seus processos associados e formadores. Já classificações baseadas nos processos fluviais, podem ser usadas para simplificar o complexo contínuo de processos e condições dentro de uma paisagem que funcionem de forma semelhante, fornecendo uma estrutura para testes de hipóteses e oferece muito mais do que apenas uma ferramenta de inventário (BUFFINGTON; MONTGOMERY, 2013).

Tendo em vista a elevada possibilidade na variabilidade quando a temática é o ato de classificação, não é surpreendente que as tentativas de classificar os rios resultem em uma grande variedade de esquemas de classificação (KONDOLF *et al.*, 2003). Isto fez com que, ao longo da evolução do conhecimento em geomorfologia fluvial, fossem observados importantes esquemas de ordenação dos canais fluviais e suas tipologias, contendo a seguir, algumas das mais relevantes e principais em termos de cronologia do pensamento geomorfológico fluvial.

Gilbert (1914) apresentou uma divisão baseada na diferenciação do tipo de leito dos canais aluviais ou rochosos, onde a principal consequência/fator era a zona de produção de sedimentos e capacidade de transporte dos mesmos. Horton (1945) e Strahler (1957) apresentaram a classificação de rios pelo ordenamento de fluxo, que possivelmente é a classificação descritiva mais empregada para canais fluviais. Ela classifica apenas a estrutura da drenagem estudada, fornecendo informações em baixa quantidade sobre processos e

morfologia. No entanto, é uma ferramenta de comunicação útil para descrever o tamanho e a localização dos canais relativos dentro de uma bacia (BUFFINGTON; MONTGOMERY, 2013).

Leopold e Wolman (1957) se utilizam de valores e limites de descarga do fluxo em conjunto a inclinação dos canais para separá-los em padrões, classificando-os em canais retos, meandantes ou trançados. Diversos autores, dentre eles Leopold *et al.* (1964) e Schumm (1969), apresentam tipologias quanto à forma espacial dos canais, o que segundo Charlton (2008), é explicado pelo controle existente entre o fornecimento e fluxo de sedimento para montante, assim fatores como: composição do leito, vegetação, largura e declividade do vale, entre outros. Todos esses controles variam tanto entre os rios quanto ao longo do mesmo rio e isso gera uma grande variedade de ambientes fluviais e formas de canais resultantes. Porém, três tipos de canais fluviais sobressaem e são os mais frequentemente encontrados na natureza e descritos ao longo do tempo nos estudos da geomorfologia fluvial: canais retilíneos, anastomosados e meandantes.

Os canais retilíneos, que são os canais que tendem a sofrer menos processos erosivos, devido a seu leito rochoso, que condiciona a sua forma menos espaçada no meio. Os canais anastomosados apresentam formas deposicionais e grande volume de sedimentos, por serem em sua maior parte, de característica aluvial e com grande volume de escoamento e transporte de sedimentos. Já os canais meandantes, apresentam-se mais divagantes na paisagem, por estarem inseridos em configurações de amplos espaços, que quando associados à sua composição sedimentar que é predominantemente aluvial, possibilita uma maior movimentação, o que segundo Leopold *et al.* (1964) é uma característica natural dos canais.

Schumm (1977) apresenta uma classificação dividindo o rio em três zonas relativas aos sedimentos, contendo: a zona de produção de sedimentos, a zona de transferência e a de deposição. Esta esquematização destaca o papel dos sedimentos frente aos canais fluviais, baseada em seu processo de movimento e relação geológica, mas apenas cria um zoneamento sem demonstrar as particularidades inerentes a cada bacia hidrográfica. Já Rosgen (1994), desenvolve uma classificação com base hierárquica, o que segundo Buffington e Montgomery (2013), representa uma das classificações mais utilizadas dentro da geomorfologia fluvial. Em seu esquema, Rosgen se utiliza de variadas escalas de análise, partindo de uma grande escala estrutural a uma escala dos processos físicos.

Posteriormente, Montgomery (1999) criou os chamados domínios de processos, em que áreas são dominadas por processos geomorfológicos comparáveis e característicos. Dentro destes domínios também estão inseridos processos de perturbação, morfologias e habitats. Kondolf *et al.* (2003) descrevem que estes domínios sugerem que dentro destas delimitações os processos que venham a ocorrer sejam semelhantes, mas grosseiramente, desconsidera o contínuo longitudinal de um canal. Ainda segundo Kondolf *et al.* (2003), isso mostra que “finalmente” as características geomorfológicas dos sistemas fluviais na região de estudo, passam a influenciar a classificação resultante.

Sob esta perspectiva e sob influência dos trabalhos de Rosgen (1994), Brierley e Fryirs (2005) apresentam uma classificação baseada em uma estrutura de estilos fluviais. Esta ordenação leva em consideração as influências da configuração da paisagem e posição dentro da bacia hidrográfica (CHORLEY, 1969), destacando o papel dos vales fluviais enquanto importante elemento perante o comportamento dos canais e quais características de forma e processos a eles são atribuídas.

Segundo Brierley e Fryirs (2005), o confinamento do vale atua como um controle primário sobre a diferenciação de zonas dos processos geomorfológicos ao longo dos rios. Assim, os vales se apresentam como um fator predominantemente participativo na formação e atuação dos rios frente ao relevo, a paisagem que o circunda e os processos que formam e caracterizam os canais fluviais.

A metodologia dos estilos fluviais também envolve também uma avaliação multi-escalar do canal e seus elementos, descrevendo os processos que ocorrem à escala de bacia até o nível do canal, diferenciando os segmentos que operam de forma “homogênea” a partir de uma hierarquia e correlação com os demais segmentos identificados.

4.2.1 – A metodologia dos Estilos Fluviais

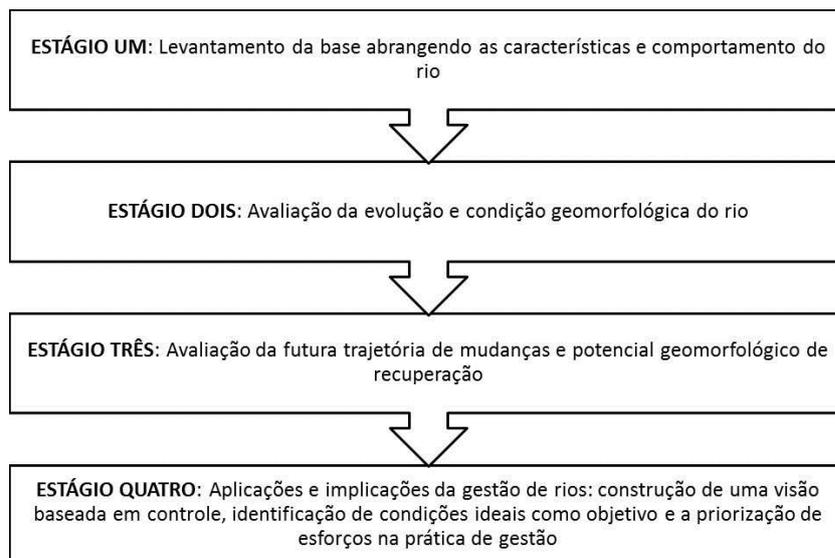
A metodologia foi desenvolvida em parceria com a Agência Australiana de Conservação da Água (ACWC), sendo marca registrada pela New South Wales Department of Land and Water Conservation e da Macquire University. Segundo Brierley e Fryirs (2005) é um esquema flexível, com etapas bem estabelecidas e baseado em observações e interpretações de características geomorfológicas e hidrodinâmicas do sistema fluvial. É uma abordagem em que aspectos morfológicos dos rios são levantados para que gerem uma

classificação de seus segmentos, contextualizando o rio dentro da bacia e da paisagem, tendo-o identificado como parte do sistema fluvial em evolução.

Esta metodologia representa um conjunto coerente de procedimentos que visam integrar os elementos de um sistema fluvial em seus diferentes níveis, desde a escala de recorte da bacia hidrográfica até as ações, vínculos e formas existentes nos canais. Ela proporciona uma avaliação da condição geomorfológica e de potencial recuperação, em diferentes classes de análise, se baseando na trajetória evolutiva e nas informações sobre a prospecção do futuro da bacia hidrográfica.

Estas informações podem ser utilizadas como subsídios para possíveis ações concretas quanto à restauração e gerenciamento de sistemas fluviais. Para alcançar este objetivo, são necessárias algumas etapas estruturadas, diferenciadas e correlacionadas em quatro estágios (Figura 10).

Figura 10 – Estágios da metodologia do Estilos Fluviais



Extraído e traduzido de Brierley e Fryirs (2005).

O primeiro estágio envolve a identificação, interpretação e mapeamento de cada estilo fluvial ao longo de uma bacia. Isso fornece uma linha de base, além do levantamento do caráter e comportamento do rio, o que inclui sua geometria e forma em planta e o comportamento, que é referente às suas relações com a planície, seus depósitos, tipo de material e possibilidades de mudanças geomorfológicas.

Cada estilo fluvial é inicialmente descrito por um conjunto distinto de características, analisado a partir da forma em planta do canal, da textura do material do leito e de suas

unidades geomorfológicas. A interpretação e identificação destas unidades detalham os processos que formam cada estilo, sendo diretamente refletido no comportamento do estilo.

O estilo fluvial e o padrão presente à jusante são avaliados em relação a paisagem e as ligações temporais e físicas que ocorrem durante os processos geomorfológicos. Essa análise das ligações ocorre entre diferentes níveis escalares e entre canal principal e afluentes, para assim, se obter informações acerca do que controla e qual é a taxa de ajuste deste determinado canal.

Concomitantemente a dinâmica e padrão de ajuste, há a avaliação do contexto de evolução do sistema, que representa o segundo estágio da metodologia. Isto implica em determinar, através de análise de dados históricos e imagéticos, como e qual a magnitude do ajuste que está ocorrendo ou pode ocorrer no canal estudado, a fim de se determinar consistentemente a condição geomorfológica e ecológica do rio.

Estas informações quando vinculadas, fornecem uma base que possibilita a interpretação de como será, provavelmente, o futuro deste rio. Isto se dá através da compreensão de como mudanças em um segmento da bacia pode/tem impactado em outros locais da mesma, e de que forma e quando isto poderá ocorrer.

Com estes dados e estes potenciais possíveis sobre o uso do material levantado, se torna possível avaliar o potencial de recuperação de cada segmento e cada estilo fluvial identificado, caracterizando assim o terceiro estágio metodológico. Já de posse destas informações, os princípios acima descritos fornecem um modelo geomorfológico passível de ser utilizado em atividades de gerenciamento, caracterizando o quarto estágio da metodologia.

A aplicabilidade desta estrutura é usada para identificar condições sobre a conservação do rio e/ou reabilitação de cada estilo fluvial, pois a estrutura criada fornece uma série de dados que podem ser utilizados, muitas vezes até de forma preventiva, por parte de programas e ações de gerenciamento. Lembrando que, como sistemas fluviais compreendem padrões únicos, tanto de características quanto de estilos fluviais identificados, com diferentes potenciais, as ações de conservação e planejamento são intervenções específicas para cada local.

Portanto, esta metodologia permite identificar as relações existentes dentro de um sistema fluvial, através da segmentação de um rio que poderá apresentar diferentes estilos fluviais ao longo do seu curso e contextualizar cada estilo identificado dentro da paisagem,

gerando o entendimento acerca da sua interação interna e externa. Com isso busca-se fornecer informações aptas a ações de planejamento e gerenciamento de sistemas fluviais.

E visando à diferenciação de distintas partes de um canal fluvial, baseando-se principalmente no reconhecimento de áreas com acentuada capacidade de ajustes que possibilitem a caracterização de áreas em uma bacia hidrográfica quanto a seus eventuais potenciais de mudanças, que esta metodologia foi escolhida para a pesquisa.

4.3 – Sensitividade da paisagem: identificando as mudanças e ajustes do sistema fluvial

A diferenciação, não só entre sistemas, mas entre os componentes e elementos que os formam trazem para a ciência desafios e novas perspectivas de entendimento sobre a atuação das relações dentro da natureza, configurando-se assim como uma das mais desafiadoras tarefas para o conhecimento científico. As complexidades das interações conferem uma dinâmica instável na formação contínua da paisagem e por conta desta variabilidade, métodos científicos são criados e constantemente repensados na tentativa de compreender as respostas e padrões gerados e vigentes nos ambientes que circundam e interagem com o ser humano. E entender estes processos e as mudanças a qual eles podem vir passar, torna inteligível a leitura do sistema da paisagem.

Contudo, as respostas geradas pelo sistema não advêm de lógicas matemáticas/lineares, devido à complexidade das relações sistêmicas, com a sua variabilidade da natureza, quanto aos distúrbios e estímulos existentes (LAKE, 2000). Sob esta perspectiva de entendimento da variedade das mudanças e adaptações que os sistemas são susceptíveis a vivenciar, o estudo da sensitividade da paisagem se apresenta como um viés capaz de ler e distinguir seus diferentes domínios e componentes frente à possibilidades de mudanças e como se sucedem suas ações.

A sua aplicabilidade e funcionalidade, segundo Fryirs (2017), lhe confere o título de conceito-chave devido a seu caráter integrador por possibilitar uma abordagem que abarque diferentes perspectivas e escalas de estudo e por ter em sua estrutura, a utilização e manutenção de diversos outros conceitos. Matematicamente, a sensitividade pode ser descrita como a razão entre dois diferenciais que expressam uma resposta, ou conseqüente a uma mudança de saída devido um estímulo ou por intermédio a mudança de uma entrada aplicada (DOWNS; GREGORY, 1993).

Já nos estudos da paisagem, a sensibilidade é definida pelas suas especificações, incluindo as forças de resistência, que caracterizarão sua propensão para a mudança e sua capacidade de absorver e responder a quaisquer forças perturbadoras (BRUNSDEN, 2001).

Buckley (1991) sugeriu que a sensibilidade relacionada ao ambiente se refere à relação entre tensões aplicadas e respostas ambientais. Já Downs e Gregory (1993) definem a sensibilidade de três maneiras:

- (1) Possibilidade de mudança - definida como a proporção de impulsionar e resistir á forças.
- (2) Probabilidade à mudança - definida como a proximidade do sistema para seus limites (intrínsecos ou extrínsecos).
- (3) Capacidade do sistema para recuperar de um distúrbio – medida como a razão do intervalo de recorrência para o relaxamento/recuperação. Isso pode ser usado como uma medida de persistência de mudanças, isto é, quanto tempo durou ou quanto as modificações serão eficazes e em quanto tempo ela se manifestará no sistema.

As forças de resistência são definidas por Brundsen (1993) como a capacidade de resistência em relação a uma mudança do estado inicial após uma perturbação. Brundsen (2001) faz menção a três tipos principais de resistência existentes em um sistema: (1) A resistência à força, que é a barreira à mudança conferida pelas propriedades e disposições dos materiais dos quais o sistema é feito. (2) A resistência morfológica, que é a distribuição variável de energia potencial através do sistema. (3) E a resistência do estado do sistema, que é a capacidade do sistema de resistir à mudança devido à sua história, uma vez que, cada sistema possui um padrão único de impulsos de mudança e eventos formativos.

Assim, a sensibilidade na paisagem é medida pela reação de cada parte e de cada resistência existente dentro do sistema. Porém, a resistência também é um fator variante entre sistemas, condicionada a magnitude e frequência das forças perturbadoras em relação à eficiência das barreiras à mudança. Estas forças perturbadoras ou eventos, também se dão de forma singular, tornando necessário compreender a natureza e comportamento dos eventos no espaço-tempo, ou seja, a distribuição da sua frequência, magnitude e duração (BRUNSDEN e THORNES, 1979).

Lake (2000) expõe a variação de magnitude e frequência destes distúrbios a partir de três categorias. Há os pulsos de perturbação, que são eventos de baixa frequência, duração limitada e alta magnitude que geralmente produzem efeitos locais. Perturbação de pressão,

quando há uma alteração contínua e das condições do limite de fluxo, não produzindo efeitos apenas localmente e sem padrão uniforme. E perturbação progressiva, quando há um crescimento contínuo dentro das escalas espaciais e temporais.

A ação destes eventos também se diferenciara de sistema para sistema, pois ao mesmo tempo em que dependerá das características intrínsecas ao próprio meio, as suas variáveis de frequência e magnitude se darão e impactarão de formas diferentes em distintos segmentos do meio.

Todas estas pré-disposições e possíveis resultados frente aos eventos irão variar também de acordo com o tempo de cada sistema para reagir e relaxar, que se dão através das relações de magnitude-frequência das perturbações (BRUNDSSEN; THORNES, 1979; CHORLEY *et al.*, 1984; FRYIRS, 2017).

O tempo de reação seria o tempo necessário para um sistema reagir a uma mudança de condições ou evento perturbador. Enquanto o tempo de relaxamento é o tempo necessário para o sistema atingir seu estado característico após o distúrbio (SCHUMM, 1991; FRYIRS, 2017).

Se a frequência de perturbação for menor do que o tempo de reação mais o tempo de relaxamento, então o sistema estará em constante estado de ajuste (RENWICK, 1992). E se a frequência de perturbação exceder o tempo de reação mais o tempo de relaxamento, então o sistema pode recuperar-se após o distúrbio.

Assim, em alguns locais as variabilidades destes eventos com capacidade de modificação podem gerar instabilidade no sistema, que resultando em aumento na magnitude e nas taxas de estresse sob os componentes da paisagem, ocorre um período de reajuste, onde os vários subsistemas responderão tentando estabelecer novos equilíbrios Downs e Gregory (1993).

É neste intervalo espaço-temporal de resposta, onde cada componente da paisagem promoverá a sua própria taxa e forma de mudança e que, segundo Brundsen (2001), uma vez as formas sendo as desenvolvidas, irão influenciar a sua própria perpetuação, aprimoramento e evolução do sistema. Em outros sistemas, embora seja possível que os eventos possuam frequência e/ou magnitudes elevadas, as características deste dado ambiente tenderão a atuar frente à manutenção do estado característico, denotando uma estabilidade na sensibilidade do sistema (FRYIRS, 2017).

Essa estabilidade, segundo Schumm (1991) é algo tão sensível quanto os potenciais de mudanças, pois após qualquer evento de perturbação, a sensibilidade de um sistema e de seus componentes pode mudar o que significa que essa sensibilidade em si é ajustável ao longo do espaço e do tempo.

Um dos fatores mais predominantes para este potencial de ajuste do sistema são os pré-condicionamentos existentes, que representam as mudanças e ajustes já ocorridos devido a eventos históricos, que atribuem ao sistema, com o tempo e com o reajuste da sua dinâmica, características mais sensíveis ou mais resistentes a futuros distúrbios. Com isso, este movimento histórico, cíclico e não linear, a partir da reação e propensão a mudança de cada parte do sistema em relação a todos e a cada evento modificador denotam as análises da sensibilidade características pertinentes à manutenção do meio, em termos da resposta dos sistemas de paisagem para a perturbação em diferentes tempos e escalas espaciais (DOWNS; GREGORY, 1993).

Já dentro da geomorfologia, os estudos de sensibilidade da paisagem encontram seu principal campo de análise na tentativa de compreensão e mensuração de ajustes e mudanças que o relevo é submetido a partir de diferentes estímulos. Downs e Gregory (1993) afirmam que a primeira utilização da sensibilidade dentro da geomorfologia foi em relação como a razão entre o evento perturbador para as forças de resistência existentes na paisagem, o que indica a propensão para a mudança e pode ter uma influência sobre a capacidade do sistema para absorver as mudanças.

Mas a definição mais largamente utilizada para abordagem da sensibilidade é a de Brundsen e Thornes (1979), onde: “a sensibilidade de uma paisagem a se alterar é expressa como a probabilidade que uma dada mudança nos controles de um sistema, que irá produzir uma resposta sensível, reconhecível e persistente. A questão envolve dois aspectos: a propensão para a mudança e a capacidade do sistema para absorver essa mudança”.

Com isso, o discernimento acerca das mudanças a qual a morfologia da paisagem pode enfrentar é distinguida a partir das respostas que os elementos sensíveis da paisagem fornecem e de que forma isto fica marcado em sua evolução com base na sua eficácia em absorver ou se adaptar aos estímulos sofridos. Em termos destas respostas e evolução do relevo, os canais fluviais são feições/agentes geomorfológicos bastante eficazes na modificação da morfologia terrestre.

Os estudos de canais fluviais relativos à propensão de mudanças e seu comportamento refletem assim como em estudos de sistemas da paisagem e de seus componentes, de que forma tais objetos de análise respondem de forma sensível a eventos de perturbação. Fryirs e Brierley (2013) definem a sensibilidade de um rio como à medida que o rio reflete a capacidade de ajustamento do sistema, na proximidade de uma condição de limite e o pré-condicionamento do sistema.

Assim, através de seus ajustes, mudanças e taxas frente a seus limites, são obtidas informações acerca da sua sensibilidade, de tal forma como definido por Reid e Brierley (2015). Assim, entender de que forma se dão e quais são estas respostas e taxas de ajustes para um canal, fornece também subsídio sobre a trajetória evolutiva do rio (FRYIRS e BRIERLEY, 2009). Em termos de respostas, Brierley e Fryirs (2005) afirmam que se uma resposta é frequente e rápida, o canal fluvial em questão é considerado sensível, porém se as respostas não tiverem padrão de frequência ou são irrisórias, o canal é considerado resistente à mudanças/ajustes.

Fryirs (2017) especifica que a propensão de um sistema fluvial a mudar é fundamentalmente determinada pela configuração de seus elementos dentro de suas escalas. Assim, ela distingue três tipos de sensibilidades que compõem um sistema:

(1) A primeira descrita é a sensibilidade morfológica, onde as unidades geomorfológicas são produzidas por um conjunto particular de processos que moldam e retrabalham o tamanho, forma e características da mesma.

(2) Estas formas morfológicas individuais possuem tipo de material e propriedades sedimentológicas também distintas, chegando assim à sensibilidade textural. São essas individualidades que denotam a sensibilidade a mudanças e aos processos. As medidas de sensibilidade textural também devem considerar a rugosidade de formas de relevo que proporcionam resistência ao ajuste. Elementos como o papel da vegetação e rugosidades da forma do leito podem anular a sensibilidade produzida apenas pela textura.

(3) Também existe a sensibilidade geométrica, que segundo a autora, está relacionada as unidades geomorfológicas que têm uma geometria característica e superfícies delimitadoras, ou seja, contatos erosivos ou de deposição. O seu efeito principal é como a forma média-característica se ajustará ao longo do tempo para acomodar a energia do sistema. Assim, em conjunto as escalas de análise das sensibilidades de um sistema, entender o

contexto do canal com sua extensão e sua posição e função na bacia hidrográfica se torna importante para o entendimento da abrangência dos processos a qual o rio participa e suas ligações com o meio.

Uma das formas de entender a conjuntura a qual um canal está inserido é através da sua conectividade, pois através das suas condições e de suas conexões com o sistema, que serão refletidas as respostas frente aos diferentes tipos de eventos (HOOKE, 2003). A conectividade em sistemas fluviais é definida por Brierley *et al.* (2006) como a transferência de matéria e energia entre diferentes compartimentos do sistema e serão as conexões entre diferentes segmentos e estruturas do sistema que condicionarão a propagação ou não dos eventos ocorridos. Segundo Fryirs *et al.* (2007), em sistemas conectados, os efeitos das perturbações são propagados através deles. Em contraste, em sistemas desconectados, as respostas são transmitidas de forma ineficaz.

Estas interconexões irão condicionar variáveis como fluxo e transporte de sedimentos, que em conjunto as interações com a vegetação, fornecerão respostas e condições para um equilíbrio entre impulsão e forças resistentes ao longo do traçado do canal, variando de segmento para segmento. Estas variações, conexões e diferenciações ao longo do canal são condicionantes diretos dos ajustes ocorridos em um rio, o que segundo Fryirs e Brierley (2013) e Fryirs (2017), denotam uma capacidade de ajuste descrita em três dimensões.

Em um canal fluvial existe a possibilidade de ajuste vertical, se referindo à estabilidade do leito fluvial. Há chance de ajuste vertical, que se refere à capacidade do canal em alterar seus bancos deposicionais e um terceiro tipo de ajuste, que seria em todas as escalas, atribuindo este ajuste a mudança de posição do canal no fundo do vale. Estes ajustes são definidos por Brierley e Fryirs (2005) como ajustes na morfologia, induzidos pelos mecanismos erosivos e deposicionais pelos quais a água molda, retrai e remodela formas fluviais, produzindo características de relevos na escala do segmento do rio.

As características do relevo e os ajustes morfológicos ocorridos ao longo de períodos de tempo refletem diretamente no comportamento de um rio, pois são estes elementos quando associados a condições de fluxo relativamente uniformes, que determinam um conjunto característico daquele segmento, em relação a sua forma e processo (FRYIRS; BRIERLEY, 2013; MARÇAL; LIMA, 2016).

A análise do comportamento dos rios junto à sua capacidade de ajuste já abrange inerentemente em sua estrutura, a sensibilidade do rio, o que segundo Fryirs (2017), toma por consideração as inter-relações e processos de ajuste com que as unidades geomorfológicas, água, sedimentos e a vegetação possuem dentro do regime comportamental esperado de um rio.

Este regime tem em seu arcabouço a concepção que os ajustes dos sistemas fluviais são uma característica natural, uma vez que enquanto sistemas dinâmicos e abertos, esta capacidade natural de ajuste é a demonstração da natureza mutável dos fluxos biofísicos que não provocam uma mudança grosseira no tipo do rio, de modo que o sistema mantenha um estado característico (BRIERLEY; FRYIRS, 2005). Esta manutenção/adaptabilidade das características é possível devido à existência dos limiares e resistências do sistema, uma vez que serão estes componentes os responsáveis por determinar a sensibilidade dos segmentos do rio, além de estarem interligados aos ajustes fluviais.

Nesse sentido, Reid e Brierley (2015) destacam os segmentos com limites sensíveis estão sujeitos a altas taxas de ajuste em resposta aos estímulos. Em contraste, os limites resilientes têm a capacidade de inibir a mudança ao absorver excesso de energia e também de minimizar a extensão do ajuste em resposta aos estímulos.

É a existência e os tipos de limiares que operam em um sistema que determina se um evento é geomorfologicamente eficaz e produz uma resposta (FRYIRS; BRIERLEY, 2013). A magnitude destas respostas um importante fator para a determinação da probabilidade de ajuste em um rio, se ele permanecerá dentro de sua dinâmica natural, voltando ao seu estado anterior com ajustes dentro do esperado ou se irá operar dentro de um novo regime de comportamento, sofrendo assim uma mudança.

Este novo regimento quando em operação, apresenta novas tendências comportamentais, quanto a processos e formas, alterando assim a sensibilidade do rio e de seus segmentos (FRYIRS, 2017), corroborando com Schumm (1969) que define a mudança fluvial de um segmento do rio como uma substituição indiscriminada em sua relação de forma e processo estabelecida.

Em conjunto a esta transição comportamental estimulada por mudanças no canal, novas funcionalidades podem ser introduzidas com o tempo devido a estes ajustes ocorridos (DOWNS; GREGORY, 1993), o que conseqüentemente ocasiona uma reordenação dos

elementos e formas sensíveis do sistema fluvial, confirmando o caráter ajustável da sensibilidade do rio ao longo do tempo e espaço, descrito por Schumm (1991).

Tanto os ajustes dentro do comportamento esperado quanto uma mudança de regime, atuam como variáveis na evolução e trajetória de um canal, sendo parte de um processo presente ou como um pré-condicionamento para futuros ajustes ou mudanças.

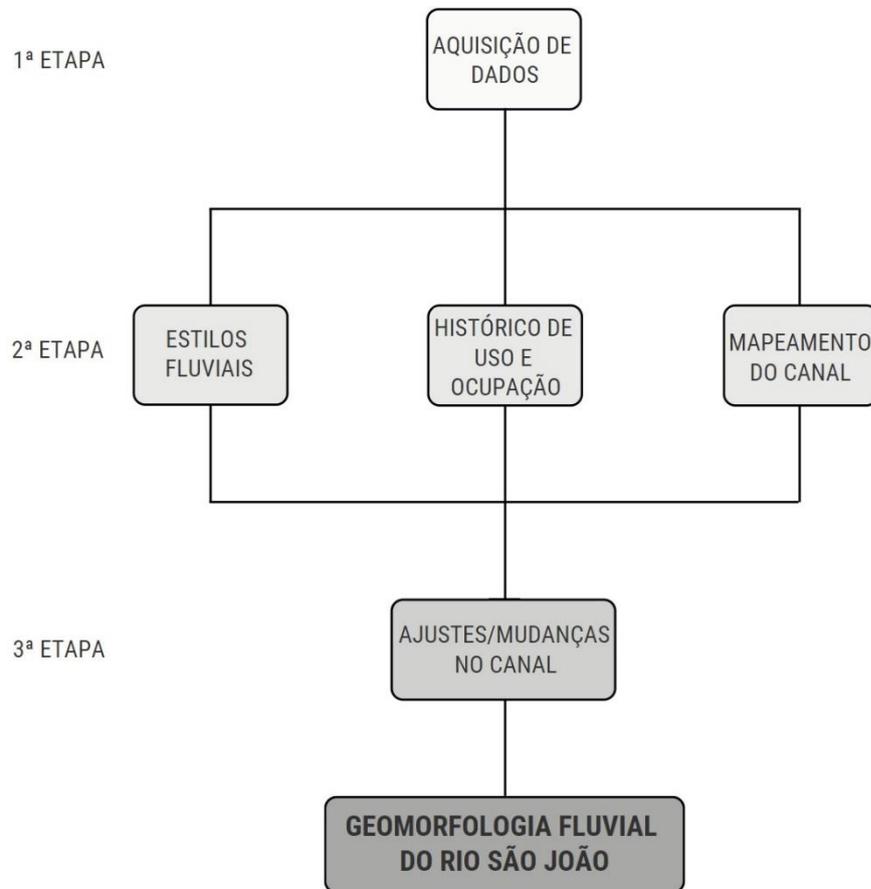
Estas pré-condições atuarão como um histórico, determinando não apenas as condições para eventos futuros, mas também se o rio será sensível a um distúrbio de determinada magnitude e frequência em diferentes estágios de sua evolução (FRYIRS; BRIERLEY, 2009; FRYIRS, 2017). Em outras palavras, segundo Brundsen (2001), os sistemas são considerados como contendo uma memória quanto à existência e eficácia aos eventos.

Assim, os eventos de perturbação são partes importantes da trajetória evolutiva de um sistema fluvial, devendo ser considerados como uma parte essencial da paisagem (BRUNDSSEN; THORNES, 1979), as quais deixam marcas ou indicadores morfológicos, que registram a história dos eventos anteriores e moldam e condicionam o relevo e a paisagem para eventos posteriores.

V – METODOLOGIA

A operacionalização da pesquisa (Figura 11) foi baseada em uma análise multi-escalar das formas e processos fluviais sob a perspectiva do seu contexto dentro da paisagem, além de uma análise multi-temporal de imagens e dados hidrológicos e de um levantamento bibliográfico sobre a história da bacia hidrográfica em questão. Contou também com apoio do banco de dados e infraestrutura do Grupo de Pesquisa em Dinâmica e Gestão de rios (GEOMORPHOS/UFRJ), com a utilização do Laboratório de Geomorfologia Maria Regina Mousinho de Meis/UFRJ, além do apoio do ESPAÇO – Laboratório Espaço de Sensoriamento Remoto e Estudos Ambientais do departamento de geografia da UFRJ.

Figura 11 – Fluxograma representativo da operacionalização da pesquisa



Elaborado por Rodrigo Correia dos Santos.

5.1 - Aquisição de Dados

5.1.1 - Pesquisa Bibliográfica

Foi realizado um levantamento bibliográfico para caracterizar a área de estudo quanto a seus aspectos ambientais e sociais, para assim compreender a sua configuração local, regional além dos seus principais processos acerca de sua dinâmica fluvial. Também foram realizadas pesquisas acerca da metodologia utilizada, a partir de projetos, artigos e pesquisas realizadas sobre a temática, entre eles Lima e Marçal (2013), Souza *et al.* (2016), Marçal *et al.* (2017), para assim consolidar o arcabouço prático e teórico utilizado.

5.1.2 – Material Cartográfico

Esta etapa teve como objetivo selecionar e adquirir os dados e bases necessários para as análises a serem feitas. Para isso, fez-se necessário a consulta de bases de dados de instituições públicas como CPRM, DRM-RJ, INPE, IBGE e Ministério do Meio Ambiente, além de grupos de pesquisa de universidades públicas como do Grupo GEOMORPHOS/UFRJ, Laboratório ESPAÇO/UFRJ e LAGEFF/UFF. Também foram consultados relatórios, projetos e pesquisas para adquirir informações a serem utilizadas para elaborar e editar o conteúdo necessário para a pesquisa.

Desta forma foram obtidas fotografias aéreas e imagens de satélite da área de estudo, de variadas escalas e resoluções conforme a Tabela 1, sob o qual alguns destes dados coletados foi necessário o processo de georreferenciamento para seu devido aproveitamento, a partir da utilização dos softwares ERDAS IMAGINE 2015 e ArcGIS 10.5.

Tabela 1 – Panorama dos materiais imagéticos obtidos e utilizados na pesquisa

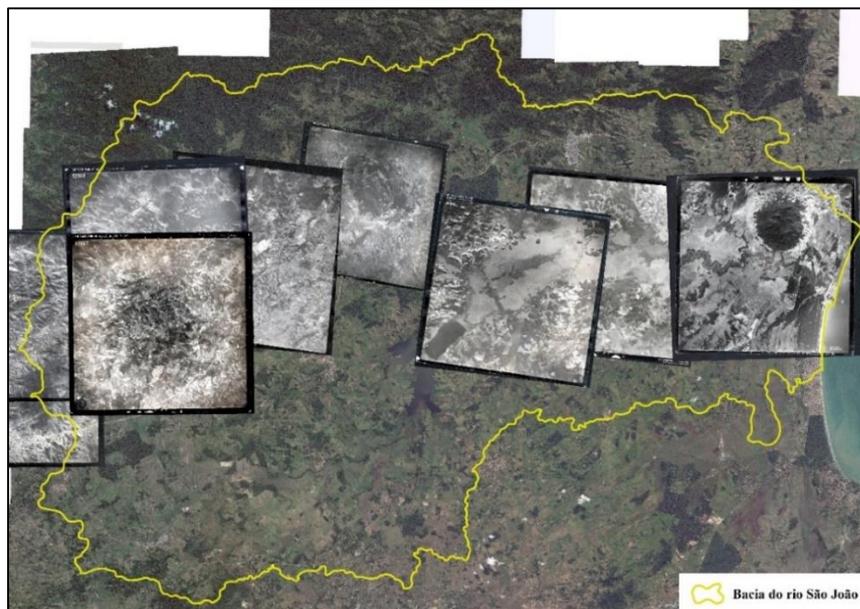
TIPO DE MATERIAL	FONTE	SATÉLITE/VÔO	ANO	ESCALA/RESOLUÇÃO	PROCESSOS REALIZADOS	INFORMAÇÕES ADICIONAIS	FORMA DE UTILIZAÇÃO
Fotografias aéreas	CPRM	Vôo AST-10	1964	1:60.000	Georreferenciamento	Projeto USAF Folhas: SF.23-Z-B-VI e SF.23-Z-B-V	<ul style="list-style-type: none"> • Mapeamento da forma em planta • Extração de morfometria
Fotografias aéreas	DRM-RJ	-	1970	1:20.000	Georreferenciamento	Folhas SF-23/24 Composição colorida	Auxílio no mapeamento referente ao ano de 1964
Imagem de satélite	INPE	LANDAST 7	1999	30 metros	-	Órbita/ponto 216/76	Não utilizada devido a baixa resolução para mapeamentos
Ortofotos	IBGE	Vôo com câmera Zeiss RMK Top 15	2008	1:25.000	-	Adquirida já georreferenciada	Base para o georreferenciamento de outras imagens
Imagem de satélite	LAGEFF/UFF-MMA	Rapideye	2009	5 metros	-	Adquirida já georreferenciada	Auxílio no mapeamento referente ao ano de 2018
Imagem de satélite	MMA	Rapideye	2014	5 metros	-	Adquirida já georreferenciada	Auxílio no mapeamento referente ao ano de 2018
Imagem de satélite	Laboratório ESPAÇO/UFRJ	Worldview 2	2018	0,5 metros	-	Adquirida já georreferenciada	<ul style="list-style-type: none"> • Mapeamento da forma em planta • Mapeamento de feições geomorfológicas • Extração de morfometria

Elaborado por Rodrigo Correia dos Santos.

Ademais, faz-se importante que algumas informações sejam pormenorizadas:

- As Ortofotos do IBGE para o ano de 2008 foram escolhidas como base para o georreferenciamento das imagens do projeto USAF, pois além de serem bases oficiais as imagens já são disponibilizadas corrigidas.
- Embora existam erros oriundos da curvatura das lentes das fotografias aéreas, a escolha das imagens e o georreferenciamento das mesmas foi realizado para que as informações a serem extraídas das imagens estivessem centralizadas nas referidas fotografias, minimizando assim erros e distorções.
- O processo de georreferenciamento e correção geométrica foram realizados no software ERDAS IMAGINE 2015, através da ferramenta “Autosync”. Foram criados dez pontos manualmente em relação a imagem base e a partir disto foi gerada uma nuvem de pontos automáticos para o referenciamento. Foi gerado um erro residual médio menor que 0,5 pixel, com maior incidência nas bordas das fotografias.
- Todas as fotografias aéreas georreferenciadas e corrigidas foram projetadas para o sistema geodésico de referência SIRGAS 2000 (Figura 12).
- Não foi necessário o processo de ortorretificação das imagens do Projeto USAF, pois a região foco dos mapeamentos, o vale fluvial do rio São João, apresentam declividades irrelevantes para causar distorções.
- As imagens Worldview 2 foram escolhidas para a pesquisa por apresentarem resolução espacial adequada para as análises pretendidas, além da elevada qualidade radiométrica e espectral. Também foi considerada adequada a posição relativa da imagem junto as Ortofotos do IBGE, utilizadas para o georreferenciamento, garantindo assim a correta utilização de ambas para os posteriores mapeamentos e comparações.
- As imagens obtidas junto ao DRM-RJ não foram utilizadas para fins de comparação e mapeamento por se encontrarem incompletas e não cobrirem toda a extensão do rio São João.
- As imagens LANDSAT não foram utilizadas devido a sua baixa resolução para mapeamento, impossibilitando a utilização dos dados oriundos das mesmas.
- As imagens Rapideye de 2009 e 2015 não foram plenamente utilizadas para análise devido ao baixo índice de mudanças quando comparado aos dados obtidos através da imagem do ano de 2018.

Figura 12 – Mosaico georreferenciado das fotografias aéreas do Projeto USAF sob a imagem Worldview 2



Elaborado por Rodrigo Correia dos Santos.

5.2 – Análise e mapeamento do uso e cobertura da terra

Atualmente o uso da terra da bacia do rio São João é caracterizado principalmente por grandes áreas de pastagem, havendo também parte dos solos sendo utilizado para cultivo, principalmente da cana-de-açúcar na região do baixo curso. Este tipo de utilização foi possível devido às obras de engenharia realizadas, que com o passar dos anos também gerou um acentuado esgotamento dos solos, já historicamente empobrecido pela salinização dos solos devido as marés e ao antigo processo de irrigação anteriormente utilizada para rizicultura (CAETANO, 2011).

Assim, a partir destas informações em conjunto das variadas e vastas modificações que a bacia do rio São João passou ao longo do tempo, a mudança no uso e cobertura da terra na região se apresenta possivelmente, como um dos principais fatores em potencial e extensão de declínio nas condições ambientais que existem na bacia.

Desta forma, identificar e interpretar estas mudanças espaço-temporais associadas às outras modificações ocorridas, se mostra de elevada importância para a compreensão da evolução do rio São João e quais são suas principais influências nos processos fluviais. Estes dados, dispostos de forma imagética e em tabelas formam uma fonte de elementos que auxilia no processo de caracterização e análise sobre como se deram as mudanças dentro das quatro décadas estudadas e de que forma isso pode gerar respostas que alterem os processos

hidrológicos, geomorfológicos e sistêmicos, o que conseqüentemente vai ser refletido no canal e em sua dinâmica fluvial.

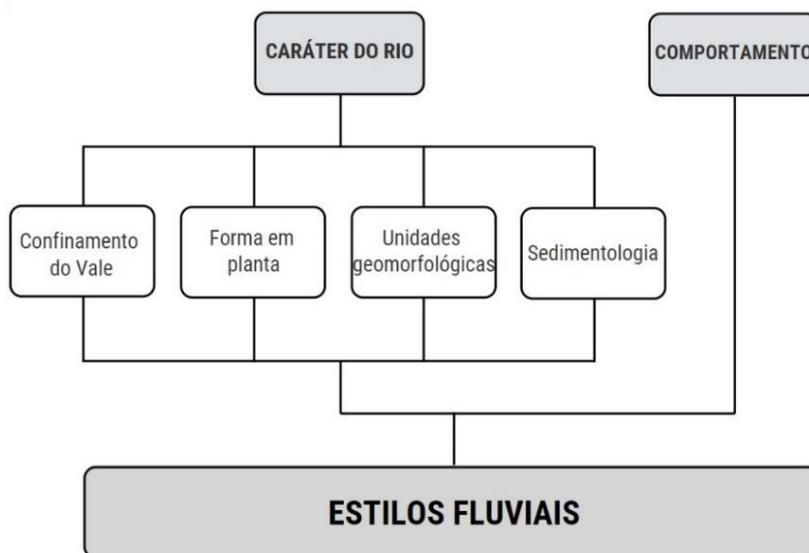
Para isso foram utilizados dados secundários, referentes ao estudo de Seabra (2012) para os anos de 1975, 1985, 1995 e 2010, a partir de imagens LANDSAT 4 e 5 em mapeamentos na escala de 1:100.000 e também foram adquiridos dados junto a base do Instituto Estadual de Meio Ambiente – INEA, referente a mapeamentos através de imagens LANDSAT para o ano de 2015, na escala de 1:100.000.

5.3 – Identificação dos Estilos Fluviais

A identificação e mapeamento dos estilos fluviais do atual rio São João foi baseada na metodologia dos Estilos Fluviais de Brierley e Fryirs (2005) através do reconhecimento do **Caráter** e do **Comportamento** do rio, que correspondem as duas etapas iniciais da metodologia, propiciando importantes informações para análises acerca de sua dinâmica fluvial e diferenciação de ambientes de um mesmo canal (Figura 13).

Esta atividade foi realizada em toda a extensão do canal do rio São João e em seu vale fluvial, com base nas imagens Worldview 2 do ano de 2018, através do software ArcGIS 10.5, para assim tornar possível a identificação e observação das disparidades entre os estilos encontrados. Também foi utilizado o software Google Earth Pro como auxílio quanto a identificação de feições e limites, pois o mesmo possui imagens e condições propícias para uma melhor visualização em escalas aproximadas.

Figura 13 – Fluxograma da identificação dos Estilos Fluviais



Adaptado de Brierley e Fryirs (2005).

[A] Caráter e Comportamento do rio

A primeira etapa metodológica corresponde ao primeiro estágio de um total de quatro estágios que compõem a metodologia dos Estilos Fluviais, sendo importante frisar que a pesquisa realizou apenas as duas primeiras etapas da metodologia⁷. A identificação do caráter de um rio por sua vez, envolve quatro diferentes etapas, demonstradas anteriormente na Figura 12 e que são: Configuração de vale; Forma em planta do canal; Mapeamento de unidades geomorfológicas; e Textura do material do leito.

A primeira atividade é a definição da Configuração e Grau de Confinamento do Vale, que segundo Brierley e Fryirs (2005) as diferenças no confinamento do vale exercem influência significativa sobre a capacidade de ajuste do canal, seja vertical, lateral ou por ambos. Assim, seguindo o arcabouço já mencionado e aperfeiçoado por Fryirs *et al.* (2016), foi realizado o mapeamento dos limites internos do vale fluvial, de forma manual através do software ArcGIS 10.5. O mapeamento é dividido entre a definição e identificação do fundo de vale e a margem do vale, sendo o primeiro definido como a porção contemporânea de ação do canal, sendo composta pelo canal ativo e sua planície de inundação e o segundo sendo descrito como toda a porção na transição entre o fundo do vale e a encosta.

Esta etapa tem como resultado a identificação de três tipos de confinamento de vale e suas subdivisões, de acordo com a classificação de O'Brien *et al.* (2019): [a] Confinado, com planícies de inundação isoladas ou inexistentes, possuindo mais de 90% da extensão do canal junto à margem interior do vale e podendo ser diferenciado pelo confinamento imposto pelo leito rochoso ou terraços; [b] Parcialmente confinado, com planícies de inundação descontínuas, possuindo entre 10-85% da extensão do canal no segmento, junto à margem interior do vale, sendo subdividido pelo confinamento imposto ou pelo substrato rochoso, terraços ou leques aluviais (com porcentagens entre 50 a 85%); ou pela própria dinâmica da forma em planta (ambos com porcentagem entre 10 e 50%); e [c] Lateralmente não confinado, com planícies de inundação contínuas em ambos os lados do canal e possuindo até 10% da extensão do canal no segmento, junto a margem interior do vale.

A segunda etapa realizada é o mapeamento da forma do canal em toda a extensão do canal, seguindo modelo de execução proposto por Brierley e Fryirs (2005), para que através da delimitação de ambas as margens do canal se obtenha a visualização planimétrica do rio.

⁷ As etapas três e quatro da metodologia são voltados para o potencial de recuperação do sistema estudado e sua aplicabilidade dentro de ações de gestão e planejamento, respectivamente, denotando assim o requerimento de maior espaço de tempo e análises.

Esta etapa também envolve a mensuração de parâmetros morfométricos, como comprimento e largura do canal, largura do vale, índice de sinuosidade, amplitude altimétrica, declividade do canal e a composição e interpretação do perfil longitudinal do rio São João, através da criação de um Modelo Digital de Elevação - MDE. Estes parâmetros foram metodologicamente criados e utilizados por Strahler (1957), Christofolletti (1990), Summerfield (1991), entre outros autores.

É importante afirmar a importância destes dados, uma vez que eles serão utilizados para a correta caracterização do canal e também é imprescindível denotar que a sinuosidade será classificada de acordo com Fuller *et al.* (2013), onde a extensão total do canal será dividida pela distância entre as extremidades do canal e será classificada de acordo com a Tabela 1.

Tabela 2 – Classificação da Sinuosidade

Valor da Sinuosidade	Classificação
1 - 1,05	Retilíneo
1,06 - 1,3	Baixa sinuosidade
1,31 - 1,8	Sinuoso
> 1,8	Tortuoso

Adaptado de Fuller *et al.* (2013).

A terceira etapa é o mapeamento de unidades geomorfológicas, que se concentrou na identificação e delimitação das zonas de planície, terraços fluviais e de feições existentes dentro e fora do canal do rio São João, como paleocanais, barras laterais, entre outras feições, seguindo a metodologia utilizada por Brierley e Fryirs (2005). Esta atividade teve por objetivo associar as formas e processos existentes na área de estudo, especificando a relação mútua existente entre as formas de relevo individuais e os processos que as geram. É importante denotar também que foram utilizadas informações presentes no trabalho de Pimenta (2014) para incorporar a percepção da região, mediante dados de mapeamento geomorfológico de detalhe realizados pela autora.

A quarta etapa deste primeiro processo metodológico para a definição das características do rio é referente à descrição sedimentar do leito de cada segmento. Esta atividade se concentrou na obtenção de dados primários, decorrentes dos trabalhos de campo e de dados secundários extraídos de diferentes estudos, relatórios e pesquisas, de forma a

contribuir para a caracterização sedimentar de cada segmento identificado durante a aplicação da metodologia.

Já para identificar o **comportamento** de um canal é preciso realizar uma análise das suas relações hidrológicas e sedimentares dentro de uma área delimitada, ou seja, reconhecendo quais são e como se relacionam suas características, como forma, unidades geomorfológicas e controles regionais, entre outros, para discernir o comportamento de um rio ou trecho.

O comportamento de um rio é diretamente relacionado com seu estado atual e com as mudanças que lhe ocorreram ao longo do tempo que propiciaram suas atuais funções, pois se trata sobre a percepção das características naturais de ajustes que um dado rio possui dentro dos seus atributos específicos (BRIERLEY; FRYIRS, 2009). Assim, a identificação do comportamento de um canal se dá sobre como se refletem os ajustes ao longo do tempo, em que as condições de fluxo e influências do seu entorno permanecem relativamente constantes, de uma forma que tal segmento/canal mantenha suas características, enquanto processos e formas (BRIERLEY; FRYIRS, 2005).

[B] Análises da série histórica sobre vazão

Por conta das variações climáticas globais e das mudanças ocorridas no rio São João ao longo do período de análise proposto, fez-se importante a caracterização fluviométrica do rio São João. Contudo, a existência de uma única estação fluviométrica ao longo do canal não fornece indícios relevantes para toda a bacia e conseqüentemente toda a extensão do rio. Ainda assim a existência destes dados é importante para que possam ser estabelecidos parâmetros e padrões acerca da atividade fluviométrica na região, dando bases para comparações e análises diante das modificações ocorridas na bacia e no canal.

Assim, foram analisados dados diários de vazão, para o intervalo de tempo entre 1967 e 2017⁸, cabendo ressaltar que medição de vazão do rio São João se encontra em um segmento do canal retificado, a montante da Represa de Juturnaíba. Todos os dados e

⁸ Embora a estação utilizada no estudo esteja em funcionamento, a mesma não apresenta valores para todo o ano de 1967 nem dados atualizados para o ano de 2018, condicionando a escolha pelo intervalo de 1967 a 2017 para os cálculos estatísticos.

respectivas estações pertencem a série histórica da Agência Nacional de Águas – ANA, obtidos através do portal HIDROWEB⁹.

Para entender a resposta do fluxo e as variações no do rio São João, foram utilizados os dados diários de vazão da série histórica para representar através de gráficos o comportamento do canal em relação a sua capacidade de transporte de sedimentos e consequentemente de modificação de sua morfologia.

Q95

Os dados diários de vazão, da série histórica da Agência Nacional de Águas – ANA, foram utilizados para a obtenção do valor de vazão Q95, que representa a vazão de estiagem de uma bacia, cujo valor significa o recurso minimamente necessário para manutenção do canal e suas funções (TUCCI; MENDES, 2006). O método de análise da frequência é feito com base em toda a série disponível disposta em ordem decrescente, sendo atribuído um número “m” para cada vazão distinta. A quantidade de vazões existentes, que é o número total de amostras, é nomeada como “n”, que é utilizado para dividir todo e cada valor de “m”, gerando um valor de probabilidade “P”, definida da seguinte forma:

$$P = m/n$$

Este valor “P” representa a probabilidade de ocorrência de tal vazão em toda a sua série histórica, com valores de 0,01 a 100%, obtendo-se assim o valor de vazão do canal que é igualado ou superado em 95% do tempo.

O valor de Q95 também foi calculado para cada década de monitoramento a fim de encontrar padrões de mudança no fluxo do canal de forma a evidenciar possíveis ajustes ou interferências gradativas temporalmente, além da comparação de valores Q95 para antes e após as principais modificações na bacia.

Cabe pontuar que não foram feitos cálculos para encontrar valores referentes a Q7,10 devido ao estudo realizado pela SEA/INEA (2014), que ao realizar o cálculo para a mesma estação utilizada na pesquisa encontrou um alto desvio padrão, que foi gerado principalmente por variações decorrentes da construção da Represa de Juturnaíba, que aumentou a área de drenagem e alterou os valores das vazões.

⁹ <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/>

5.4 – Mapeamento espaço-temporal do canal fluvial

A partir de uma abordagem multi-temporal para a avaliação das mudanças morfológicas no rio São João e tendo como base os estudos de Fryirs *et al.* (2009), Reid e Brierley (2015), David *et al.* (2016) e Marçal *et al.* (2017), foi realizado o mapeamento da forma do canal, baseando-se também nas imagens do Projeto USAF, para o ano de 1964.

Assim como para o mapeamento do ano de 2018, este processo se deu através da delimitação de ambas as margens do canal, para toda a extensão do canal, afim de se obter a visualização planimétrica do rio, conforme a metodologia de Brierley e Fryirs (2005). Os dados obtidos nesta etapa foram utilizados para comparação frente aos dados gerados sob a imagem Worldview 2 de 2018, propiciando a diferenciação e análise das mudanças ocorridas neste espaço de tempo.

Entretanto, por se tratarem de imagens com inúmeras diferenças é importante ressaltar que a utilização de dados imagéticos de resoluções distintas se deu por dois motivos explicitados a seguir. A disponibilidade, ou a falta dela, é um dos grandes problemas enfrentados quando o assunto é a existência de dados históricos no Brasil, sendo este um dos primeiros problemas enfrentados durante a pesquisa e condicionando a aceitação dos poucos dados existentes para épocas muito anteriores à atual.

O segundo motivo é que embora a resolução de ambas seja diferente, elas proporcionam a comparação pretendida, uma vez que as fotografias aéreas possibilitam a extração da forma em planta do canal e de informações quantitativas como extensão e sinuosidade, entre outros elementos, tendo como base os estudos e descrições metodológicas de Surian *et al.* (2009), Besne e Ibisate (2015), Ziliani e Surian (2016) e Marçal *et al.* (2017),

Segundo Gilver e Bryant (2003) para o estudo de rios com largura entre 20 e 200 metros, imagens com escala de aproximadamente 1:50.000 são o suficiente para detalhar a forma em planta de um canal, tendo apenas o porém de serem necessárias mais de uma imagem para abrangência do rio. Grabowski *et al.* (2014) descreve que grandes rios podem ser estudados temporalmente a partir de fotografias aéreas de escala menor que rios menores e nos largos. E também é importante destacar a importância histórica que as fotografias aéreas trazem, sendo elas de grande valor para análises temporais e espaciais (FULLER *et al.*, 2013).

E também são necessárias etapas de processamento para a utilização das mesmas, com a correta execução dos procedimentos sobre as imagens, como já explicitado ao longo da pesquisa. Assim, os erros residuais decorrentes da etapa de georreferenciamento foram

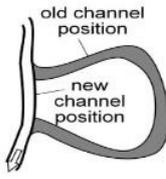
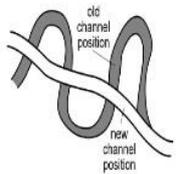
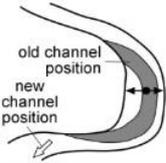
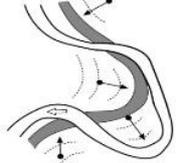
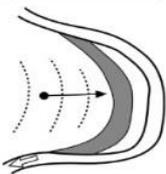
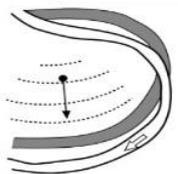
estimados para serem menores do que o tamanho do pixel das imagens, garantindo assim a utilização das fotografias aéreas, mesmo com suas falhas inerentes devido a forma de aquisição, que são estimados em sua máxima para um erro de 6 metros (MARÇAL *et al.*, 2017). E assim, mesmo com fotografias e imagens de anos e resoluções distintas, as observações e resultados foram geometricamente agrupados e representadas em uma escala comum, possibilitando o seu uso e comparação.

5.4.1 – Identificação de ajustes geomorfológicos

A partir dos diferentes mapeamentos da forma em planta realizados em conjunto às informações comportamentais, foi possível identificar possíveis ajustes morfológicos ocorridos no rio São João, tendo como base os estudos de Fryirs *et al.* (2009) e Lisenby e Fryirs (2016). Os supracitados autores estabelecem a existência, através de mudanças de formas, e duas classes de formas de ajustes: as formas erosionais e as formas deposicionais, as quais se subdividem em treze tipos mais específicos.

Porém, levando em conta a não existência de dados, históricos e atuais, acerca da profundidade do rio São João, foram avaliados e selecionados os tipos de ajustes descritos pelos autores e passíveis de serem evidenciados na pesquisa. Assim, o estudo se concentrou em identificar e ponderar acerca de sete tipos de ajustes descritos nas referidas metodologias, sendo todos estes agrupados na classe dos ajustes erosionais e tendo seis deles demonstrados na Figura 14.

Figura 14 – Formas de ajuste erosionais

<p>Canal abandonado - ocorrem na curva do meandro, onde as extremidades migraram em direção ao outro e o limite do banco de canais é rompido e um novo caminho é gerado, deixando um canal abandonado na planície de inundação.</p> 	<p>Retificação - o realinhamento de mais de uma curva, ou onde mais de uma curva é cortada, formando um caminho de baixa sinuosidade. Na maioria dos casos isso é induzido artificialmente via programas de canalização.</p> 
<p>Expansão de curva de meandro - ajuste na posição da inflexão do meandro.</p> 	<p>Rotação de curva de meandro - ajuste na orientação do eixo de flexão.</p> 
<p>Extensão de curva de meandro - uma mudança lateral na posição do dobra, causando um aumento na amplitude e no comprimento do canal.</p> 	<p>Translação - seja a montante ou a jusante mudar na posição da curva, sem o básico forma da curva sendo alterada.</p> 

Adaptado de Fryirs *et al.* (2009).

Faz-se importante ressaltar que os ajustes classificados como “Migração lateral”, presentes nas descrições de Lisenby e Fryirs (2016), apenas foram considerados quando apresentados valores superiores e discrepantes ao valor médio de erro encontrado no processo de georreferenciamento¹⁰. Já os ajustes referentes ao aumento ou diminuição da largura do canal não foram considerados devido à grande diferença entre as fontes de dados utilizadas e os relativos a ajustes de formas deposicionais não foram analisados pela impossibilidade de mapeamento dos mesmos para o ano de 1964.

5.5 – Trabalhos de campo

Ao longo da pesquisa, foram realizados três trabalhos de campo para a área de estudo com o objetivo de verificar e ajustar as informações levantados sobre os processos fluviais.

Este tipo de atividade apresenta uma relevância impar na percepção das reais condições e características em análise, pois oferece o contato direto com as problemáticas identificadas através do meio digital e possibilita a identificação de problemas e características perceptíveis apenas em campo.

Assim, as informações levantadas auxiliam não apenas na análise do comportamento, ajustes e mudanças ocorridas no rio São João, mas também detalha as influências e as características referentes ao canal. Mais especificamente, as atividades de campo também tiveram por objetivo:

- Verificação e validação das feições geomorfológicas mapeadas, por conseguinte, a validação dos segmentos identificados através da metodologia dos Estilos Fluviais;
- Identificação e validação das informações levantadas referentes ao uso e cobertura do solo além das modificações e obras ocorridas na bacia.
- Identificação de características e problemas ambientais com maior riqueza de detalhes e precisão.

¹⁰ Pág. 53.

VI – RESULTADOS

6.1 – Mudanças no uso e cobertura do solo

Em um atual contexto a qual os canais fluviais sofrem grande pressão antrópica devido a extensa utilização das terras de suas bacias hidrográficas, a compreensão da evolução e expansão destas formas de utilização fornecem informações acerca da intensidade e da temporalidade a qual um rio e seus processos sofrem influência destas atividades.

Dentro destas circunstâncias, a Bacia do rio São João tem suas terras predominantemente utilizadas para pastagens, que hoje representam aproximadamente 54% da utilização das terras, segundo o INEA. Mas no fim do século XX, as pastagens já eram relatadas como as principais responsáveis pelo desmatamento da bacia, onde segundo Cunha (1995) já era possível constatar que a maioria dos solos na bacia do rio São João, encontravam-se sem a proteção da vegetação, na medida que a mesma vinha sendo explorada e devastada, sendo substituída por pastoreio e cultura comercializada, principalmente de cítricos e cana-de-açúcar.

Contudo, para que houvesse este predomínio por pastagens, muitos processos e modificações foram necessários ao longo do tempo, como as já citadas retificações e drenagem de zonas úmidas até o desmatamento direto. Assim com o objetivo de analisar a evolução destas modificações no uso das terras, Seabra (2012) realizou um levantamento e descrição do uso e cobertura da terra para a Bacia do rio São João em quatro diferentes anos: 1975, 1985, 1995 e 2010. Este estudo, em conjunto ao mapeamento realizado pelo INEA em 2015 para todo o estado, possibilitam a interpretação sobre as potencialidades que as modificações ambientais e de uso ocorridas na bacia possuem sobre seu sistema fluvial.

No trabalho de Seabra (op. cit.) os usos da região foram divididos em dez diferentes classes, porém para contextualização, as classes foram relacionadas de acordo com as definições presentes no mapeamento do INEA para o ano de 2015, onde algumas conceituações foram agrupadas em uma única classe ou tiveram seus nomes corrigidos para termos similares (Tabela 3). As classes “Vegetação secundária” e “Floresta” propostas por Seabra (op. cit.) merecem destaque, uma vez que foram substituídas respectivamente pelas classes “Vegetação secundária inicial” e “Vegetação secundária média/avançada”.

Os termos substituídos representam nomenclaturas genéricas para estágios da vegetação arbórea e arbustiva, já que sem grandes distinções uma vegetação não natural ou secundária não será caracterizada com grandes variedades e tamanhos, já uma floresta receberá este nome independente da origem de suas espécies, mas sim em relação a seu tamanho e extensão. Então, por conter maiores especificidades e detalhamentos, foram substituídas pelos termos utilizados no mapeamento oficial da unidade federativa do Rio de Janeiro.

Destaca-se duas classes não existentes no estudo de Seabra (2012) e a diferença da área total do mapeamento em ambos os estudos. As duas classes supracitadas equivalem a uma porção de 12,13km², já a diferença da área total entre as pesquisas é de 44,36km², o que juntas representam 56,49km² ou 2,6% da área total de 2016km² proposta pelo INEA. Assim, a partir do agrupamento dos dados destas duas fontes com sua respectiva correção e correlação, é possível analisar a evolução do uso e cobertura do solo da bacia do rio São João ao longo de 40 anos (Tabela 4).

Tabela 3 – Equivalência dos termos utilizados nas diferentes pesquisas utilizadas, referentes ao uso e cobertura da terra da Bacia do rio São João

SEABRA (2012)	INEA (2015)
Agricultura	Agricultura
Áreas úmidas	Áreas úmidas
Pastagem	Campo/Pastagem
Água	Corpos hídricos
Mangue	Mangue
-	Reflorestamento
-	Restinga
Solo exposto	Solo exposto
Ocupação moderada	Urbano
Ocupação rarefeita	
Veg. Secundária	Veg. Sec. Inicial
Floresta	Veg. Sec. Média/Avançada
Área total mapeada	
2115,64 km ²	2160 km ²

Fonte: SEABRA (2012) e INEA (2015). Elaborado por Rodrigo Correia dos Santos.

Tabela 4 – Evolução temporal do uso e cobertura da terra na bacia do rio São João

Uso e cobertura	1975		1985		1995		2010		2015	
	Km	%	Km	%	Km	%	Km	%	Km	%
Agricultura	0	0	52,8	2,5	49,81	2,35	30,4	1,44	50,42	2,32
Áreas úmidas	94,54	4,47	29,68	1,4	24,7	1,17	18,47	0,87	9,06	0,42
Campo/Pastagem	998,37	47,1	1141,41	54	1214,87	57,4	1174,06	55,5	1163,5	53,86
Cordões arenosos	-	-	-	-	-	-	-	-	0,14	0,01
Corpos hídricos	41,62	1,97	19,09	0,9	28,58	1,35	36,18	1,71	36,37	1,68
Mangue	7,11	0,34	6,91	0,33	5,57	0,26	9,2	0,43	3,15	0,14
Reflorestamento	-	-	-	-	-	-	-	-	9,79	0,45
Restinga	-	-	-	-	-	-	-	-	2,34	0,1
Solo exposto	0	0	0,4	0,02	1,7	0,08	0,3	0,01	3,28	0,15
Urbano	0,59	0,03	6,81	0,29	13,39	0,63	26,62	1,26	60,66	2,86
Veg. Sec. Inicial	94,54	4,47	29,68	1,4	128,6	6,08	137,12	6,48	110,57	5,11
Veg. Sec. Média/Avançada	795,07	37,6	742,98	35,1	647,87	30,6	682,97	32,3	710,72	32,9
Total	2115,6	100	2115,6	100	2115,6	100	2115,6	100	2160	100

Fonte: SEABRA (2012) e INEA (2015). Elaborado por Rodrigo Correia dos Santos.

Assim, para o ano de 1975 o mapeamento realizado já demonstra um predomínio por pastagens nas terras da bacia, contudo, o destaque em relação a esta década fica por conta do conjunto de obras de retificação, no médio curso do rio São João e nos rios Bacaxá e Capivari, que já estavam em execução (Figura 15).

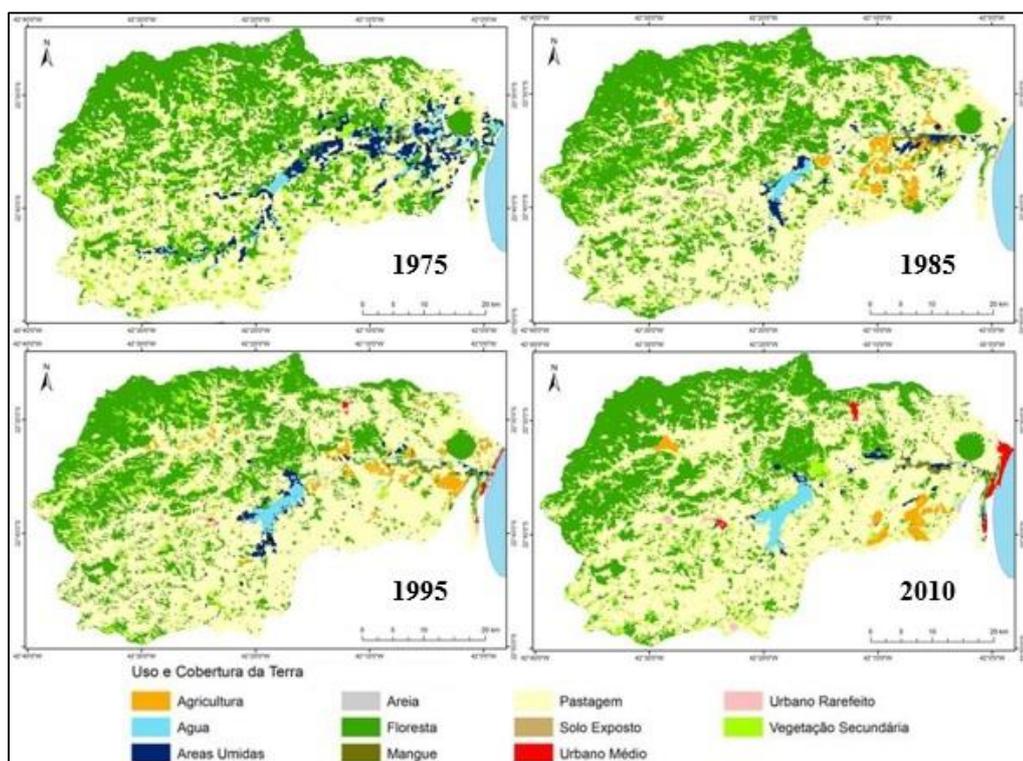
Estas retificações foram as principais responsáveis pela diminuição em aproximadamente 70% das áreas úmidas e por quase todo o aumento da quantidade de pastagens entre os anos de 1975 e 1985. A partir da Tabela 8, também é possível notar que na transição destas décadas, a bacia apresenta uma redução de 70% da classe “Vegetação Secundária inicial” e “Vegetação Secundária Média/Avançada”, também o surgimento de zonas de agricultura na região do baixo curso do rio São João e um crescimento de mais de 1000% na ocupação urbana na bacia.

Em relação a transição e diferenças dos mapeamentos de 1985 e 1995, é possível destacar quatro importantes mudanças observáveis na Tabela 8: a manutenção do crescimento das pastagens sobre as terras; a perda de aproximadamente 100km² de vegetação arbórea/florestal, na classe “Vegetação Secundária Média/Avançada”; um aumento de 100% na área destinada a ocupação urbana; e o aumento da área ocupada pela Represa de Juturnaíba, já presente no centro dos mapas.

Em relação a 2010, a região ao longo de 15 anos passou por uma nova intensificação na ocupação urbana, principalmente na região de Barra de São João, na parte mais a oeste do mapa, junto a foz do rio São João (Figura 15). Também há um pequeno aumento na área coberta por vegetação secundária e um leve declínio na quantidade de pastagem, contudo, que não deixa de ser predominante ao longo da bacia.

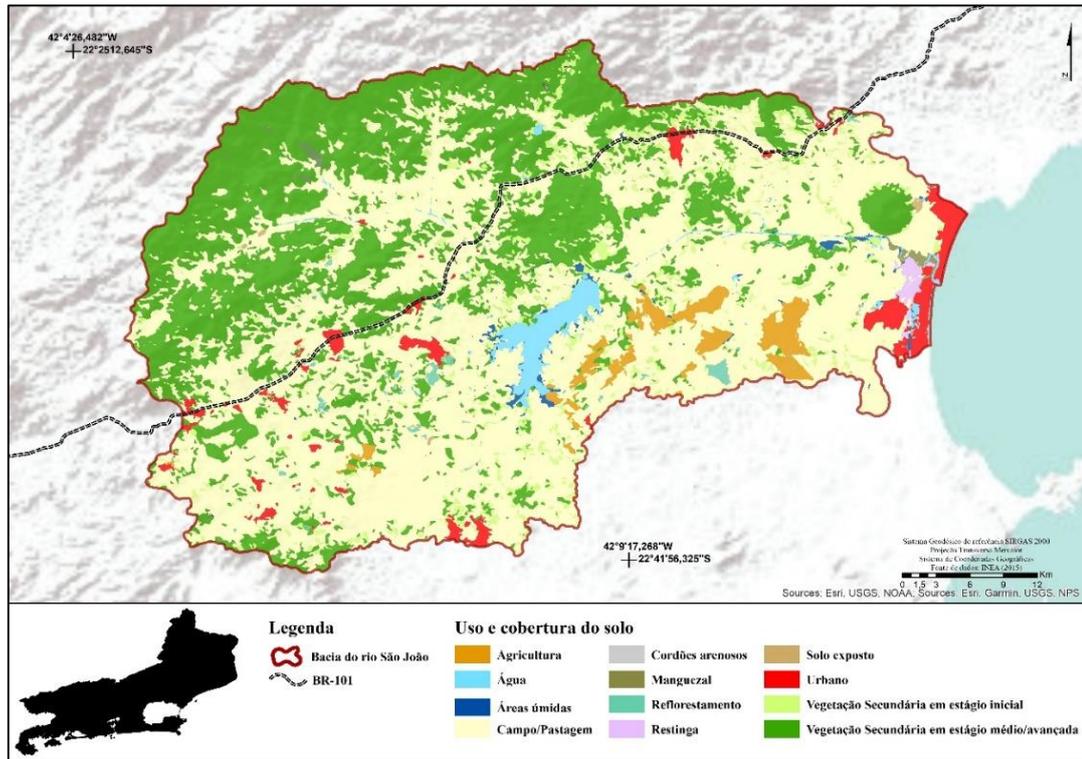
E para 2015, a grande mudança em seu uso e cobertura é uma expansão urbana mais recente, responsável por um aumento superior a 100% da área urbana na bacia (Figura 16), embora sejam apenas cinco anos de diferença, demonstrando o crescente potencial atrativo da região.

Figura 15 – Uso e cobertura da terra da bacia do rio São João para 1975, 1985, 1995 e 2010



Extraído e adaptado de Seabra (2012).

Figura 16 – Uso e cobertura da terra da bacia do rio São João em 2015



Fonte: INEA (2015).

Assim, é possível observar através da análise destes cinco mapas, que perpassam por 40 anos de evolução do uso e cobertura das terras da Bacia do rio São João apresentam uma predominância por coberturas florestais em regiões nas bordas da bacia, que são também localidades com maior elevação e declividade, além da já referida e ampla utilização de suas terras para pastagens.

Isto evidencia um elevado potencial de modificação nos processos fluviais, principalmente os relacionados a geração de sedimentos e pressão sobre os canais, uma vez que praticamente a totalidade dos vales fluviais não possuem mais cobertura vegetal, tornando os seus solos mais propensos a erosão e deixando as atividades humanas mais próximas aos rios, os limitando em termos de ações naturais.

6.2 – Identificação dos Estilos Fluviais

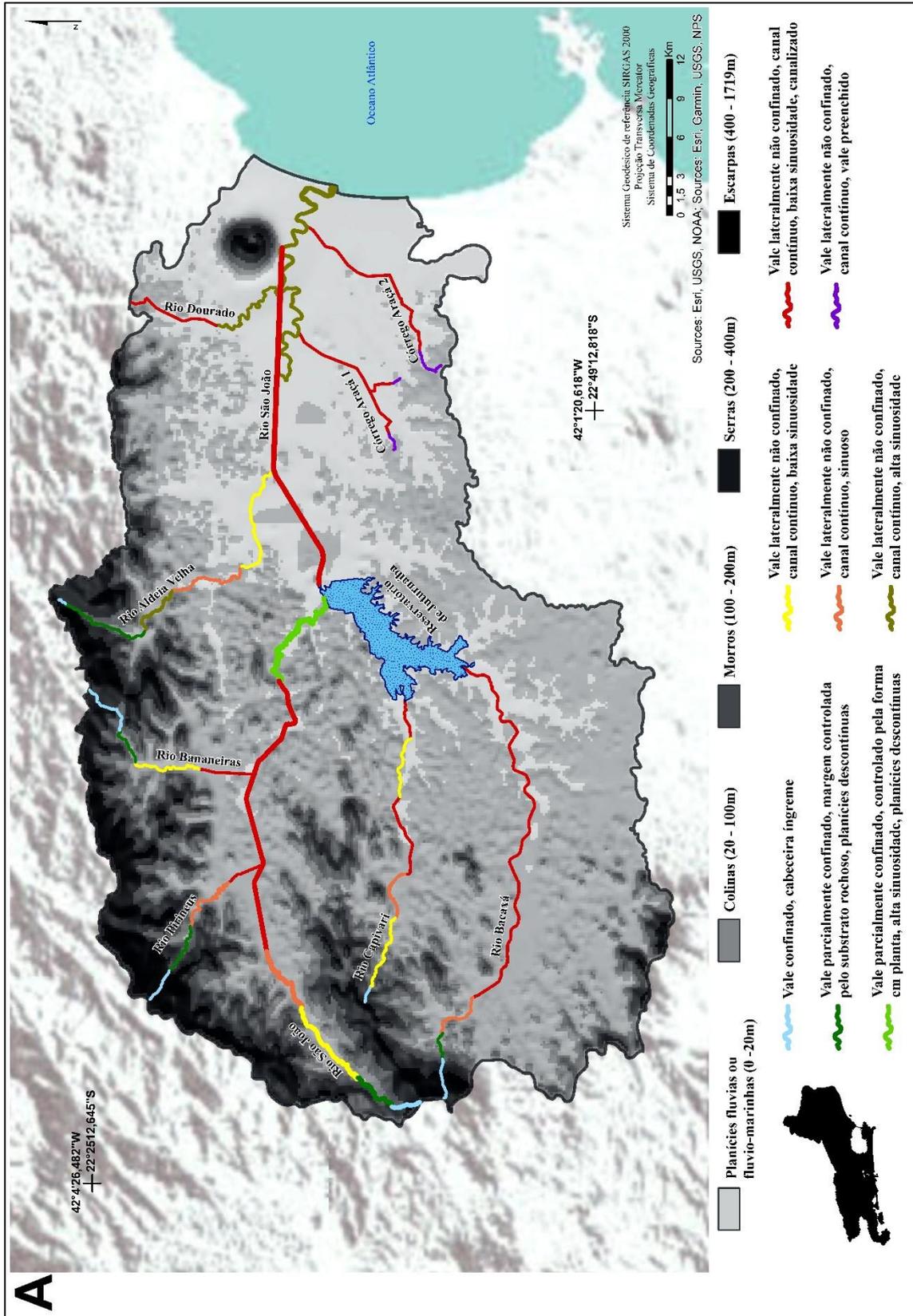
Foram identificados nove estilos fluviais, resultantes das influências locais, regionais e das características do rio São João, identificadas ao longo do estudo (Figura 17 e Tabelas 5 e 6), cabendo ressaltar que a nomenclatura de cada estilo fluvial segue o protocolo adotado por Fryirs e Brierley (2017). O canal apresenta maior diversidade em sua região de alto curso e na transição para o médio curso¹¹, onde a variabilidade de inclinação, confinamento de vale e sinuosidade, em menor expressão, induzem transições em seu caráter e comportamento (Figura 17 – A e C). Ainda sobre a declividade, foi identificada a predominância de um relevo classificado como plano, cobrindo aproximadamente 40% da área da bacia, como pode ser visto na Figura 18.

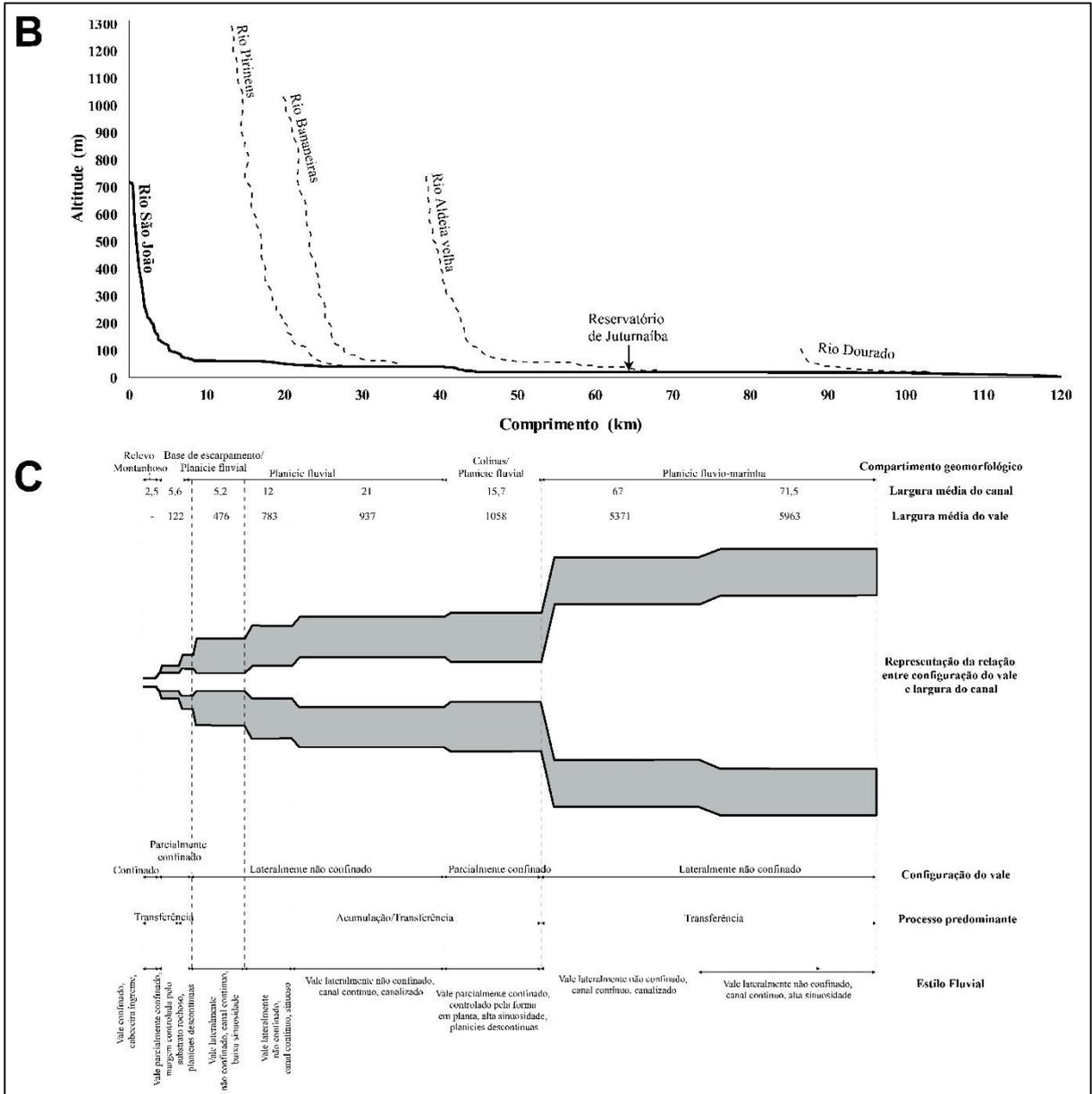
Também é relevante destacar as porções do relevo classificadas como escarpadas e montanhosas, concentradas ao norte e na porção oeste da bacia respectivamente, que conforme Oliveira e Mello (2007), apresentam elevada importância por serem grandes fontes de sedimentos, que posteriormente serão retrabalhados ao longo do sistema de drenagem. O rio São João se caracteriza por apresentar média energia com predominância para deposições e transporte ao longo de sua extensão, tendo em seu perfil longitudinal uma concavidade pronunciada (Figura 17 – B). Isto se dá ao fato de sua região de alto curso estar localizada em uma porção de declividade montanhosa e que decai aproximadamente 600 metros em um percurso de 5,8 km.

¹¹ A delimitação de alto, médio e baixo curso se dá respectivamente por: trecho do canal com alta declividade, trecho a montante do reservatório e trecho a jusante do reservatório.

Figura 17 – Padrões para a bacia do rio São João

(A) Distribuição espacial dos Estilos Fluviais. (B) Perfil longitudinal. (C) Representação esquemática da relação do confinamento do vale com a largura do canal





Elaborado por Rodrigo Correia dos Santos.

Tabela 5 – Tabela de atributos dos Estilos Fluviais identificados

Estilo Fluvial	Configuração de vale	Compartimento geomorfológico	Elevação (m)	Largura média do canal (m)	Caráter do rio		Comportamento
					Forma em planta do canal	Unidades Geomorfológicas	
Vale confinado, cabeceira íngreme	Confinado	Relevo montanhoso	720-230	2,5	-	Sem planície	Canal estável, com alto controle exercido pela base rochosa. Possui elevado potencial de transporte de sedimentos e baixa capacidade de ajustes laterais
Vale parcialmente confinado, margem controlada pelo substrato rochoso, planícies descontínuas	Parcialmente confinado	Base de escarpamento/ Planície fluvial	230-80	5,6	Canal único, sinuoso, propenso a poucos ajustes laterais	Planície descontínua, cascata, terraços	Canal com leito rochoso em cascata. Possui elevado poder erosivo e de transporte de sedimentos, intensificado pela declividade e confinamento de vale.
Vale parcialmente confinado, controlado pela forma em planta, alta sinuosidade, planícies descontínuas	Parcialmente confinado	Colinas/Planície fluvial	20-20	15,7	Canal único, alta sinuosidade, lateralmente estável	Planície descontínua, barras de pontal, paleocanais	Canal com boa conectividade lateral e vertical, em condições potencialmente próximas as naturais. Possui elevado potencial de deposição devido a grande carga de sedimentos que recebe.
Vale lateralmente não confinado, canal contínuo, baixa sinuosidade	Lateralmente não confinado	Planície fluvial	80-50	5,2	Canal único, baixa sinuosidade, estabilidade artificialmente imposta	Planície contínua, barras de pontal, barras laterais	Canal de matriz arenosa lateralmente instável, que associada a sua configuração de vale garante uma propensão a ajustes laterais, contudo, possui limitações devido a ação antrópica em suas planícies, aumentando a geração de sedimentos para o canal. Ambiente com potencial deposicional elevado, com transporte sedimentar e retrabalhamento de feições em condições de fluxo moderados a elevados.

Estilo Fluvial	Configuração de vale	Compartimento geomorfológico	Elevação (m)	Largura média do canal (m)	Forma em planta do canal	Caráter do rio		Material do Leito	Comportamento
						Unidades Geomorfológicas			
Vale lateralmente não confinado, canal contínuo, sinuoso	Lateralmente não confinado	Planície fluvial	50-40	12		Planície contínua, barras de pontal, barras laterais e barras longitudinais	Areas de grossas a finas	Canal de matriz arenosa lateralmente instável, com elevado potencial de retenção sedimentar. Tem o aumento do transporte sedimentar e o retrabalhamento de suas feições em condições de fluxo moderados a elevados. Tem a conexão com as planícies alterada devido pressão antrópica, o que aumenta a geração de sedimentos para o canal.	
Vale lateralmente não confinado, canal contínuo, baixa sinuosidade, canalizado	Lateralmente não confinado	Planície fluvial	40-20	21	Canal único, retificado, posição e estabilidade impostas artificialmente	Planície contínua delimitada artificialmente, barras laterais, depósito laminar areoso e paleocanais	Areas de grossas a finas	Segmento com alta capacidade de transporte sedimentar e modificação do seu leito. A maioria dos fluxos são retidos no canal, o tornando propenso a incisão. Em condições de baixo fluxo, há aumento na atividade deposicional, elevando o nível do leito e retrabalhamento de suas feições. Trecho a jusante sob influência da barragem.	
Vale lateralmente não confinado, canal contínuo, alta sinuosidade	Lateralmente não confinado	Planície flúvio-marinha	20-0	71,5	Canal único, alta sinuosidade, lateralmente estável	Planície contínua	Areia média/fina (sem maiores informações)	Canal sob alta pressão antrópica, com conectividade lateral reduzida e com fluxos regulados por barragem. Alta conexão longitudinal e sem potencial de formação de feições.	
Vale lateralmente não confinado, canal contínuo, vale preenchido	Lateralmente não confinado	Planície flúvio-marinha	20-0	-	Canal descontínuo	Planície contínua, pântano	Areia média/fina (sem maiores informações)	Pântano formado a partir da dissipação de fluxo e sedimentos no fundo de vale. Sedimentos em suspensão e de fundo são depositados em camadas. Propenso a incisão se seus limites são excedidos.	

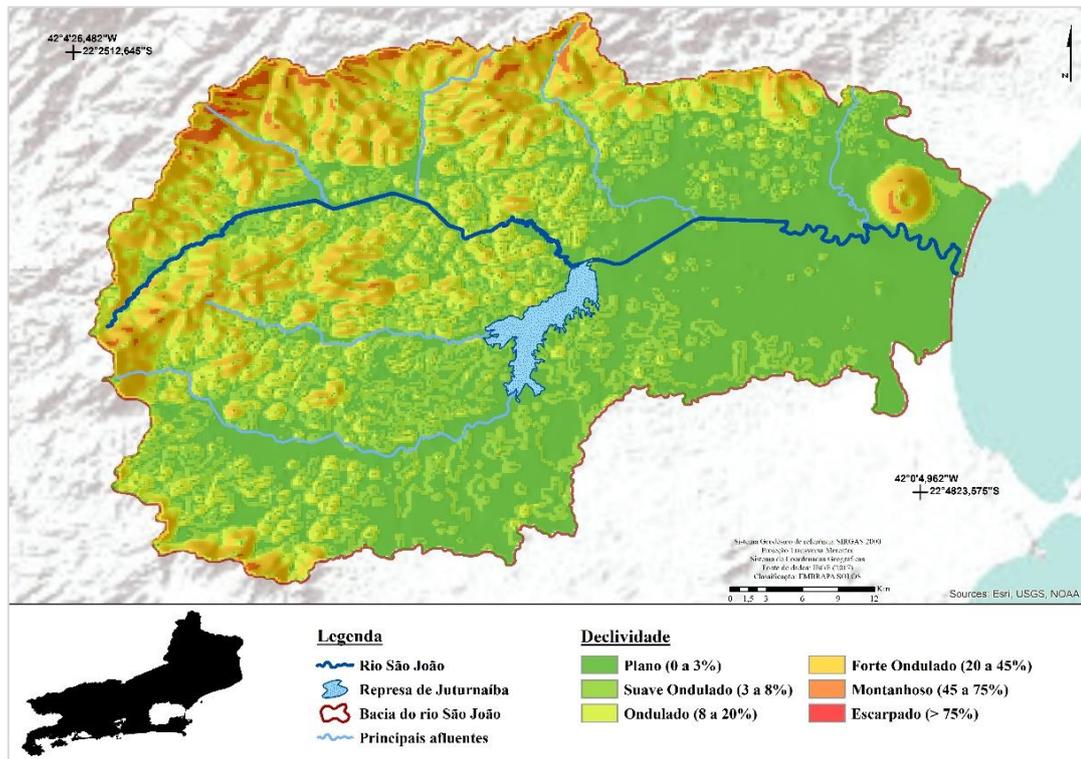
Elaborado por Rodrigo Correia dos Santos.

Tabela 6 – Controles das características e comportamento do rio São João

Estilo Fluvial	Extensão (km)	Elevação (m)		Amplitude altimétrica (m)	Declividade do vale (EMBRAPA)	Descarga Q95 (m³/s)	Largura média do vale (m)
		Max	Min				
Vale confinado, cabeceira íngreme	2,6	720	230	490	Montanhoso	-	-
Vale parcialmente confinado, margem controlada pelo substrato rochoso, planícies descontínuas	5,2	230	80	150	Suave ondulado	-	122
Vale parcialmente confinado, controlado pela forma em planta, alta sinuosidade, planícies descontínuas	15,7	20	20	0	Plano	-	1058
Vale lateralmente não confinado, canal contínuo, baixa sinuosidade	9,8	80	50	30	Suave ondulado/Plano	-	476
Vale lateralmente não confinado, canal contínuo, sinuoso	7,8	50	40	10	Plano	-	783
Vale lateralmente não confinado, canal contínuo, baixa sinuosidade, canalizado	24,6	40	20	20	Plano	4,15	937
	25,6	20	20	0		-	5371
Vale lateralmente não confinado, canal contínuo, alta sinuosidade	28,7	20	0	20	Plano	-	5963
Vale lateralmente não confinado, canal contínuo, vale preenchido	-	20	0	20	Plano	-	70

Elaborado por Rodrigo Correia dos Santos.

Figura 18 – Declividade da bacia do rio São João

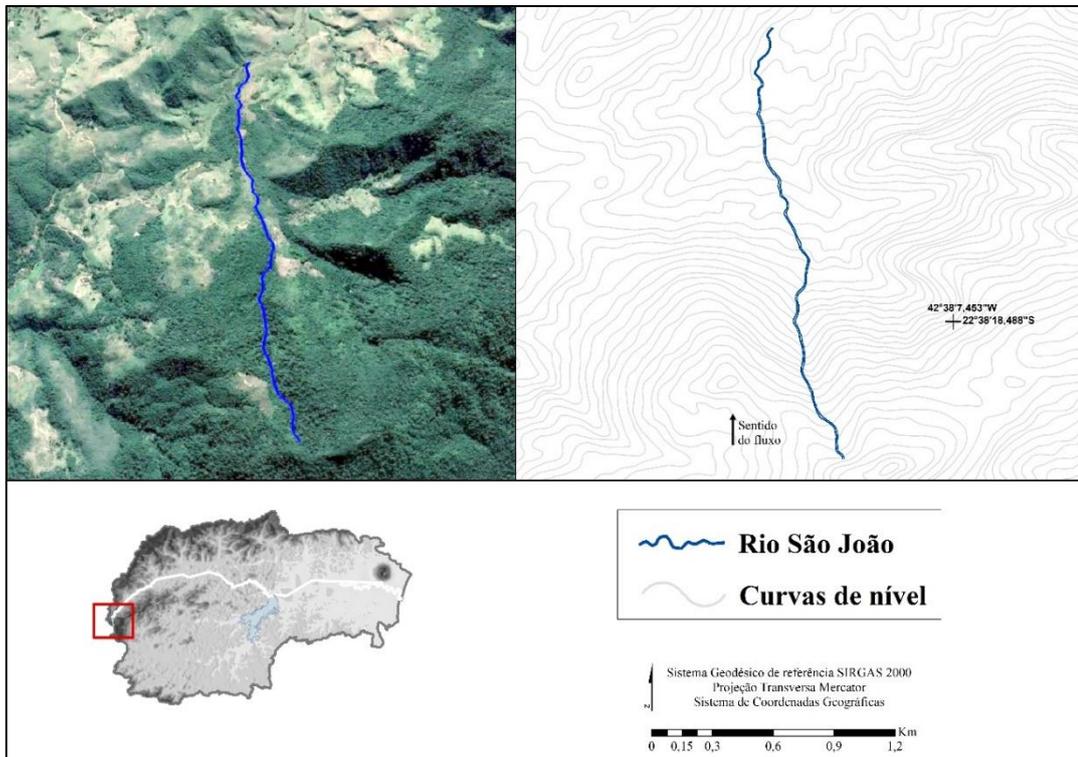


Elaborado por Rodrigo Correia dos Santos.

Junto a nascente do rio São João se inicia o Estilo Fluvial **Vale confinado, cabeceira íngreme** (Figura 17 - A), disposto em um vale confinado controlado pela geologia da região, que condiciona a sinuosidade do canal ao vale fluvial. Apresenta boa capacidade de transporte sedimentar e baixo potencial de ajustes laterais, já que seu leito rochoso e alta declividade limitam a capacidade de movimentação em condições de fluxo regulares ou baixos. Já em condições de alto fluxo, a sua capacidade de transporte aumenta, possibilitando uma maior incisão do leito e intensificando a conectividade longitudinal, já bem estabelecida devido a sua base rochosa e a declividade do canal.

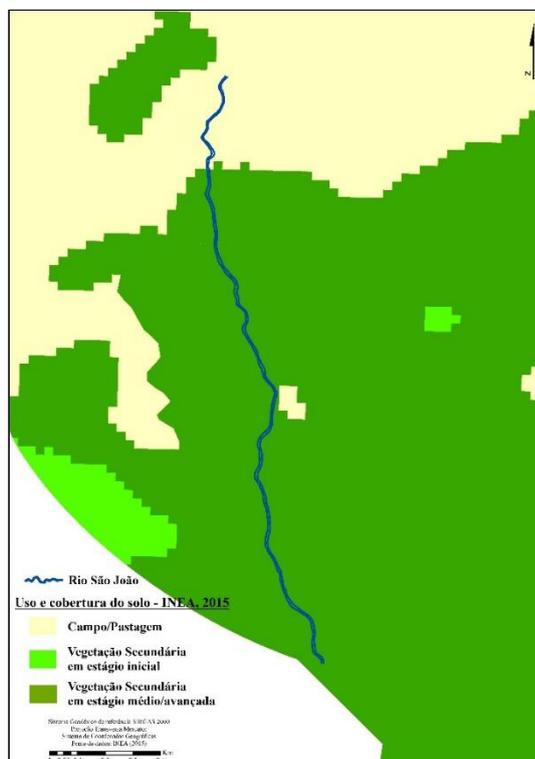
Este segmento do rio está inserido em um relevo montanhoso, decaindo de 720 a 230 metros ao longo dos seus 2,6 km de extensão, ou seja, um desnível altimétrico de 490 metros, sendo a porção com a maior declividade no canal, além de ter largura média de 2,5 metros (Tabela 5) com leito rochoso formado por blocos rochosos e cascatas (Figura 19). Além disto, está localizado dentro do Parque Natural Municipal Morada dos Corrêas no município de Rio Bonito, uma região de difícil acesso, cercada por propriedades privadas mas com boa preservação da vegetação (Figura 20).

Figura 19 – Vista em imagem de satélite e forma em planta do Estilo Fluvial Vale confinado, cabeceira íngreme



Elaborado por Rodrigo Correia dos Santos.

Figura 20 – Uso e cobertura da terra para o Estilo Fluvial Vale confinado, cabeceira íngreme



Elaborado por Rodrigo Correia dos Santos.

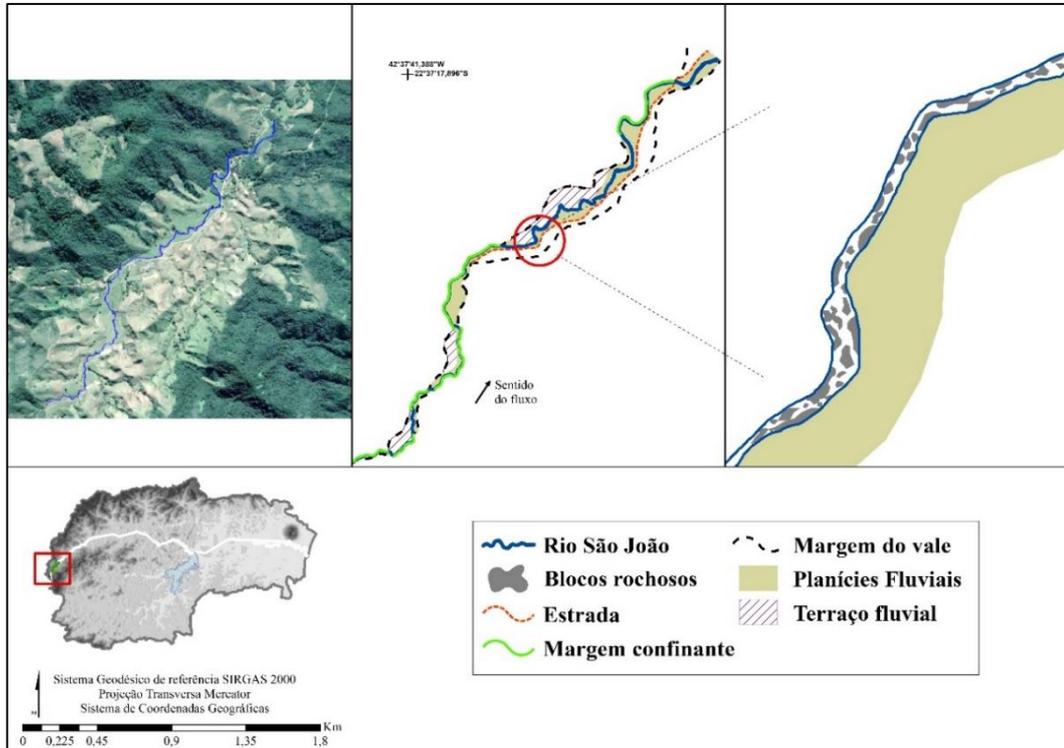
Logo após, se inicia o Estilo Fluvial **Vale parcialmente confinado, margem controlada pelo substrato rochoso, planícies descontínuas** (Figura 17 – A), também com um leito rochoso formado por blocos e matações mas sob condição de vale parcialmente confinado, o que lhe possibilita a formação de planícies fluviais de forma descontinuada e de terraços fluviais, além da deposição de sedimentos finos ao longo do canal devido à ação de barreira exercida pelas rochas (Figuras 21 e 22).

Está inserido em um relevo de transição, entre a base dos escarpamentos da região para planícies fluviais, a 230 metros e com desnível de 150 metros ao longo dos seus 5,2 km de canal contínuo, que possui largura média de 5,6 metros (Tabela 5) e sinuosidade classificada como “Baixa sinuosidade”, segundo Fuller *et al.* (2013), devido a seu índice ser de 1,28.

Quanto a sua vegetação e uso da terra, foi possível perceber em campo e remotamente a não existência de mata ciliar ao longo do canal e a ampla utilização das terras do fundo do vale para pastagens em propriedades privadas (Figura 23).

Assim, devido a suas configurações presentes neste estilo, sua dinâmica tende a uma manutenção das características que o compõe, com restrições na movimentação do leito e dando continuidade à ação erosiva do canal e do transporte sedimentar a jusante, já proeminente devido a declividade da região.

Figura 21 – Vista em imagem de satélite, forma em planta e unidades geomorfológicas do Estilo Fluvial Vale parcialmente confinado, margem controlada pelo substrato rochoso, planícies descontínuas



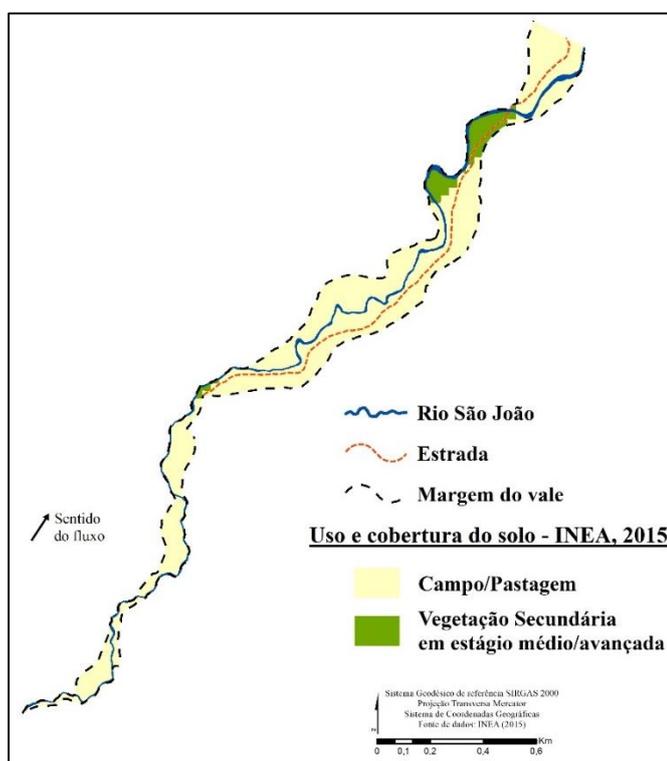
Elaborado por Rodrigo Correia dos Santos.

Figura 22 – Leito rochoso no Estilo Fluvial Vale parcialmente confinado, margem controlada pelo substrato rochoso, planícies descontínuas



Fonte: Arquivo pessoal.

Figura 23 – Uso e cobertura da terra do Estilo Fluvial Vale parcialmente confinado, margem controlada pelo substrato rochoso, planícies descontínuas



Elaborado por Rodrigo Correia dos Santos.

Logo após, está o Estilo Fluvial **Vale lateralmente não confinado, canal contínuo, baixa sinuosidade**, que se encontra em condição de vale lateralmente não confinado e possui leito arenoso (Figura 17 – A). Devido a sua característica sedimentar, são formadas dentro do canal barras laterais e de pontal que se distribuem heterogeneamente pelo segmento (Figura 24 e 25).

Este Estilo Fluvial se encontra em um relevo plano composto por planícies fluviais, entre altitudes de 70 a 50 metros e percorre 9,8 km com largura média do canal de 4,6 metros, apresentando uma sinuosidade classificada como “Baixa sinuosidade”, sem a presença de meandramentos espaçados ou largos (Tabela 5 e 6).

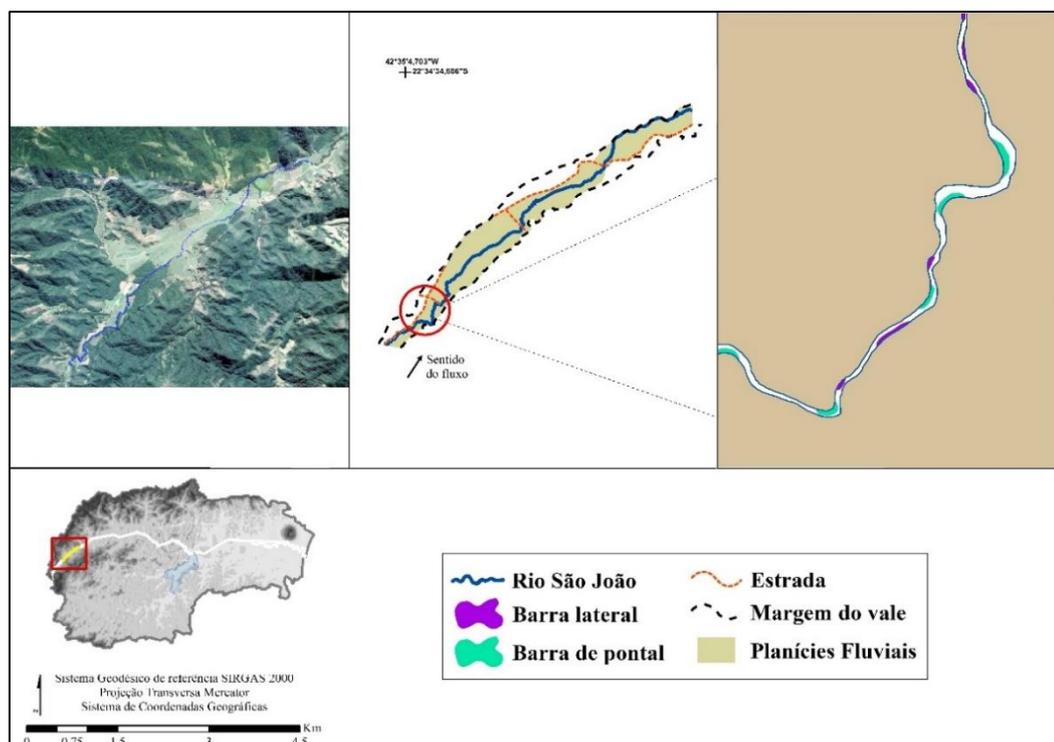
Neste Estilo Fluvial a influência humana nas proximidades do canal apresenta-se mais destacada em relação aos estilos anteriores, pois com o alargamento do vale fluvial também houve expansão nas dimensões das planícies fluviais, que se dão de forma contínua e são quase que completamente utilizadas para pecuária (Figura 26). Esta atividade limita a existência de vegetação em seu fundo de vale, restringindo-a á fragmentos arbóreos, a

predominância de gramíneas por toda a região e uma faixa de 20 a 30 metros de mata ciliar em alguns locais (Figura 27).

Estas características tornam esta região propensa uma elevação na taxa de geração de sedimentos, pois a junção dos fatores como a composição sedimentar da região, supressão de vegetação e o pisoteio do gado favorecem a desestabilização das margens e a erosão laminar. Desta forma, neste Estilo Fluvial há uma intensificação em seus processos de sedimentação, deposição e conseqüentemente de transporte, já que cada vez mais sedimentos arenosos chegam ao canal, devido ao colapso das margens, que por sua vez favorece a formação das barras arenosas e dispõe de uma maior quantidade de sedimento para ser transportado a jusante.

Levando-se em conta o fator da pressão humana para manutenção do terreno para a criação de gado, pode-se dizer que hoje o canal apresenta uma maior aptidão para ajustes verticais do que laterais, em condições normais de fluxo. Já em fluxos elevados a suscetibilidade das margens tenderiam a um maior entalhamento lateral e conseqüentemente a uma expansão da largura do canal e diminuição de sua profundidade.

Figura 24 – Vista em imagem de satélite, forma em planta e unidades geomorfológicas do Estilo Fluvial Vale lateralmente não confinado, canal contínuo, baixa sinuosidade



Elaborado por Rodrigo Correia dos Santos.

Figura 25 – Leito arenoso do Estilo Fluvial Vale lateralmente não confinado, canal contínuo, baixa sinuosidade



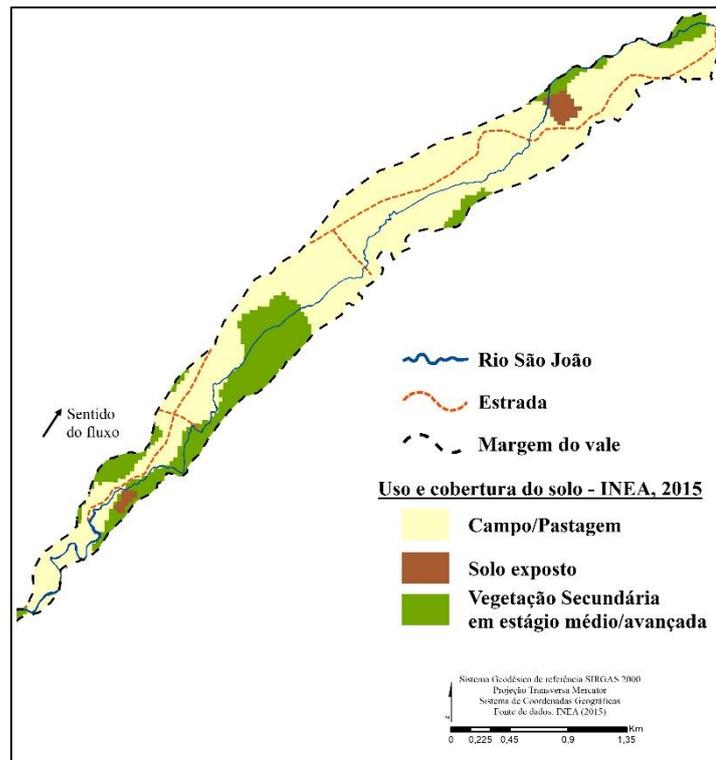
Fonte: Arquivo pessoal

Figura 26 – Uso pastoril da planície fluvial do Estilo Fluvial Vale lateralmente não confinado, canal contínuo, baixa sinuosidade



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 27 – Uso e cobertura da terra do Estilo Fluvial Vale lateralmente não confinado, canal contínuo, baixa sinuosidade



Elaborado por Rodrigo Correia dos Santos.

Em sequência é encontrado o Estilo Fluvial **Vale lateralmente não confinado, canal contínuo, sinuoso** (Figura 17 – A) também inserido em condições de baixa declividade e vale fluvial lateralmente não confinado e mantendo características como a existência de planícies contínuas e leito arenoso, mas apresentando uma maior heterogeneidade quanto a sua assembléia de feições dentro do canal, passando a ter não apenas barras laterais e de pontal mas também barras longitudinais (Figura 28).

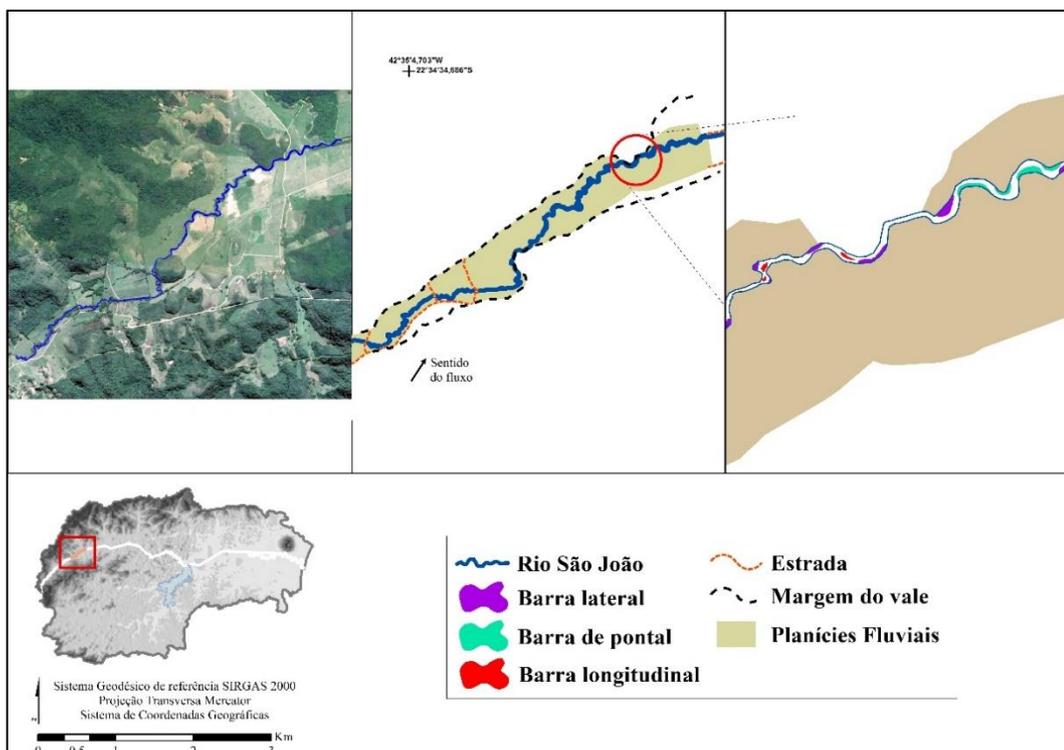
Este Estilo Fluvial varia entre 50 a 40 metros ao longo dos seus 7,8 km de extensão e largura média de aproximadamente 12 metros, apresentando uma ampla movimentação dentro do fundo de vale devido a suas características de vale e composição sedimentar, ocasionando um aumento de sua sinuosidade que volta a ser classificada como “Sinuoso” devido a seu índice de 1,5 (Tabela 6).

As feições encontradas neste trecho podem ser explicadas devido a suas características sedimentares e pelo meandramento que diminui a velocidade do fluxo, que propiciam a deposição. A geração de sedimentos disponíveis para a formação destas feições

geomorfológicas também tem a seu favor um aporte sedimentar intensificado devido as utilizações antrópicas das planícies fluviais, amplamente utilizadas para agricultura e pastagem, possuindo apenas fragmentos de vegetação ao longo do trecho (Figura 29). Somando-se a isto, embora o canal possua vegetação ao seu redor por todo o estilo fluvial, esta mesma se limita a faixas de 10 a 30 metros, sendo pressionadas pelas atividades antrópicas supracitadas.

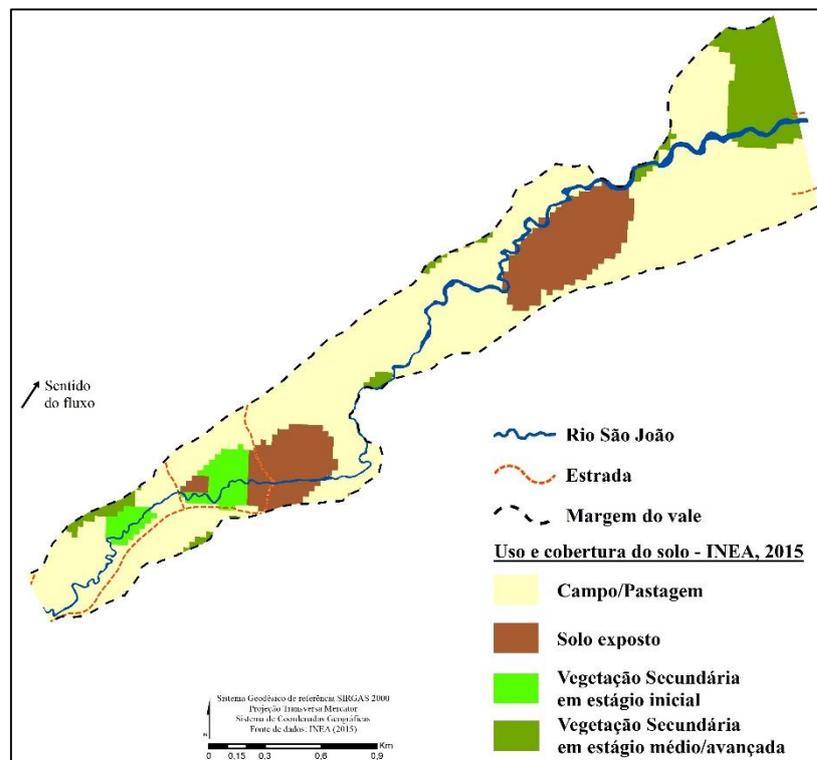
Quando todos estes fatores são correlacionados, é possível perceber que o canal neste trecho apresenta naturalmente uma instabilidade lateral devido a suas configurações, contudo, com a pressão antrópica o rio perde parte de sua conectividade lateral que apenas é retomada em eventos de fluxo elevado, quando o mesmo se torna capaz de retrabalhar e depositar em suas planícies, além de intensificar o transporte a jusante. E em condições de baixo regular, tendem a ser priorizados os processos longitudinais já existentes e os verticais, sobretudo a deposição no fundo do canal e a criação e/ou retrabalhamento de suas feições, já que as atividades humanas na região são passíveis de gerar um aumento na sedimentação para dentro do canal.

Figura 28 – Vista em imagem de satélite, forma em planta e unidades geomorfológicas do Estilo Fluvial Vale lateralmente não confinado, canal continuo, sinuoso



Elaborado por Rodrigo Correia dos Santos.

Figura 29 – Uso e cobertura da terra do Estilo Fluvial Vale lateralmente não confinado, canal contínuo, sinuoso



Elaborado por Rodrigo Correia dos Santos.

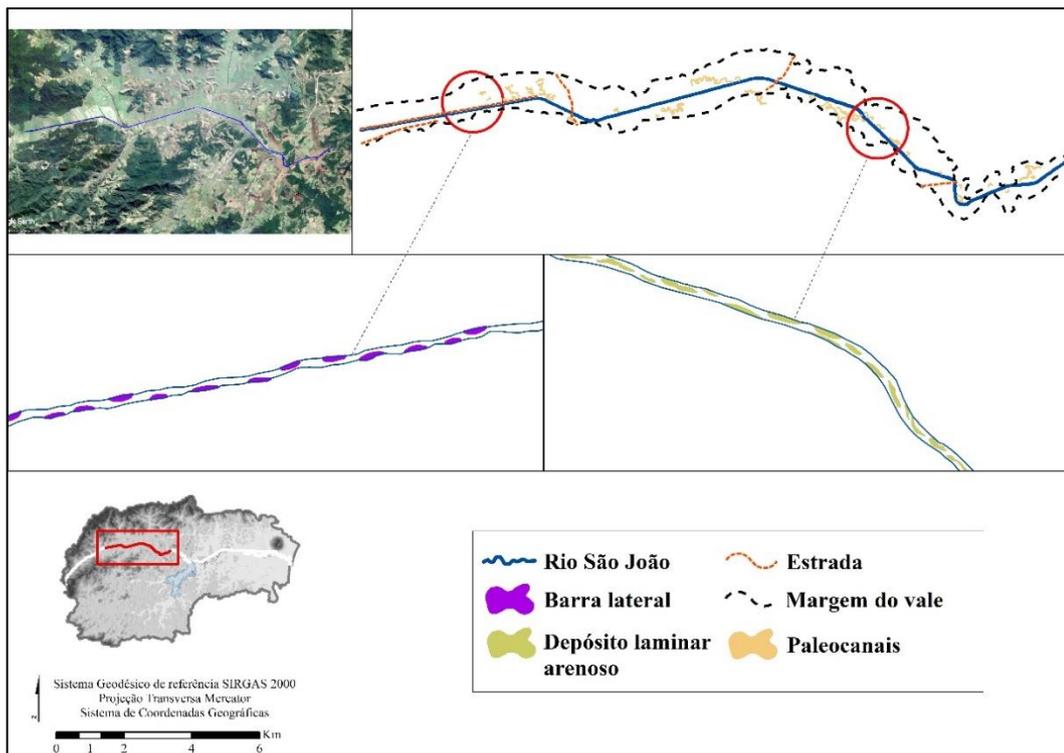
No segmento seguinte do rio São João, se encontra o primeiro trecho do Estilo Fluvial **Lateralmente não confinado, canal contínuo, baixa sinuosidade, canalizado** (Figura 17 – A), que é o trecho mais a montante do rio que passou pelo processo de retificação e que se localiza em um vale fluvial lateralmente não confinado deslocando-se próximo ao seu antigo traçado, lhe conferindo a existência de paleocanais em seu fundo de vale (Figura 30).

Assim como o trecho anterior, o canal permanece em um relevo composto por planícies fluviais, decaindo de 40 para 20 metros (Tabela 5) ao longo dos seus 24,6 km de extensão e 21 metros de largura média, além de permanecer a mesma composição sedimentar (Figura 31). Embora esteja em uma região de um amplo vale fluvial lateralmente não confinado (Tabela 6), não é possível delimitar com as suas planícies fluviais, já que além da retificação do trecho e da drenagem das antigas planícies, boa parte da região também conta com diques marginais para evitar extravasamentos, embora em eventos de alta magnitude o fluxo consiga superar estas limitações em algumas regiões.

Quanto a dentro do canal, este Estilo Fluvial possui dois tipos de feições características de rios arenosos, tendo logo no seu início barras laterais que criam uma sinuosidade dentro do canal retificado e após a confluência com o rio Pirineus apresenta depósitos laminares arenosos, evidenciando a contribuição sedimentar em grande volume do seu afluente (Figura 30).

Sobre a vegetação na região, a mesma se limita a pequenas porções na parte mais a montante e a jusante há vegetação nas encostas. Em sua zona intermediária se limita a faixas de vegetação arbóreas sob os diques artificiais, como forma de estabilização dos mesmos e possibilitando a utilização das zonas marginais ao canal para a pecuária (Figura 32).

Figura 30 – Vista em imagem de satélite, forma em planta e unidades geomorfológicas do Estilo Fluvial Vale lateralmente não confinado, canal contínuo, baixa sinuosidade, canalizado



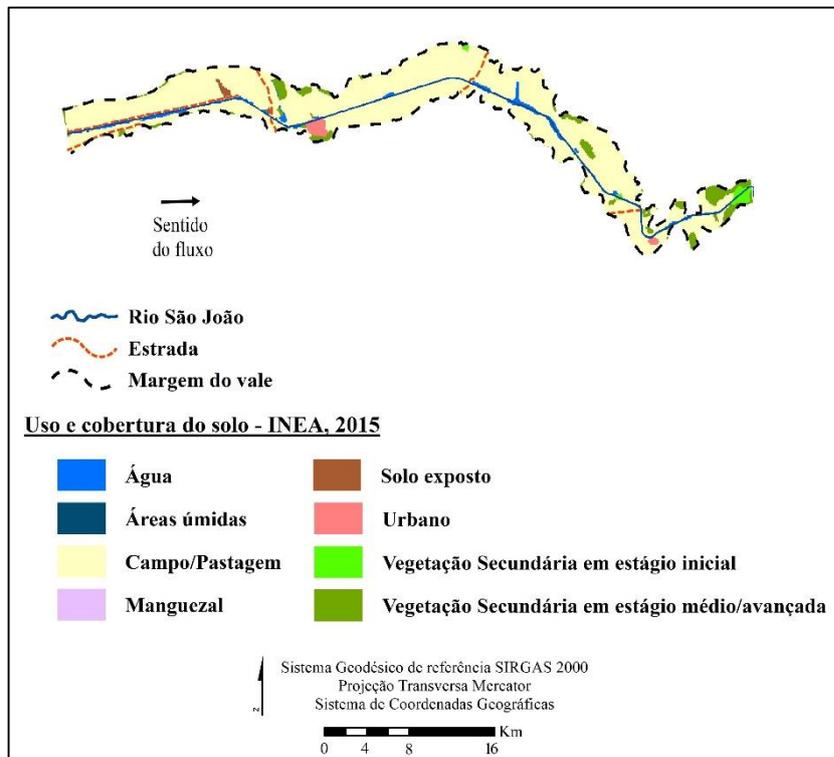
Elaborado por Rodrigo Correia dos Santos.

Figura 31 – Leito retificado do Estilo Fluvial Vale lateralmente não confinado, canal contínuo, baixa sinuosidade, canalizado



Fonte: Arquivo pessoal.

Figura 32 – Uso e cobertura da terra do Estilo Fluvial Vale lateralmente não confinado, canal contínuo, baixa sinuosidade, canalizado

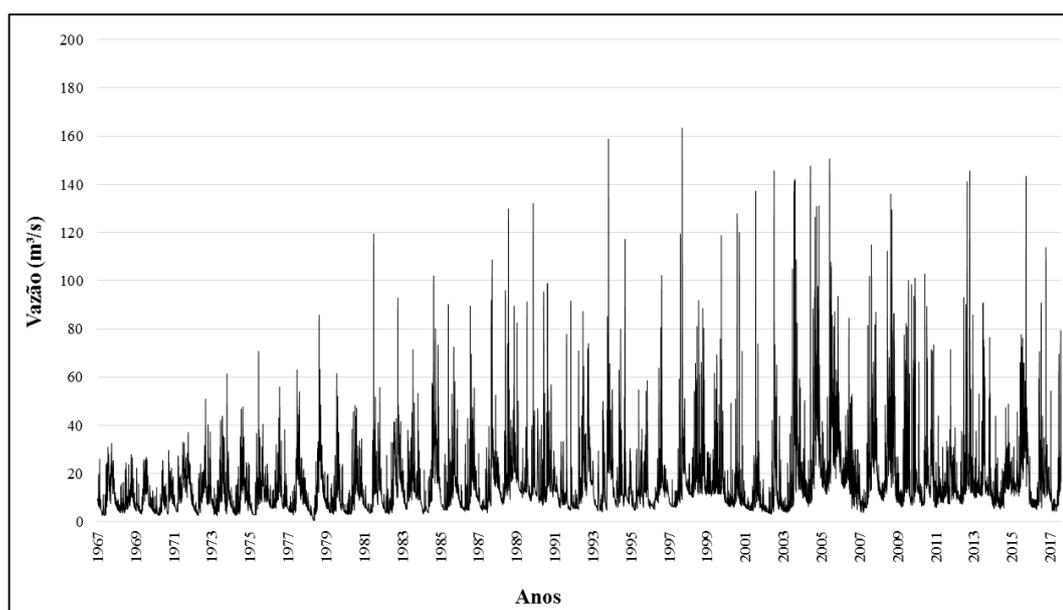


Elaborado por Rodrigo Correia dos Santos.

Neste segmento também há a única estação fluviométrica de todo o rio São João, a Estação de Correntezas¹². Com análise da série histórica, é possível observar na Figura 33 a existência de picos históricos máximos com valores superiores a 150 m³/s em abril de 1994, fevereiro de 1998 e novembro de 2005. É importante ressaltar que estes valores máximos, assim como a resposta geral, acompanham as tendências de precipitação anteriormente descritas, demonstrando uma boa resposta e conexão na relação entre encostas e canal. Contudo, se avaliados historicamente, estes números são muito elevados quando comparados aos valores antes da década de 1980, onde o valor máximo de vazão diária até então chegou a 80,7 m³/s em janeiro de 1979.

Em conjunto a este dado, é possível notar um aumento gradativo das vazões diárias também a partir da década de 1980, onde os valores superam os 100m³/s com frequência. Foi encontrado também um valor de 15,9m³/s como valor de vazão média para os cinquenta anos de dados analisados, sendo este valor maior em aproximadamente 45% quando relacionado a vazão do canal até o fim da década de 1970 (Tabela 7). Este valor médio de vazão diária encontrado é quase quatro vezes maior que o valor da vazão de estiagem previsto pra o rio São João atualmente, que é de 4,15 m³/s, encontrada através da curva de permanência exposta na Figura 34.

Figura 33 – Série histórica da estação Correntezas



Elaborado por Rodrigo Correia dos Santos.

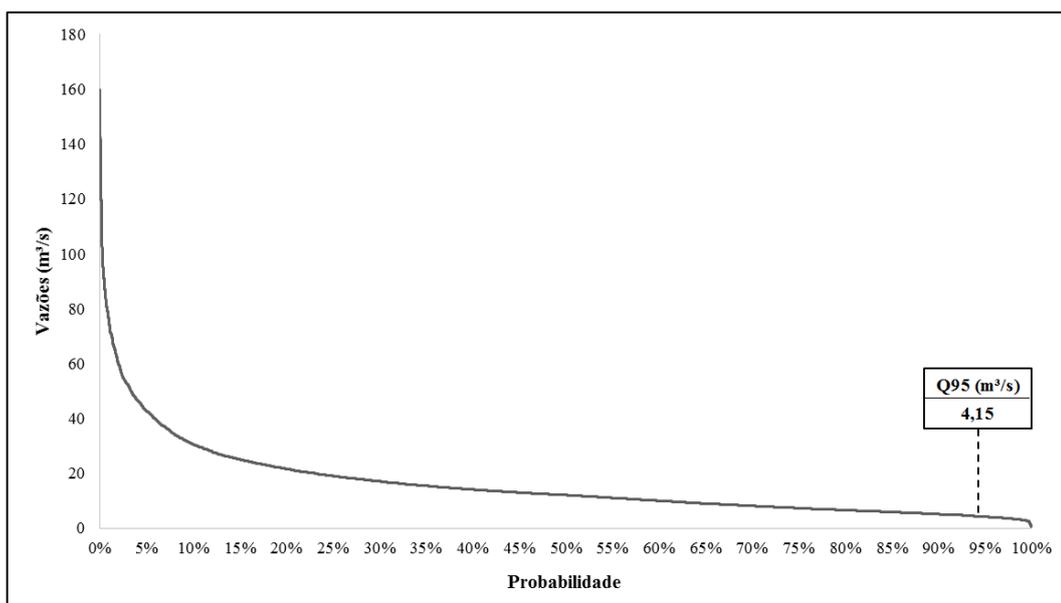
¹² Pág. 16.

Tabela 7 – Vazão média ao longo das décadas analisadas para a estação Correntezas

Período	Vazão média
1967 - 1979	11
1967 - 1989	12,8
1967 - 1999	14
1967 - 2009	15,5
1967 - 2018	15,9

Elaborado por Rodrigo Correia dos Santos.

Figura 34 – Curva de permanência para a vazão da estação Correntezas para obtenção do valor de Q95



Elaborado por Rodrigo Correia dos Santos.

Este valor de vazão de estiagem representa que em 95% do tempo o rio São João possui um fluxo superior a 4,15m³/s, sendo este número a referência para as condições mínimas de manutenção do canal. Contudo, acompanhando as tendências de aumento de vazão, este referencial mínimo também se alterou ao longo do tempo, sendo hoje aproximadamente 33% maior do que ao fim da primeira década completa de monitoramento (Tabela 8).

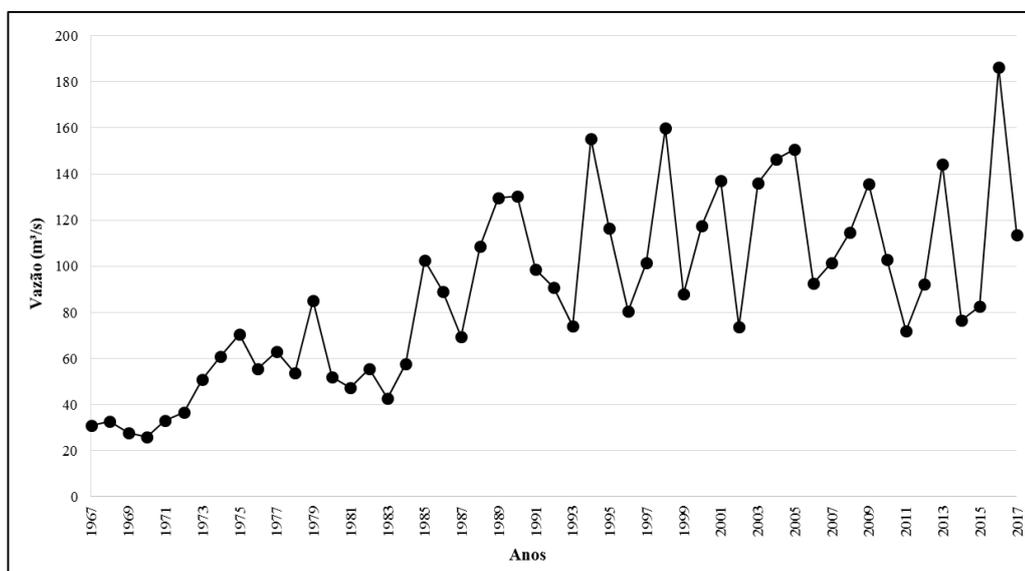
Já na Figura 35 também é possível identificar este elevado e gradual aumento a partir dos valores de vazões máximas anuais, sendo esta tendência iniciada ao longo da década de 1980 e podendo ser caracterizada principalmente por picos acima de 100 m³/s, intercalados com “depressões” detentoras de valores próximos a 80m³/s, que ainda assim são vazões muito acima do que as apresentadas nas primeiras duas décadas de monitoramento.

Tabela 8 – Q95 ao longo das décadas analisadas

Período	Q95 (m ³ /s)
1967 - 1979	3,12
1967 - 1989	3,55
1967 - 1999	3,83
1967 - 2009	4
1967 - 2018	4,15

Elaborado por Rodrigo Correia dos Santos.

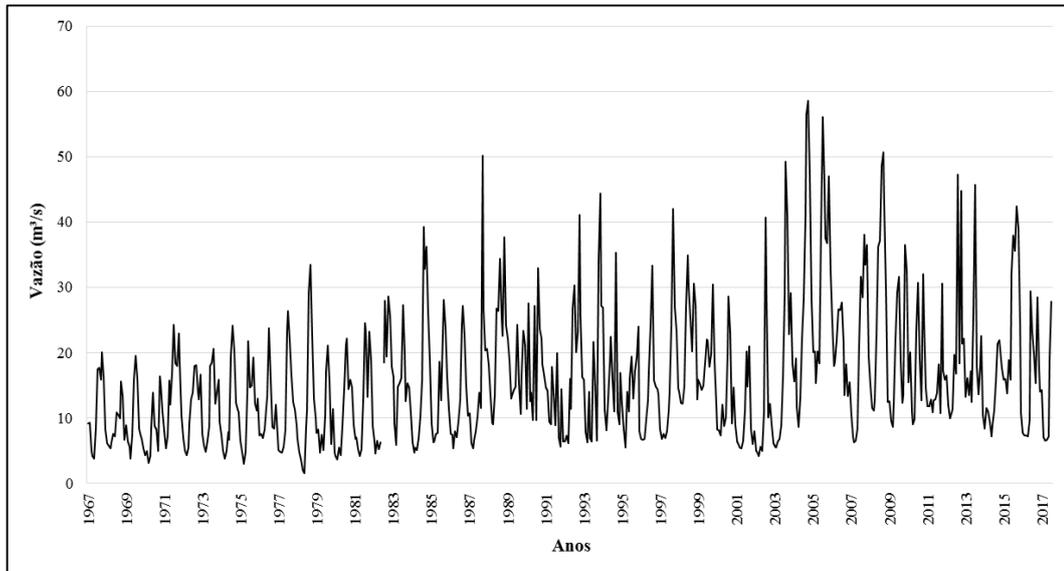
Figura 35 – Vazões máximas anuais para a estação Correntezas



Elaborado por Rodrigo Correia dos Santos.

Tendência ligeiramente parecida é encontrada quando se examina os dados por média mensal dentro dos anos analisados. A Figura 36 apresenta um evidente aumento nas médias mensais, que se inicia na década de 1980, onde a partir de então um acentuado número de meses alcançou médias superiores a 30m³/s. Estes números são bem discrepantes quando analisados os vinte primeiros anos de monitoramento, onde os valores médios mensais oscilavam principalmente entre vazões de 10 a 20 m³/s.

Figura 36 – Médias mensais para a estação Correntezas



Elaborado por Rodrigo Correia dos Santos.

Assim, embora os fluxos sejam quase que exclusivamente retidos dentro do canal retificado, o aumento gradual do fluxo ao longo das últimas décadas torna este trecho altamente propenso a incisão e eleva seu transporte sedimentar, principalmente em fluxos elevados. Já a falta de conectividade lateral se expressa principalmente em fluxos baixos, pois possibilita a sedimentação desta grande carga de sedimentos proveniente de suas regiões a montante e de seu afluente, sendo esta condição evidenciada pelas feições existentes no canal e sua ação meandrante dentro do leito retificado¹³.

Após este trecho modificado, está o Estilo Fluvial **Vale parcialmente confinado, controlado pela forma em planta, alta sinuosidade, planícies descontínuas** (Figura 17 – A), localizado dentro da REBIO Poço das Antas a montante da antiga Lagoa de Juturnaíba, em uma configuração de vale fluvial parcialmente confinado e tendo o canal composto por material arenoso com presença de barras de pontal na maioria dos meandros existentes (Figura 37).

O canal se encontra a 20 metros de altitude, em um relevo composto por colinas e planícies fluviais, percorrendo uma distância de 15,7 km, com largura média do canal de 15,7 metros e uma classificação de sinuosidade como “Tortuoso”, devido a seu valor de índice ser 2,2. Isto se deve principalmente pelas amplas planícies existentes, que se distribuem de forma

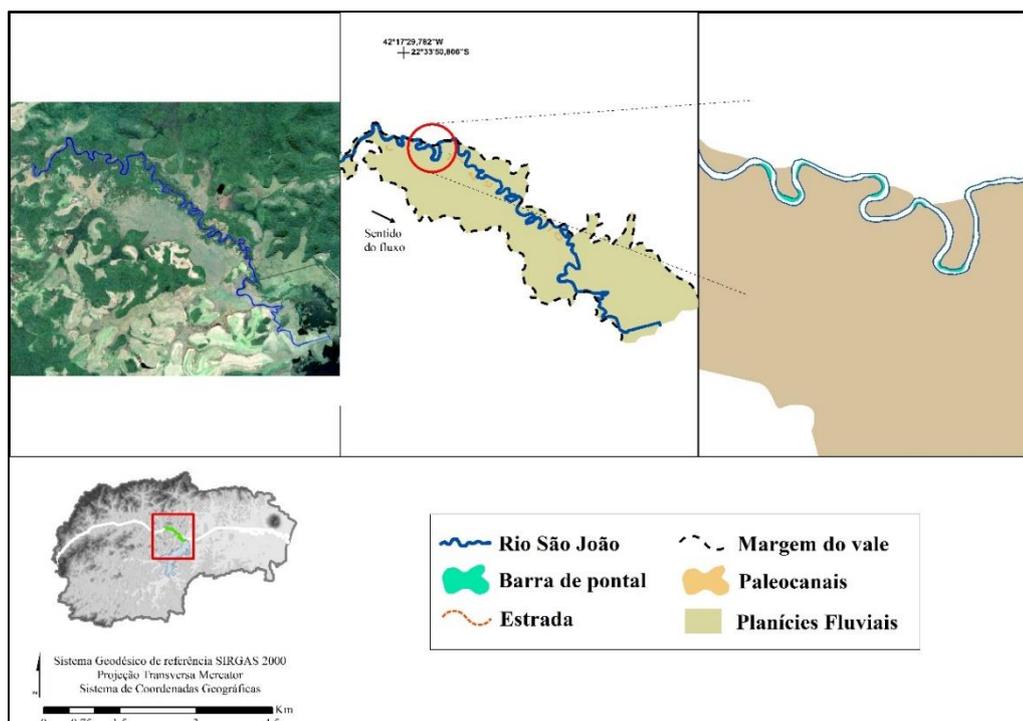
¹³ Pág. 79.

contínua em grande parte da margem direita e descontínua a montante na margem esquerda (Figura 37).

Por estar localizada em uma unidade de conservação federal, este segmento do rio é cercado por uma vegetação bem estabelecida, com mata ciliar em quase todo o canal, porém em sua porção a jusante já próxima ao Reservatório de Juturnaíba, a predominância se dá pela vegetação rasteira (Figura 38).

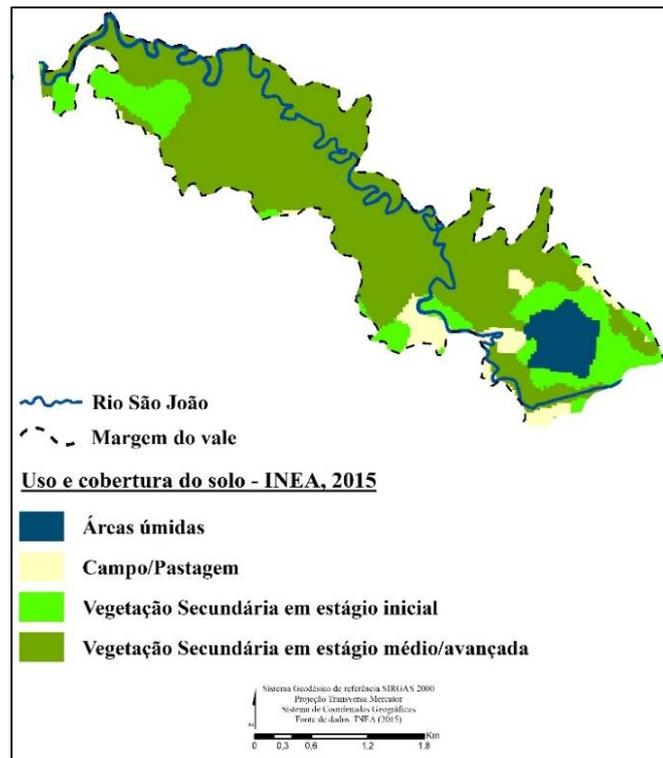
Assim, dada essas características de preservação apresentadas em conjunto a sua litologia granítica, este Estilo Fluvial possui baixa propensão a ajustes laterais em condições de fluxo baixos e moderados devido a boa estabilidade de suas margens, estando mais propenso a ajustes verticais e ao retrabalhamento/deposição em suas feições e planícies fluviais, devido à grande carga sedimentar proveniente de suas regiões a montante. Em condições de fluxo elevado, a tendência é que haja uma predominância de pequenos ajustes laterais e a intensificação do transporte de sedimentos para o Reservatório de Juturnaíba, dialogando com os relatos de Primo e Volcker (2003).

Figura 37 – Vista em imagem de satélite, forma em planta e unidades geomorfológicas do Estilo Fluvial Vale parcialmente confinado, controlado pela forma em planta, alta sinuosidade, planícies descontínuas



Elaborado por Rodrigo Correia dos Santos.

Figura 38 – Uso e cobertura da terra no Estilo Fluvial Vale parcialmente confinado, controlado pela forma em planta, alta sinuosidade, planícies descontínuas



Elaborado por Rodrigo Correia dos Santos.

Passado o reservatório, vem o segundo trecho do Estilo Fluvial **Lateralmente não confinado, canal contínuo, baixa sinuosidade, canalizado** (Figura 17 – A) que é o segundo trecho retificado do rio São João, que diferentemente da montante, este segmento está em uma posição espacial completamente diferente do seu antigo traçado, embora ainda seja possível observar seu antigo leito devido à presença de paleocanais. Está localizado em um amplo vale fluvial lateralmente não confinado, mas sem planícies fluviais bem delimitadas, devido à realização de obras que objetivaram a melhor utilização das terras da região (Figura 39).

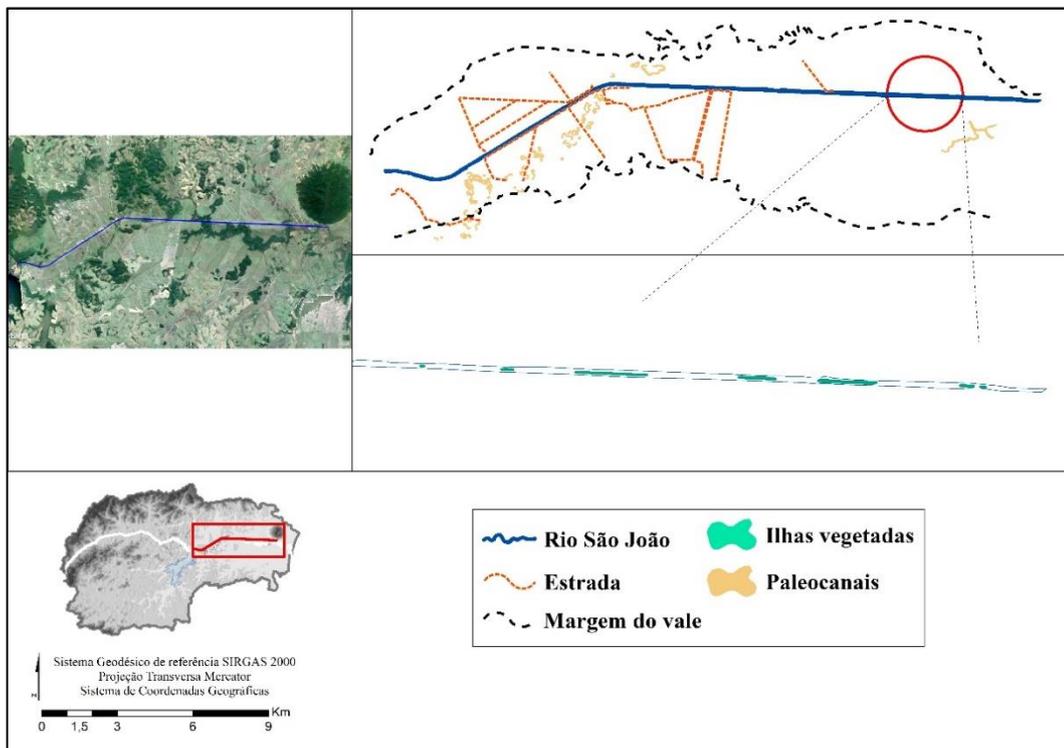
Por ser um canal artificial composto por material arenoso e com fluxos regulados também artificialmente, este trecho apresenta particularidades quanto ao seu aporte sedimentar, pois os sedimentos dos seus trechos a montante são quase todos retidos nos nivelamentos na barragem (Figura 40). Porém, a contribuição de seus afluentes pela margem esquerda, localizados a jusante da barragem, proporcionam uma substancial entrada de sedimentos, suficientes para a formação de ilhas fluviais.

Este Estilo Fluvial está localizado em uma região composta por planícies fluvio-marinhas sem desnível altimétrico, permanecendo a 20 metros de altitude ao longo dos seus 25,6 km e possuindo uma largura média do canal de 67 metros, o que representa um valor consideravelmente maior em relação aos seus trechos á montante.

Este segmento do rio São João, assim como quase todo da bacia, apresenta um amplo predomínio de pastagens e plantações em suas terras, além de alguns fragmentos de vegetação e a não existência de mata ciliar ao longo do canal (Figura 41).

Dessa forma, nesta porção do canal a regulação dos fluxos exercido pela barragem limita a conectividade lateral e longitudinal dos sedimentos no canal e também confere ao estilo um baixo potencial de retrabalhamento de suas feições além de um elevado potencial para deposição dos sedimentos vindos de seus afluentes a jusante do reservatório. Contudo, é importante ressaltar que sua conexão lateral é restabelecida apenas em condições de fluxo alto ou extremo, uma vez que a região é historicamente caracterizada como uma zona alagável, tornando possível esta retomada.

Figura 39 – Vista em imagem de satélite, forma em planta e unidades geomorfológicas do Estilo Fluvial Vale lateralmente não confinado, canal contínuo, baixa sinuosidade, canalizado



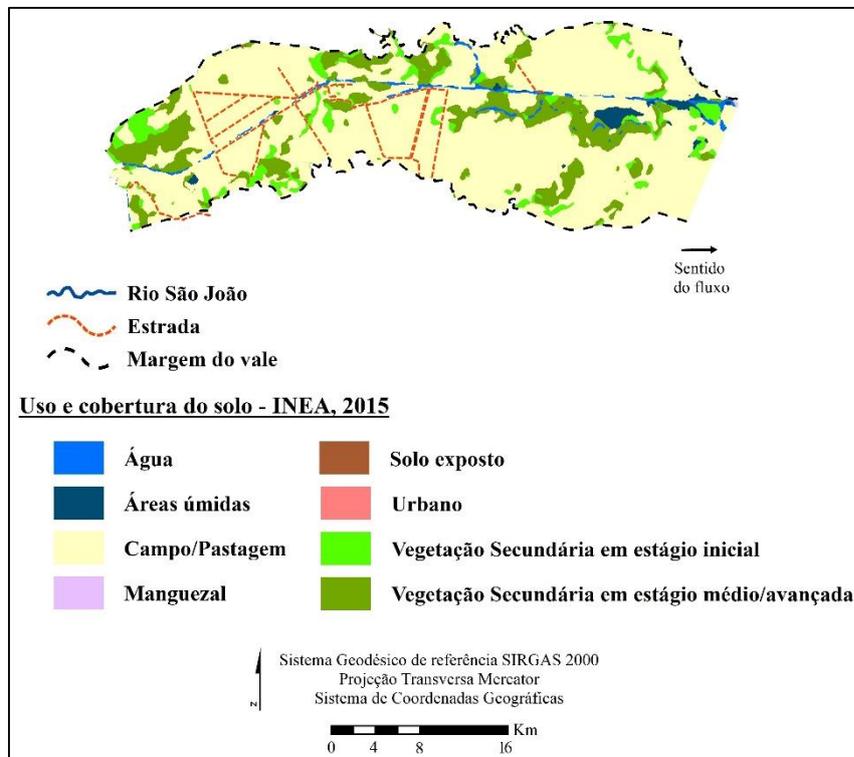
Elaborado por Rodrigo Correia dos Santos.

Figura 40 – Nivelamentos do Reservatório de Juturnaíba nas proximidades do vertedouro



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 41 – Uso e cobertura da terra no Estilo Fluvial Vale lateralmente não confinado, canal contínuo, baixa sinuosidade, canalizado



Elaborado por Rodrigo Correia dos Santos.

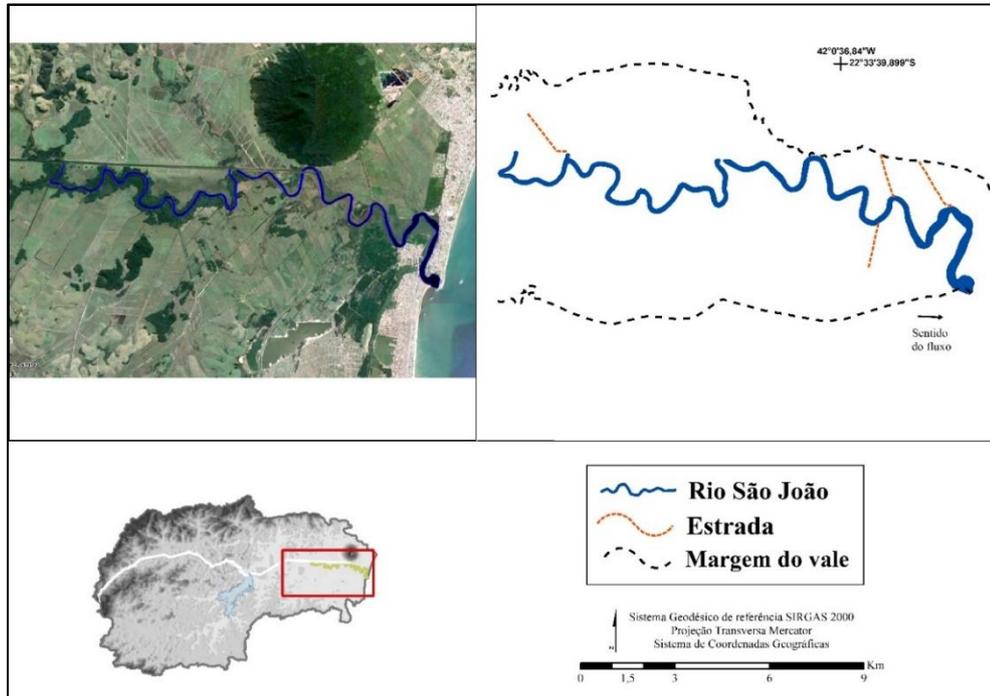
Em sua sequência e até encontrar o Oceano Atlântico em sua foz, está o Estilo Fluvial **Lateralmente não confinado, canal contínuo, alta sinuosidade** (Figura 17 – A), sendo este trecho a única parte do canal, em toda a sua extensão, a manter seu traçado “original” após as obras realizadas na bacia. Está inserido em uma configuração de vale fluvial lateralmente não confinado, com um canal contínuo e com um leito composto por areias médias a finas sem feições observáveis (Figura 42). Embora mantenha suas características ditas naturais, este trecho está em uma região de intensa utilização e ocupação humana, que interferem diretamente na dinâmica do fluxo, entrada de sedimentos e estabilidade lateral, não sendo possível definir a planície deste rio em condições normais, sabendo-se apenas que em condições de eventos extremos, age igualmente ao estilo anterior.

Este segmento percorre uma distância de 28,7 km, com largura média do canal de 71,5 metros e vai de 20 metros até o nível do mar. Possui uma sinuosidade classificada como “Tortuoso” devido ao seu índice ser no valor de 1,9, evidenciado pelo seu largo meandramento em um relevo formado por amplas planícies fluvio-marinhas

Possui mata ciliar e fragmentos de vegetação arbustiva próxima ao canal bem preservadas na região a montante do estilo, que se apresentam em largura variável e decrescente em direção a foz e dão suporte a um quase extinto manguezal e restinga na região (Figura 43). Também é neste Estilo Fluvial que está um dos principais núcleos urbanos da bacia, o Distrito de Barra de São João, que é uma das regiões mais populosas dentro da bacia. Embora este estilo mantenha seu traçado, ainda se trata de um canal sob intensa pressão antrópica que utiliza boa parte das terras do fundo do vale fluvial para pastagens, o que limita sua conectividade lateral.

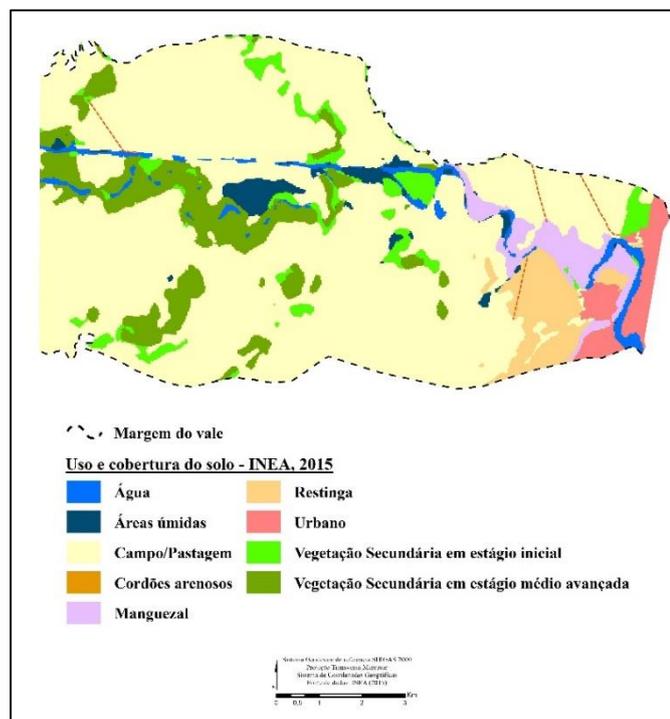
Este trecho também apresenta algumas interferências em seu fluxo, devido ao regime das marés que chegam nas proximidades do reservatório, sofre regulação exercida pela barragem e também influência dos pequenos canais de drenagem construídos ao longo da planície, o que lhe confere um aumento de fluxo, que não possibilitaria a formação de feições geomorfológicas e eleva sua conexão longitudinal até a foz.

Figura 42 – Vista em imagem de satélite e forma em planta do Estilo Fluvial Vale lateralmente não confinado, canal contínuo, alta sinuosidade



Elaborado por Rodrigo Correia dos Santos.

Figura 43 – Uso e cobertura da terra do Estilo Fluvial Vale lateralmente não confinado, canal contínuo, alta sinuosidade



Elaborado por Rodrigo Correia dos Santos.

Já o Estilo Fluvial **Vale lateralmente não confinado, canal contínuo, vale preenchido** (Figura 17 – A), embora não esteja presente ao longo do rio São João, é importante destaca-lo devido a sua representatividade dentro da bacia. Inseridos em uma configuração de vale lateralmente não confinado e com canal descontínuo, foi possível identificar apenas poucos trechos deste Estilo Fluvial, que são pântanos planos que acumulam sedimentos em suspensão à medida que o fluxo se espalha pelo fundo de vale.

Estão localizados a 20 metros de altitude, em uma região de planícies fluvio-marinhas, entre vales com largura média de 70 metros e possuem extensões inferiores a 2km, até sua confluência com segmentos retificados do mesmo canal. Em geral, são canais ricos em matéria orgânica que propiciam a manutenção do fluxo base em épocas de seca e são compostos por regiões a montante que tenham a erosão como processo dominante e deposição entre vales em zonas de colinas (MARÇAL *et al.*, 2017).

6.3 – Análise espaço-temporal da forma em planta do rio São João

6.3.1 – Forma em planta e morfometria

A partir do mapeamento das imagens USAF para o ano de 1964, foi possível obter a forma em planta do rio São João, possibilitando a extração de informações acerca do canal antes das grandes intervenções no seu sistema. Foi possível observar ao longo do mapeamento as informações já constatadas no levantamento histórico realizado¹⁴, e quando comparada preliminarmente a 2018 é possível observar que a bacia do rio São João apresentava uma vegetação mais densa e uma quantidade muito menor de casas, quando relacionado aos tempos atuais, tornando possível observar o canal em condições próximas as naturais, ainda sem grandes modificações, apenas algumas pontes sob ele.

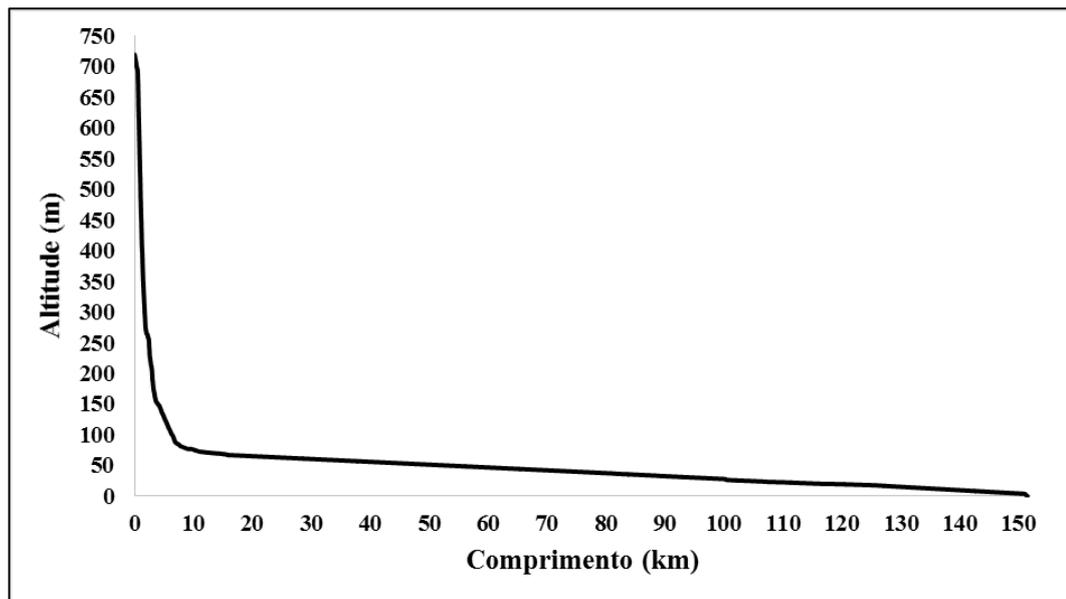
Através do mapeamento, foi possível comparar alguns dados morfométricos do rio São João, onde fica evidente a eficácia de modificação a qual ele passou com o tempo. Houve uma perda de aproximadamente 30 km de extensão do canal, seja por retificação ou por alagamento, fazendo a extensão do canal diminuir de aproximadamente 150 km (Figura 44) para 120km, impactando diretamente em outro índice, o da sinuosidade, que embora tenha permanecido na classe “Tortuoso”, apresentou um declínio numérico de 2,29 para 1,88.

O canal também apresentou uma diminuição em sua largura média máxima, já que mesmo com retificações alargando alguns trechos, a maior parte do canal apresenta-se sobre forte pressão antrópica e intensificação nos processos de geração e transporte de sedimentos, que ao longo dos 50 anos analisados, apresentam-se como os principais fatores geradores desta diminuição nestes valores (Tabela 9).

Também foi mapeada a antiga Lagoa de Juturnaíba, aonde é possível observar na Figura 45 a sua pequena ligação através do córrego Sangradouro com o canal principal, além das suas dimensões reduzidas quando comparada ao que é hoje, já que apresenta aproximadamente um quinto do tamanho que possui atualmente, na proporção de 8km² para os 43km² contemporâneos.

¹⁴ Pág. 25.

Figura 44 – Perfil longitudinal do rio São João para o ano de 1964



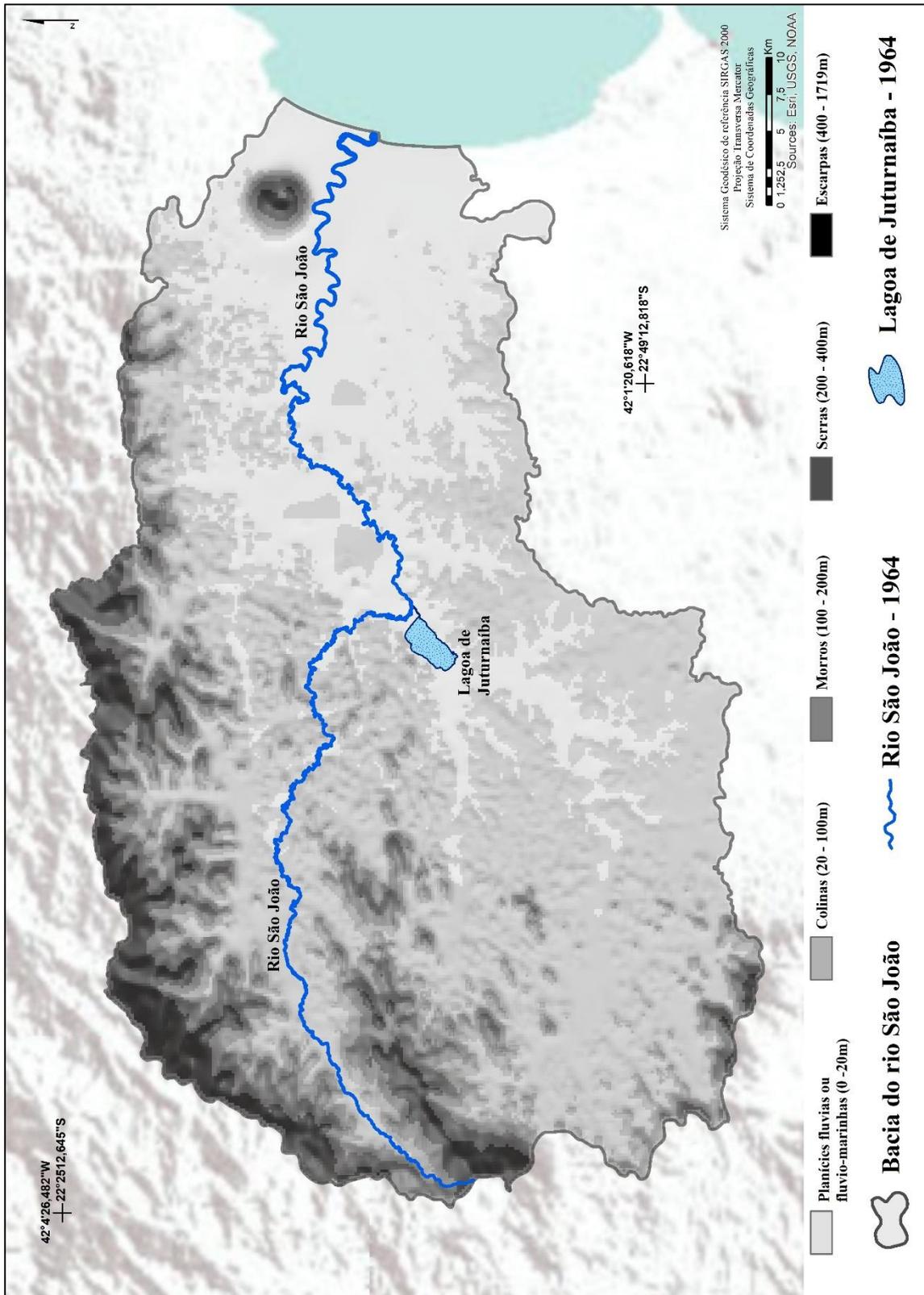
Elaborado por Rodrigo Correia dos Santos.

Tabela 9 – Comparação da morfometria do rio São João

Ano de referência	Extensão	Índice de Sinuosidade	Classificação da Sinuosidade	Largura máxima do canal	Largura média do canal
1964	151,2	2,29	Tortuoso	265	21
2018	119,8	1,88	Tortuoso	225	25,6

Elaborado por Rodrigo Correia dos Santos.

Figura 45 – Forma em planta do rio São João para o ano de 1964



Elaborado por Rodrigo Correia dos Santos.

Por fim, é importante ressaltar algumas dificuldades encontradas durante este processo, pois por se tratarem de imagens antigas e com variações no grau de conservação de cada uma, a tarefa de mapear um canal por muitas vezes não foi um ato simples.

A densa cobertura vegetal da época aliada a baixa resolução das imagens dificultou o mapeamento da região do alto curso, a qual corresponde principalmente a nascente do canal, trecho onde o canal se encontra com menor largura. Também é relevante pontuar que devido aos problemas supracitados inerentes de imagens antigas, não foi possível o mapeamento de feições geomorfológicas que seriam de vital importância para assimilação sobre o comportamento pretérito do canal, devido a problemas com a nitidez e resolução que impossibilitaram a aquisição deste dado.

6.3.2 – Evidências de ajustes geomorfológicos

Os rios, como elementos não estáticos da paisagem, constantemente ajustam sua morfologia em resposta as mudanças de condições a qual as bacias operam, onde as modificações e influências, diretas ou indiretas, tem potencial para impactar de diversas maneiras a forma como evoluem os canais fluviais. Assim, entender e avaliar as alterações temporais na morfologia dos canais de modo a identificar perspectivas de evolução de um canal, pode ser considerado como um aspecto-chave na gestão e manejo de um rio (BRIERLEY; FRYIRS, 2005).

Com o mapeamento da forma em planta do rio São João para os anos de 1964 e 2018, foi possível identificar e avaliar evidências de ajustes que ocorreram ao longo de mais de 50 anos. Os indicativos de ajustes identificados foram analisados quanto sua posição relativa dentro dos Estilos Fluviais identificados na pesquisa¹⁵, de modo a localizar os segmentos com maior facilidade/capacidade de ajuste diante de todas as influências existentes na bacia.

Foram distinguidos ajustes em quatro dos oito Estilos Fluviais do rio São João, sendo importante destacar também os estilos que não os tiveram, como o Estilo Fluvial **Vale confinado, cabeceira íngreme**, que devido as suas configurações litológicas e de relevo

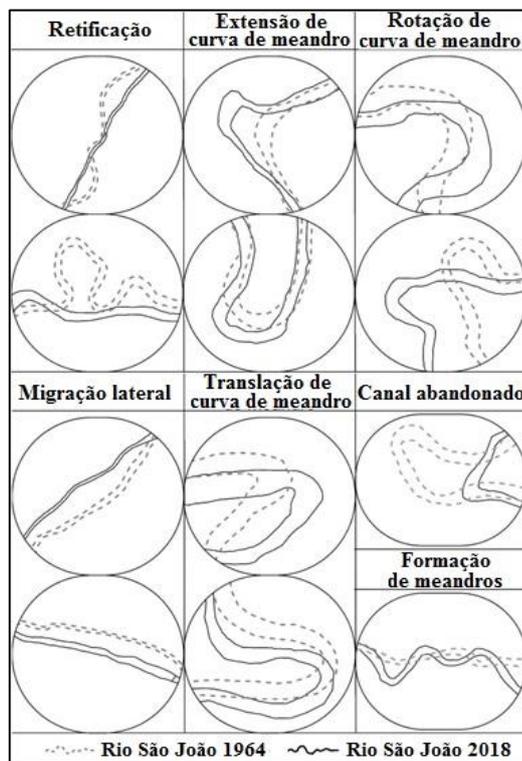
¹⁵ Pág. 69.

apresenta baixo potencial de ajustes e movimentação, corroborando com Brierley *et al.* (2002) que denota que rios confinados são considerados moderadamente resilientes a ajustamentos.

O Estilo Fluvial **Vale lateralmente não confinado, canal contínuo, baixa sinuosidade, canalizado** não apresenta ajustes erosionais por já ter sofrido ações diretas em seus trechos, o que impossibilita a naturalidade da sua dinâmica fluvial. Contudo a existência de barras laterais, identificadas em ambiente SIG, além de dialogar diretamente com os resultados de Pimenta (2014), demonstram um ajuste deposicional específico dentro da realidade deste Estilo Fluvial, o qual opera sob condições artificializadas.

E o Estilo Fluvial **Vale lateralmente não confinado, canal contínuo, alta sinuosidade**, embora não tenha sofrido interferências diretas em sua estrutura, está localizado em uma região de grande pressão antrópica, seja pela extensiva utilização de suas planícies para plantação ou seja pela regulação do seu fluxo exercida pela barragem, e assim também não apresentou evidências de ajustes observáveis durante os mapeamentos. Assim, nos outros quatro estilos fluviais foram identificados 67 evidências de ajuste geomorfológico, divididos em 7 categorias de ajustes erosivos de acordo com Fryirs *et al.* (2009) (Figura 46 e 47).

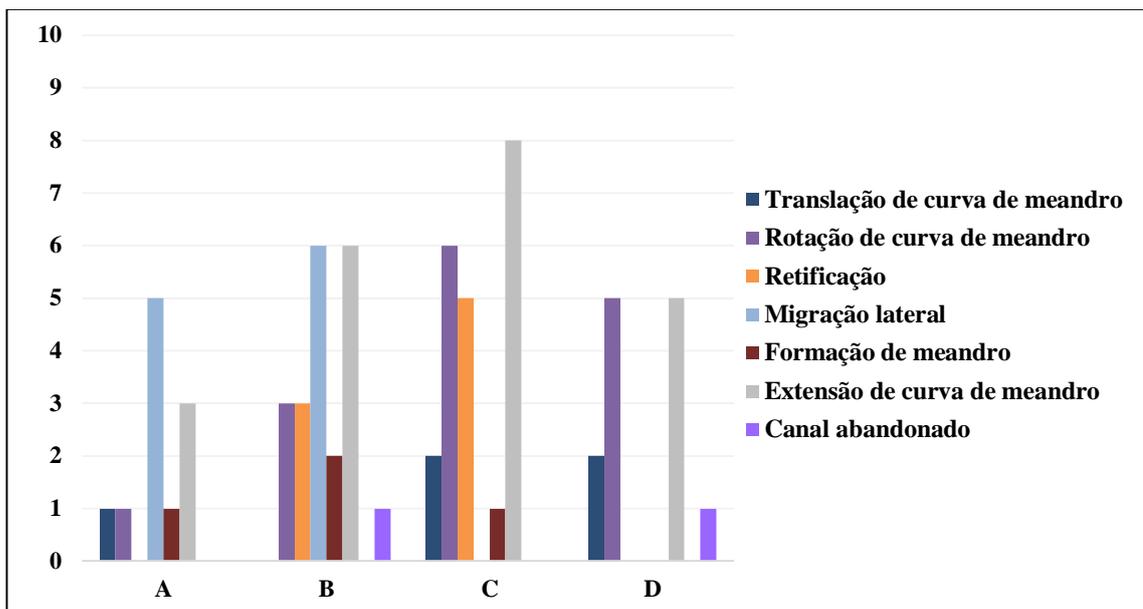
Figura 46 – Exemplos de evidências de ajustes geomorfológicos no rio São João



Elaborado por Rodrigo Correia dos Santos e baseado em classes extraídas e traduzidas de Fryirs *et al.* (2009).

Figura 47 – Tipos e quantidade de ajustes geomorfológicos por estilo fluvial

O agrupamento “A” é referente ao Estilo Fluvial Vale parcialmente confinado, margem controlada pelo substrato rochoso, planícies descontínuas; “B” é referente ao Estilo Fluvial Vale lateralmente não confinado, canal contínuo, baixa sinuosidade; “C” é referente ao Estilo Fluvial Vale lateralmente não confinado, canal contínuo, sinuoso; e “D” é referente ao Estilo Fluvial Vale parcialmente confinado, controlado pela forma em planta, alta sinuosidade, planícies descontínuas.



Elaborado por Rodrigo Correia dos Santos e baseado em classes extraídas e traduzidas de Fryirs *et al.* (2009).

No estilo fluvial **Vale parcialmente confinado, margem controlada pelo substrato rochoso, planícies descontínuas** foram identificados 11 evidências de ajustes, sendo predominante a migração lateral do canal, que corresponde a 45% dos ajustes neste Estilo Fluvial. Os pontos averiguados neste segmento não apresentam padronização de localização ao longo das formas do rio, ocorrendo tanto em curvas de meandro quanto em partes menos meandrantas. Neste estilo também foram encontrados evidências de extensão, rotação e translação em meandros e a formação de um meandramento.

Já no Estilo Fluvial **Vale lateralmente não confinado, canal contínuo, baixa sinuosidade** foram encontrados 21 pontos de ajuste, ou seja, 30% do total, com predominância para migrações laterais do canal e extensões de curvas de meandros. Neste estilo, os ajustes se distribuem sem uma padronização de localização.

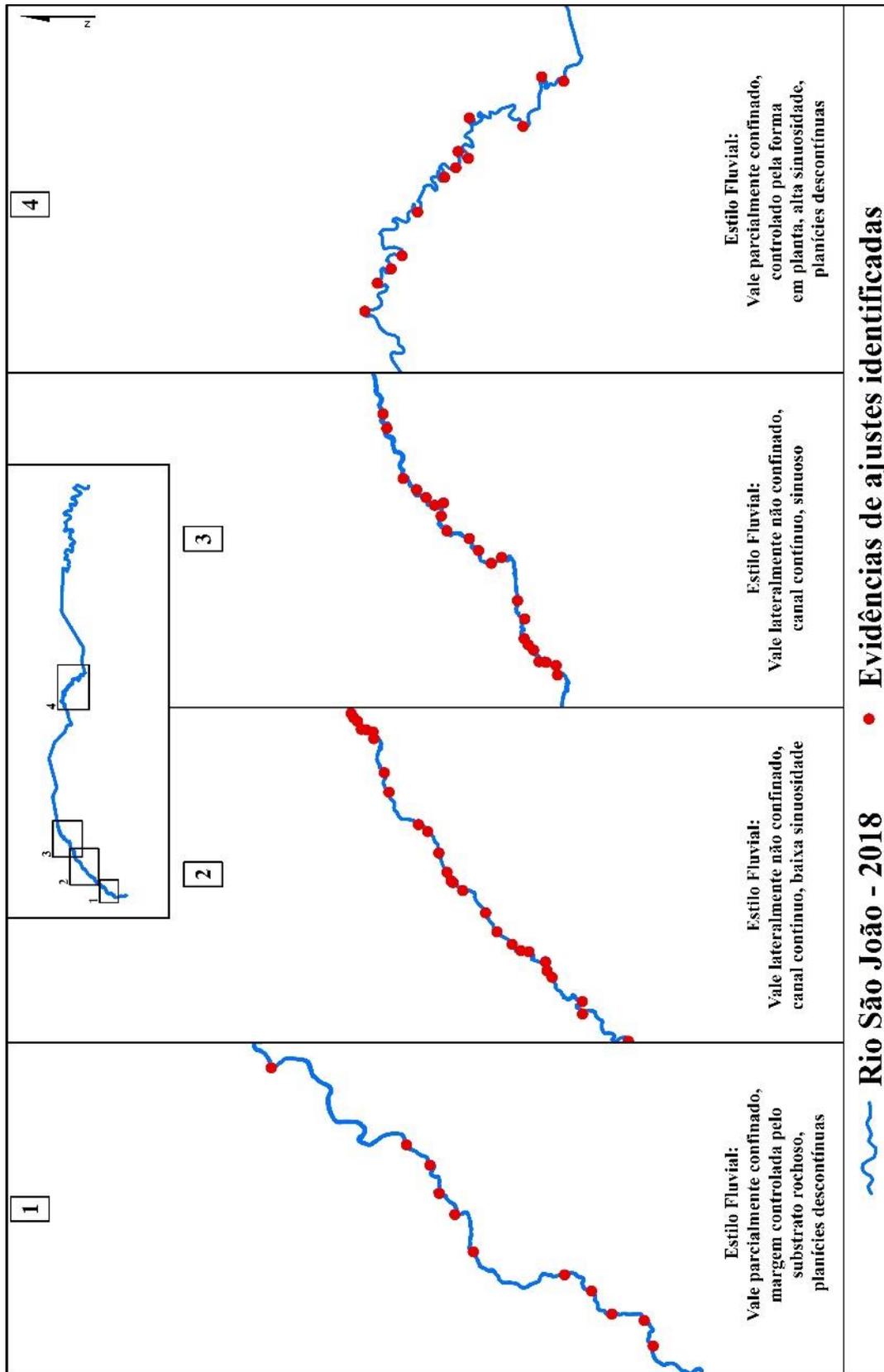
Assim como anterior, o Estilo Fluvial **Vale lateralmente não confinado, canal contínuo, sinuoso** também tem uma heterogeneização na localidade das evidências de ajustes identificados. Nesta porção do rio, foi encontrada a maior quantidade de indícios, um total de 22 ou seja, 32% de todos mapeados. Há um predomínio em modificações ocorridas em curvas de meandros, como extensões e rotações mas também é importante destacar a ocorrência de 5 ajustes classificados como “Retificação”, que corresponde a atribuição de um padrão mais retilíneo/menos meandrante, mas que neste caso não é oriundo de obras de impacto direto como as retificações ocorridas em outros trechos do canal.

Já no estilo fluvial **Vale parcialmente confinado, controlado pela forma em planta, alta sinuosidade, planícies descontínuas** foram identificados 13 indicativos de justes geomorfológicos, predominantemente localizados nas curvas dos meandros, com ênfase para as extensões e rotações dos mesmos. Este estilo se trata da parte mais preservada e visualmente com menos modificações ao longo de todo o rio São João, apresentando predominância de modificações nas curvas dos meandros, que representam 62% dos indicativos mapeados em todo o canal, demonstrando como o rio está se ajustando para comportar o aumento da velocidade do fluxo gerado pelas atividades humanas, fazendo a água percorrer um trajeto maior para adequação da mesma e possibilitar a continuidade do canal naquela dinâmica.

Assim, todas as evidências de ajustes mapeadas demonstram o potencial de deslocamento nestes Estilos Fluviais do rio São João, sendo eles naturais devido ao seu comportamento ou influenciados por fatores externos ao sistemas fluviais. Contudo, estes dados oferecem um panorama acerca da potencialidade de deslocamento que o rio São João possui mesmo que sob condições de uso e cobertura amplamente alterados e tendo diferentes partes do seus sistema de drenagem com características artificiais.

Por ser um canal predominantemente arenoso, movimentações laterais são esperadas (BRIERLEY; FRYIRS, 2005) como ações naturais as variações hidrológicas e climáticas ao longo do tempo, mas as especificidades a qual este rio apresenta, tanto atualmente quanto as que foi submetida ao longo das décadas, fazem com que todas estas evidências identificadas sejam reflexos de alterações processuais e na própria dinâmica fluvial (Figura 48).

Figura 48 – Evidências de ajustes morfológicos identificados no rio São João



Elaborado por Rodrigo Correia dos Santos.

VII – DISCUSSÕES

Com base nas informações de caráter e comportamento sobre o rio São João, é possível observar que o canal e sua bacia não apresentam um padrão típico: de origem, transferência e zona de acumulação, pois suas transições a jusante se dão de forma abrupta ao longo de sua extensão, uma vez que está diretamente associada a sua rápida mudança de declividade junto a um aumento da largura do vale e do canal.

Nos seus primeiros 2,5km de extensão, o canal decai aproximadamente 500 metros de altura, mudando de um relevo montanhoso para uma região em bases de encostas, que confinam parcialmente planícies fluviais de baixa declividade. Em pouco mais de 15km de extensão, o canal já apresenta um vale não confinante de aproximadamente 500 metros de largura, com a declividade próxima a 3% e passa de um leito rochoso para um rio predominantemente aluvial, com feições deposicionais e sinuosidade pronunciada.

Este padrão se mantém por quase toda sua extensão e é parte determinante na identificação dos Estilos Fluviais da bacia, pois a permanência de determinadas características faz com que as especificidades de cada trecho e o acúmulo das mesmas para sua porção a jusante sejam imprescindíveis na diferenciação dos sete Estilos Fluviais existentes no rio. A rápida transição de altitude e relevo condicionam o rio a se adaptar bruscamente a uma diminuição de velocidade do fluxo e um maior espaço para deposição, que em conjunto são responsáveis pela disponibilidade sedimentar do rio e pela formação das feições encontradas.

Assim, embora sejam levemente graduais, as pequenas diferenças de espaço, declividade e pressões externas dão subsídio para a distinção não apenas dos diferentes segmentos mas principalmente dos processos atuantes e dominantes em cada região do rio São João. Como um todo, o rio apresenta o processo deposicional como seu principal processo, sendo evidenciado pelas feições encontradas ao longo do canal e corroborando com os relatos de Primo e Volcker (2003).

Mas esta preponderância não se dá apenas a partir das características do canal principal, uma vez que a contribuição sedimentar de seus afluentes é de grande expressão (OLIVEIRA, 2005). A entrada dos afluentes, principalmente os da margem esquerda localizados na vertente norte da bacia, são um importante e relevante fonte de sedimentos para

o rio São João, aumentando suas zonas de acumulação e induzindo-o ainda mais a diminuição da sua energia.

Cunha (1995) relata que, as sub-bacias de primeira e segunda ordens são geralmente de alta declividade, com energia suficiente para carregar grande volume de material sólido e que ao aumentar a superfície de drenagem e chegar em confluências de maiores ordens na hierarquia de canais, aumentam as possibilidades de retenção de sedimentos nos setores menos íngremes. Além disto, boa parte destes afluentes percorrem por solos oriundos de depósitos do quaternário, o que representa que seus sedimentos são pouco evoluídos e mais friáveis, denotando já características propícias à geração de sedimentos arenosos.

E também, parte destes afluentes tiveram seu baixo curso modificados por obras, a fim de possibilitar que uma parcela maior dos seus solos fosse utilizada, em especial os rios Pirineus e Bananeiras, o que conseqüentemente gerou uma intensidade maior que a natural de transporte fluvial. Assim, onde naturalmente o rio São João já receberia uma relativa carga sólida de seus contribuintes, o canal passou a receber maiores quantidades de sedimentos, que por sua vez reforçam as características aluviais do rio.

Isto fica evidente ao longo dos estilos fluviais identificados que em sua transição a jusante vão apresentando variadas feições geomorfológicas, em quantidades e dimensões mais pronunciadas. A transição entre os estilos e suas características perpassam pelos incrementos a quais essa carga sedimentar está sujeita. Com a baixa declividade do canal e abertura gradual dos vales fluviais, os sedimentos disponíveis para o rio São João vão sendo dispostos em um canal cada vez mais largo e propiciando a formação e manutenção de maiores planícies de inundação.

Estas fatos são associado também a existência reduzida de vegetação ripária ao longo do canal, o que aumenta a geração de sedimentos e a instabilidade das suas margens, fazendo com que o canal se comporte de forma a condicionar toda esta carga que lhe é oferecida, seja na forma de barras laterais, longitudinais ou de pontal (HICKIN, 1984). E embora os estilos fluviais identificados apresentem uma boa conexão com seus seguimentos posteriores possibilitando este comportamento deposicional, estas condições forçam o canal a se adaptar as circunstâncias que lhe são impostas, gerando uma aparente dificuldade do mesmo em transportar uma grande carga de sedimentos e que é intensificada pelo desmatamento de encostas e margens.

Em contra partida, como os dados de vazão demonstram¹⁶, uma parte do rio São João apresenta um gradual aumento em seu fluxo, principalmente quando considerados os fluxos médios e mínimos. Estas mudanças hidrológicas foram propiciadas principalmente pelas retificações realizadas no século XX, que re-caracterizaram grandes extensões do canal principal, que foram identificados como o estilo **Vale lateralmente não confinado, canal contínuo, baixa sinuosidade, canalizado** e tornou suas regiões em grandes zonas de transferência a jusante e com conexões laterais reduzidas.

Esta transmissão intensificada é direcionada diretamente a outro dos estilos identificados, o **Vale parcialmente confinado, controlado pela forma em planta, alta sinuosidade, planícies descontínuas**, que devido a suas condições de preservação, ainda apresenta características que propiciem uma boa condição frente os demais estilos.

Este é o único Estilo Fluvial a não apresentar um aumento na largura média do canal, se comparado aos padrões a montante, além de também ser o único a ter sua mata ciliar e vegetação nas encostas preservadas. Isto faz com que este estilo se comporte de forma a melhor condicionar as consequências provenientes de suas partes a montante, mas ainda mantendo suas características como feições geomorfológicas e a alta sinuosidade, que são e eram comuns a todo o canal. Isto tudo, embora ainda receba um fluxo turbulento com sedimentos impossibilitados de depositarem naturalmente, demonstrando a boa eficiência em suas ações, sustentando a gama de sedimentos que lhe é imposta e atuando como uma zona de transferência a jusante. Porém, após este estilo fluvial está localizado o Reservatório de Juturnaíba.

Tanto a barragem quanto os trechos retificados, impõem ações diferentes das naturais ao rio São João e sua dinâmica. Estes e outros fatores externos/antrópicos, também são importantes elementos de determinação do comportamento do canal, induzindo modificações tanto diretas quanto indiretas. As retificações ocorridas na bacia, principalmente as realizadas no médio e baixo curso do canal principal, foram historicamente as primeiras grandes mudanças no rio São João, então conseqüentemente, são as que impactam diretamente em um maior espaço de tempo.

Cunha (1995) já apontava a perda de meandros, o aumento nos picos de fluxo e aprofundamento do leito, já Primo e Volcker (2003) relatam que após as obras de retificação no médio curso, o rio prosseguiu alargando seu canal as custas da erosão das barrancas,

¹⁶ Pág. 86.

tornando-se muito raso. Quando levado em consideração os dados fluviométricos, que também indicam o aumento da vazão média, máxima e da vazão de estiagem ao longo de 50 anos de dados, é possível perceber o impacto direto deste projeto.

Como já relatado por (BROOKES, 1985) um canal retificado passa a sofrer maior degradação, proveniente de velocidades de fluxo mais altas, maior transporte de sedimentos e possíveis instabilidades bancárias. Dessa forma fica evidente, tanto pela literatura quanto por pesquisas *in situ*, que o rio São João não apenas foi retificado, mas teve sua dinâmica modificada, impactando diretamente em seu caráter e comportamento ao longo do tempo.

Em conjunto a isto, ao longo do canal também foi realizada a transformação da Lagoa de Juturnaíba em reservatório, ampliando suas dimensões e modificando sua conexão longitudinal. A existência de barragens é um dos principais fatores de degradação ambiental em sistemas fluviais, não sendo diferente na bacia do rio São João. Elas são responsáveis principalmente pela modificação na distribuição de frequência de inundação quanto a natureza da carga de sedimentos a jusante (PETTS, 1979) pois sua eficiência para retê-los é de praticamente 99% (WILLIAMS; WOLMAN, 1984).

Isto obriga o sistema a entrar em uma nova fase de equilíbrio, com mudanças nos processos de assoreamento e degradação (GHOSH; GUCHHAIT, 2014), podendo perturbar o sistema fluvial tanto a montante como a jusante do reservatório, principalmente em regiões tropicais e associadas a regiões com erosão do solo (BRANDT, 2000). Todos estes efeitos são observados na bacia do rio São João, onde relatos de Pfaltzgraff (1994), Cunha (1995), Primo e Volcker (2003) e Oliveira e Mello (2007) já indicavam indícios ou a indução de processos de assoreamento no reservatório e em seus canais retificados. Além disso, o baixo investimento em infraestrutura da barragem, lhe conferiu a classificação de “Barragens indicada pela fiscalização com algum comprometimento estrutural importante”, de acordo com o Relatório de Segurança de Barragens de 2017 (ANA, 2018).

Outro problema enfrentado é a degradação a jusante da barragem, pois não só este trecho artificial do rio São João é retificado, como ainda apresenta potenciais de erosão do canal na região próxima à barragem, devido à combinação de águas “limpas” junto a mudanças constantes no regime de fluxo (LEOPOLD *et al.*, 1964). Assim, as retificações e o represamento das águas do rio São João, são possivelmente as mudanças mais aparentes e citadas quando analisados dados e referências ao longo do tempo, contudo, não apenas as

grandes e notáveis alterações diretas ao canal são capazes de ocasionar variações na sua dinâmica.

Pequenas e indiretas mutações, principalmente as não consideradas ou consequentes dos projetos de modificação, condicionam dia a dia as ações e a existência de um rio, sendo uma dessas importantes resultantes as intensas mudanças de uso e ocupação de suas terras. Como os resultados indicam, a bacia do rio São João passou por importantes modificações em suas terras ao longo dos anos analisados nesta pesquisa e também ao longo dos últimos séculos. Seabra (2012) denotou que 39% da área da bacia passou por mudanças de uso e cobertura da terra entre 1975 e 2010, sendo importante destacar não apenas o crescimento populacional de aproximadamente três vezes neste período, mas principalmente o aumento da área ocupada para uso urbano, que se tornou cem vezes maior na mesma escala de tempo.

Porém, o fato mais importante quanto a estas consequências é o intenso uso do solo e o desmatamento associado, tanto da vegetação de encostas quanto de mata ciliar. Hoje a bacia se caracteriza principalmente por ser ocupada por amplas zonas de pastagem, com porções de vegetação preservada em localidades específicas e apenas pequenos fragmentos dispersos de vegetação ripária ao longo do canal principal.

Esta supressão de vegetação na região é um fato histórico, que perpassa por diferentes ciclos econômicos. Os registros das atividades de usos dos solos danosos a Mata Atlântica na área da bacia datam do século XVI, com ênfase para a extração de madeira. Com o passar dos séculos, diferentes formas de uso da terra foram predominantes, com ênfase para o cultivo do café no século XIX e que no século XX, mas propriamente na década de 1950, teve a pecuária e a extração de carvão como as duas principais atividades na região (LIMA-GREEN, 2008).

Assim, embora não sejam fatos ocorrido na transição temporal a qual a pesquisa se baseou, a relação do uso do solo e desmatamento faz parte da história da bacia e se perpetuam até hoje. Pois embora Seabra (2012) relate pequenos fragmentos de recuperação florestal em regiões montanhosas, o que na escala da bacia represente muito pouco, os dados¹⁷ demonstram que ao longo de 40 anos, praticamente houve apenas uma manutenção do estado da vegetação, ou seja, não há avanços na recuperação florestal e ambiental.

¹⁷ Pág. 65.

Seabra (op. cit.) ainda relata em seu estudo que 60% da áreas de pastagem de toda a bacia estão presentes na paisagem desde antes de 1975, principalmente localizadas nas planícies aluviais, que são as porções com o pior estado de conservação e o que demonstra o impacto direto da pressão humana sobre esta feição do rio São João e uma interferência nos processos da dinâmica fluvial do canal como um todo.

Estas ações vão de encontro a uma extensa literatura que relata o potencial de degradação destes tipos de ações, sejam sobre os solos, canais fluviais e bacias hidrográficas como um todo. Knox (2001) relata que o desmatamento, cultivo e pastagem empobrecem a matéria orgânica do solo, e que por sua vez, resultam em um aumento no fluxo terrestre, descolamento de partículas de solo, erosão superficial e sedimentação a jusante (ESHLEMAN, 2004).

E isto pode ser intensificado, como no caso do rio São João, pois é associado ao sobrepastoreiro a aceleração do escoamento superficial e a erosão do solo (KNOX, 2001), que se atuando em conjunto a retirada de mata ciliar, também pode aumentar o escoamento, desestabilizando os bancos arenosos dos canais e propiciando o assoreamento do mesmo, através da introdução de sedimentos finos (GORDON; MEENTEMEYER, 2006).

Isto porque a forma e a estabilidade lateral do canal, dependem da força dos materiais bancários e podem ser influenciados significativamente pelas propriedades da ligação da vegetação presente sobre e perto das margens do rio (HICKIN, 1984) que inibem a erosão e melhoram a sedimentação para formação de planícies (GRAMS; SCHMIDT, 2005; GORDON; MEENTEMEYER, 2006; LI *et al.*, 2016).

Assim, a consequência de todas estas ações dentro da bacia e do próprio rio São João podem ser evidenciadas também a partir dos relatos de Oliveira e Mello (2007) sobre como uso pecuário na bacia é significativo, tanto em área como em importância, principalmente para a erodibilidade dos solos, pois o pisoteio do gado é responsável pela compactação do solo e conseqüentemente o aumento do escoamento superficial, agravando assim, o risco de erosão laminar.

Oliveira e Mello (op. cit.) evidenciam também que as mudanças no canal quando associadas principalmente ao uso do solo para atividades agropastoris e ao desmatamento em topos de morro, geram o aumento tanto da represa quanto dos principais canais da bacia. Também exemplificam a concentração de partículas, acumulados ao longo de diversos canais

e pela concentração de sedimentos em suspensão na parte sul da represa Juturnaíba, próximo à desembocadura dos rios Capivari e Bacaxá, sendo assim possível afirmar que os afluentes da margem sul da represa, podem ser considerados os agentes mais importantes no aporte de material em suspensão para a mesma.

Assim, quando associamos a execução de obras como retificações e barragens em conjunto ao desmatamento e intenso uso pecuário do solo, fica evidente o poder de degradação a qual a bacia do rio São João enfrenta e como sua dinâmica é alterada continuamente, fazendo com que seu canal principal precise se adaptar a condições de sedimentação elevadas e baixas condições de conexão lateral e longitudinal.

Contudo, é relevante destacar também outro fator contribuinte da intensificação na geração e acúmulo de sedimentos nos canais e represa, que seria por sua vez a ação das chuvas. Como pôde ser visto nos gráficos anteriores¹⁸, o padrão de chuvas na bacia do rio São João apresenta uma variação que se inicia no fim do século XX, onde as três estações pluviométricas apresentam tendências similares, com um crescimento dos totais anuais de chuva acumulada e novos recordes de máximas de chuvas diárias.

Este aumento de chuvas segundo os dados históricos analisados em conjunto as modificações na bacia, dialogam com bastante clareza com as mudanças globais no clima. São evidenciadas grandes mudanças ocorridas ao longo dos últimos anos ao redor do globo, decorrente de grande contribuição humana e que conferiram a primeira década do século XXI como a mais quente desde 1850 (WMO, 2013).

O aumento destas temperaturas é apenas um dos fatores que podem influenciar a dinâmica de chuvas em uma bacia hidrográfica, contudo, por ser uma tendência global e que implica diretamente no input de energia aos sistemas de drenagem, estas mudanças são refletidas diretamente aos canais, assim, não excluindo seus efeitos também sob o rio São João. Estes efeitos são expressos principalmente através dos dados fluviométricos existentes, que embora sejam restritos a apenas uma única estação em uma porção retificada do canal, ela apresenta uma tendência similar¹⁹ aos aumentos das chuvas.

Assim, estas informações que demonstram este aumento na pluviosidade da região, tem grande potencial de gerar respostas diretas ao canal, como o aumento do potencial de fluxo, transporte de sedimentos longitudinalmente e a remoção detrítica das vertentes, descrita

¹⁸ Pág. 16, 17 e 18.

¹⁹ Pág. 86.

por Christofolletti (1990) como a maior fonte de sedimentos dos canais fluviais. E ainda, estes efeitos ainda podem ser acentuados devido as características da bacia que foram anteriormente descritas, uma vez que há grande relação entre o controle hidrológico com o uso da terra e desmatamento.

Contudo, embora o rio São João seja majoritariamente composto por areais muito grossas a médias (OLIVEIRA; MELLO, 2007), tendo suas feições e processos altamente dependentes das variações do fluxo, se faz importante a diferenciação dos distintos segmentos do canal.

Nas regiões não retificadas, a associação de maiores níveis de chuvas com o uso da terra, favorecem a erosão do solo com conseqüente acentuação do aporte de sedimentos para o canal, respaldando a exposição de Leopold *et al.* (1964), que sugere que mesmo em áreas de baixa precipitação e uma vegetação escassa, um aumento na precipitação e escoamento produz um aumento do rendimento de sedimentos para os canais.

Já nas porções retificadas, embora haja também este aumento na quantidade de sedimentos proveniente de suas planícies, a concentração e turbulência do fluxo geram tendências de maior transporte sedimentar a jusante e também a ação de processos erosivos, tanto das margens artificiais quanto do leito. Esta disposição corrobora com a estimativa de maior aporte de sedimentos ofertado para o Estilo Fluvial **Vale parcialmente confinado, controlado pela forma em planta, alta sinuosidade, planícies descontínuas**. Toda esta quantidade de sedimentos disponível para o canal foi responsável pelo interesse econômico na extração de areia na região, que ocorreu entre as décadas de 70 ao início do século XXI, no município de Silva Jardim (OLIVEIRA; MELLO, 2007).

De acordo com Fornassari (1984, apud PFALTZGRAFF, 1994), a extração de areais dos leitos fluviais geralmente ocasiona o rebaixamento excessivo dos rios, alterações na geometria das margens e taludes laterais, destruição da vegetação, rebaixamento do lençol freático, formação de lagoas artificiais e erosão dos solos.

Já Roell (1999), indica como resultado da extração, a desestruturação da dinâmica sedimentar do rio a qual sofre a ação. Oliveira e Mello (op. cit.) assinalam uma possível aceleração na velocidade de escoamento fluvial, devido à extração de areia em grandes profundidades, além da suspensão de sedimentos finos e da obstrução dos canais fluviais pelo descarte de parte de equipamentos da atividade mineradora.

Também afirmam que a região de seu estudo, localizada no médio curso do rio São João, possui rápida e contínua reposição sedimentar, mesmo nos períodos de menor precipitação e sugerem que a retificação dos canais promoveu um incremento de energia e carga sedimentar de arrasto. Assim, embora a dragagem de areia do rio São João tenha se encerrado a mais de uma década, esta atividade foi por muitos anos mais um dos impactos a modificar diretamente o canal e quando associada a todas as outras interferências, é possível analisar o quanto elas contribuem para como o rio é hoje.

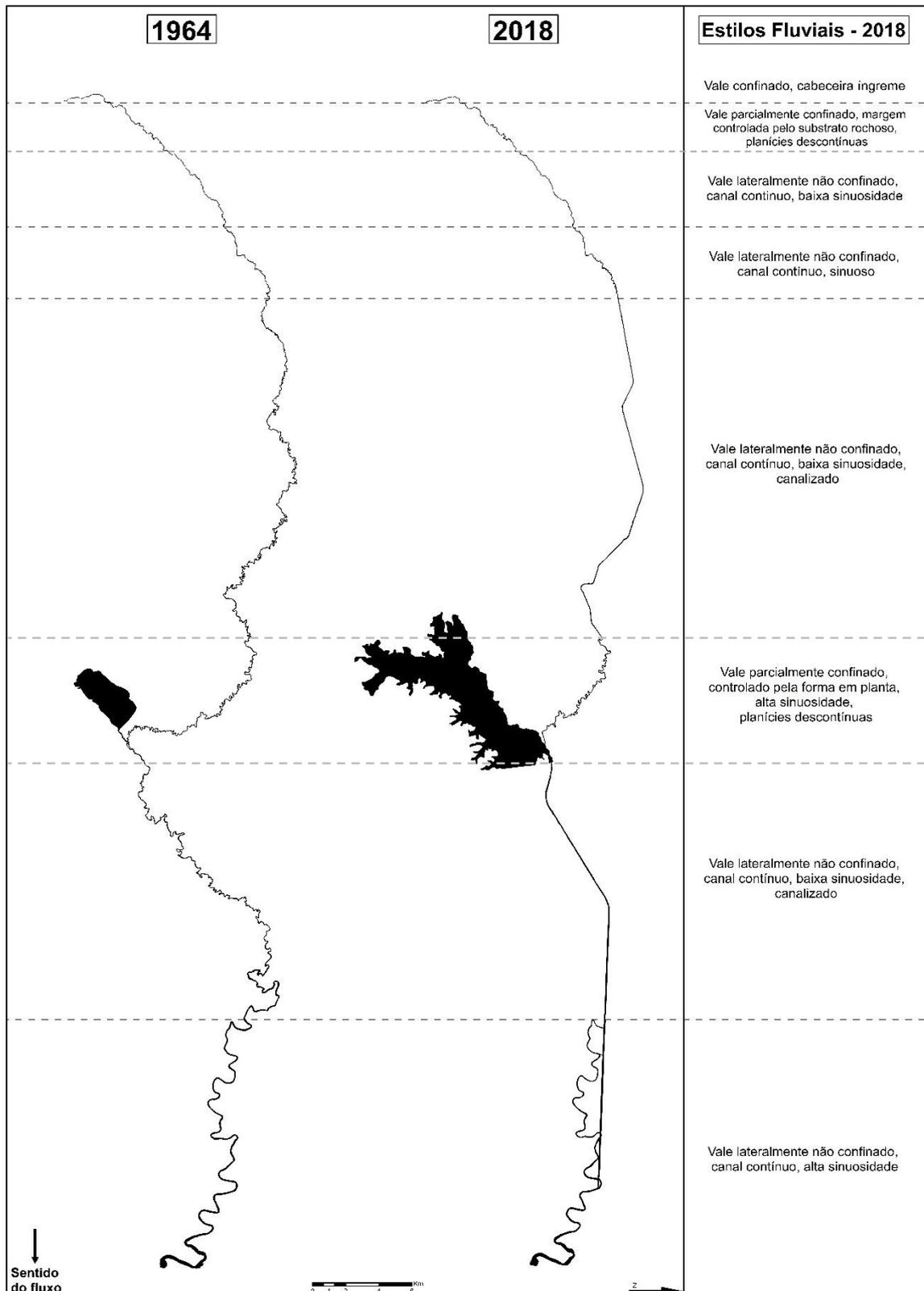
Todas estas modificações antrópicas, responsáveis por condicionar tanto o caráter quanto o comportamento do canal ao longo do tempo, geraram respostas transmitidas não apenas sobre o seu balanço hídrico ou sedimentar, mas também sobre sua morfologia e dinâmica (BESNÉ; IBISATE, 2015).

Isto fez com que o rio São João passasse a buscar um novo equilíbrio, se adaptando as novas condições, prosseguindo as tendências naturais de um rio, que é constantemente ajustar sua morfologia em resposta à mudanças nas condições de contorno da bacia em que operam (BRIELEY; FRYIRS, 2005).

Assim, os resultados obtidos demonstram evidências de ajustes que ocorrem no rio São João, dentro da temporalidade analisada e do contexto de mudanças efetuadas, de forma a tornar o que ele é hoje (Figura 49), com segmentos contendo mudanças na forma em planta praticamente irreversíveis e outros preservados em parte.

A partir da figura é possível observar as regiões do rio São João que passaram por drásticas mudanças entre os anos analisados, sendo elas referentes ao Estilo Fluvial **Vale lateralmente não confinado, canal contínuo, baixa sinuosidade, canalizado**. Estes dois trechos do rio que são representados em um único estilo, são caracterizados por um real processo de mudança, induzida artificialmente, o que lhe impossibilita de se comportar da mesma forma que outrora e também de não compartilhar da mesma perspectiva de evolução pretérita.

Figura 49 – Forma em planta do rio São João para os anos de 1964 e 2018 e os Estilos Fluviais identificados



Elaborado por Rodrigo Correia dos Santos.

Hoje, estes segmentos operam sob condições de diferentes processos e dinâmicas, em relação ao que era e aos outros Estilos Fluviais, pois o condicionamento imposto limita sua trajetória natural, de modo a intensificar o transporte de sedimentos a jusante. Em especial, destaca-se o trecho a montante do Reservatório de Juturnaíba, pois as suas mudanças não se deram apenas em ordem processual dentro do canal, já que o mesmo também foi reconduzido a um novo vale fluvial.

Analisando as imagens de 1964 em conjunto ao relevo, nota-se que parte deste segmento anteriormente se caracterizaria por estar em condições de vale parcialmente confinado, se movimentando junto a pequenas colinas, possivelmente sendo parte do Estilo Fluvial Vale parcialmente confinado, controlado pela forma em planta, alta sinuosidade, planícies descontínuas. Assim, a associação das retificações no canal principal, nos afluentes da margem esquerda em conjunto a esta mudança na configuração de vale, fazem com que se intensifiquem os processos de transporte sedimentar, mudem as características e comportamento deste trecho do rio e impactem diretamente em suas regiões a jusante.

Já a parte do Estilo Fluvial **Vale lateralmente não confinado, canal contínuo, baixa sinuosidade, canalizado** localizada a jusante do reservatório, representa uma das mudanças mais bruscas possíveis de serem realizadas, onde todo um canal foi artificialmente formado, abandonando completamente o canal anterior através do direcionamento do fluxo. Desta forma, torna-se impossível dialogar quanto a comparações e mudanças de comportamento, feições ou dinâmica fluvial mas fica em evidência a significativa diferença entre o comportamento atual e pretérito. Em seu passado, nesta região o rio São João apresentava uma sinuosidade elevada, caracterizada por meandros pequenos e próximos, que condicionavam os fluxos oriundos da Lagoa de Juturnaíba e hoje é um canal com 25,6 km, retificado, que não apresenta feições nem qualquer característica natural de um rio, a não ser os extravasamentos recorrentes na região.

Nos outros trechos do rio São João, embora não tenham sido realizadas obras diretas ao canal, a consequência das mesmas em conjunto a pressão antrópica exercida fazem com que evidências de ajustes fossem identificadas. Leopold *et al.* (1964) já argumentavam que alterar o fluxo e a carga de sedimentos em canais com baixa declividade, como é no caso do rio São João, são alguns dos principais vetores para mudanças nos mesmos.

Isto pode ser observado a partir das alterações apresentados nas Figuras 48 e 49²⁰, que demonstram a predominância de ajustes geomorfológicos nas curvas de meandros, como extensões e rotações dos mesmos. O que demonstra a tentativa do canal em expandir seu comprimento para comportar toda a quantidade de fluxo e sedimentos que lhe é ofertado, de forma a aumentar a sua resistência ao fluxo e diminuir sua inclinação (ALVAREZ, 2005), para diminuir os efeitos gerados.

Marren *et al.* (2014) relatam que aumentos de descarga causados por transferências de água têm sido associados a aumentos nos meandros e nas taxas de migração, dialogando diretamente com o que acontece com o rio São João. Assim, o aumento de suas vazões com subsequente aumento no transporte sedimentar, associados a crescente geração de carga sólida pelas atividades antrópicas surgem como os principais fatores das modificações encontradas no canal.

Estas informações podem ser evidenciadas pela quantidade de ajustes identificados em cada estilo fluvial. Os três estilos com maior quantidade de ajustes: **Vale lateralmente não confinado, canal contínuo, baixa sinuosidade; Vale lateralmente não confinado, canal contínuo, sinuoso; e Vale parcialmente confinado, controlado pela forma em planta, alta sinuosidade, planícies descontínuas**, não por acaso, são exatamente os segmentos mais próximos as regiões retificadas do rio São João e que juntos correspondem a mais de 80% dos ajustes mapeados. Estes Estilos Fluviais demonstraram ser as regiões com maior potencial para geração de sedimentos a jusante e as mais sensíveis as pressões existentes na bacia, refletindo através destas evidências de ajustes as respostas do sistema a todos os impactos sofridos.

A sua proximidade com as regiões mais modificadas da bacia é um fato que demonstra a importância que estes Estilos Fluviais apresentam, pois quando associado isto a crescente sedimentação oriunda do desmatamento e uso do solo no fundo de vale dos mesmos, demonstra como boas condições ambientais nestes segmentos teriam impacto positivo ao longo do canal, que já se apresenta saturado de sedimentos. As evidências encontradas nestes estilos representam, cada uma de uma forma, reflexos da ação humana e do comportamento natural do canal, que em conjunto respondem através do tempo e das mudanças de forma e processo, como está sendo a evolução do rio São João entre os anos de 1964 e 2018.

²⁰ Pág. 102 e 104.

O Estilo Fluvial **Vale parcialmente confinado, controlado pela forma em planta, alta sinuosidade, planícies descontínuas** apresenta uma especificidade marcante, pois está localizada entre uma parte retificada do canal e o Reservatório de Juturnaíba, assim esta porção do rio São João embora esteja em uma região legalmente preservada, apresenta pressões a montante e a jusante. Este trecho não só recebe uma grande quantidade de sedimentos e fluxos turbulentos, como sofre influência do reservatório que está imediatamente a jusante e que foi responsável pela supressão de parte de seu antigo traçado. O processo de expansão da antiga lagoa, parte de sua extensão está submerso, diminuindo assim a sua capacidade de comportar o fluxo que é atualmente mais turbulento e propiciando fatores para o assoreamento tanto do canal quanto do reservatório.

Especificamente no Reservatório de Juturnaíba, é possível salientar que o mesmo sofre os efeitos da destruição de suas margens pelos fluxos que recebem e também pela acentuada quantidade de sedimentos vindos da montante, principalmente dos seus afluentes retificados. Estes elementos quando associados à falta de fiscalização e manutenção, fazem com que se eleve o potencial de danos do reservatório frente ao futuro do sistema além de também diminuir a vida útil desta estrutura, que é responsável pelo abastecimento de uma das regiões mais populosas do Estado.

E nos outros dois trechos destacados, os Estilos Fluviais **Vale lateralmente não confinado, canal contínuo, baixa sinuosidade** e **Vale lateralmente não confinado, canal contínuo, sinuoso**, é importante pontuar a presença de determinadas evidências, entre eles os ajustes geomorfológicos classificados como "Retificação". Embora representem apenas 12% do total de ajustes identificados, eles demonstram como a pressão antrópica é possivelmente o principal fator para a ocorrência dos mesmos. Nestas regiões, a existência de pastagens para pecuária exige um espaço ao qual o rio não possa utilizar, forçando através do pisoteio do gado e compactação do solo, a cada vez mais ter o seu fluxo concentrado e não avançar sob suas próprias planícies, mostrando assim como o canal não consegue seguir seu comportamento natural, mesmo sem grandes obras de retificação ou aglomerados urbanos, como é o caso de outros segmentos do rio São João.

Também nestes dois estilos, são encontradas as maiores quantidades de feições geomorfológicas no canal, como barras de pontal, longitudinais e laterais, sendo elas reflexos do regime de fluxo, fornecimento de sedimentos e condições de contorno dentro da bacia (FULLER *et al.*, 2013), o que no caso são altamente modificados. Esta gama de feições são

resultantes das instabilidades a qual o canal sofre e/ou possui, acentuando seus efeitos de deposição, que por sua vez aceleram o crescimento destes tipos de feições e consequentemente geram o crescimento da velocidade de fluxo local (LI *et al.*, 2016).

Outro ajuste geomorfológico identificado e importante a ser destacado é a “Migração Lateral”. Este tipo de ajuste foi identificado nos Estilos Fluviais **Vale parcialmente confinado, margem controlada pelo substrato rochoso, planícies descontínuas e Vale lateralmente não confinado, canal contínuo, baixa sinuosidade**, inseridos em um contexto de baixa quantidade de mata ciliar²¹, dialogando diretamente com GRAMS e SCHMIDT (2005) que especificam a vegetação ripária em reduzir as taxas de migração lateral de um canal. É importante destacar, que as regiões onde se localizam os estilos e ajustes mencionados, além de temporalmente enfrentar uma intensificação de seus fluxos, também são localizadas em regiões de grande influência da pecuária e sem vegetação arbórea/nativa, além da mata ciliar supracitada.

Hickin (1984) relata que há muito tempo se reconhece que a vegetação pode ser um importante controle sobre a forma do rio e sua atividade, além de ser um elemento de resistência ao fluxo do rio e quando associado o desmatamento a cultivo em planícies, um rio migrando pode erodir quase o dobro do que seria a taxa em um retrabalhamento natural sob uma planície florestada. Assim, onde existia uma boa cobertura vegetal identificada nas imagens de 1964, o que caracterizaria uma boa capacidade de manutenção das formas e feições ao longo do canal e até mesmo uma melhor assimilação de possíveis elevações no fluxo, hoje existem extensas planícies desmatadas e amplamente utilizadas para pastagem.

Isto fez com que todo o sistema fluvial e principalmente o rio São João se adaptassem ao longo do tempo, se condicionando a todas estas influências: retificações, mineração, represamento, supressão de vegetação ciliar e de encosta, entre outros pequenos impactos inerentes a presença humana. E assim como todo rio, contendo entradas de energia antrópicas ou não, a sua forma em planta busca a cada nova ação, refletir uma forma de quase-equilíbrio, em resposta a concentração/dissipação de energia e transferência associada e armazenamento de sedimentos (ALVAREZ, 2005).

Este novo equilíbrio a ser buscado já foi igualmente relatado por Pimenta (2014), que ao dizer que é possível perceber a tentativa do sistema de chegar um estado diferente do seu atual, a partir de evidências como a erosão nas margens e o início da recuperação da

²¹ Pág. 78 e 81, respectivamente.

sinuosidade natural dos canais que estavam totalmente retificados. A autora está se referindo especificamente as ações dos ajustes morfológicos mapeados ao longo desta pesquisa e da ação sinuosa do rio São João na porção a montante do Estilo Fluvial **Vale lateralmente não confinado, canal contínuo, baixa sinuosidade, canalizado**, que apresenta este comportamento ao se movimentar por entre as barras laterais que se formaram em seu leito retificado²².

Estes indícios apontam para um comportamento natural de rios sinuosos e aluviais como o rio São João, onde Buffington e Montgomery (2013) relatam que rios sinuosos são muito propensos à migração devido à erosão da margem e ao processo de deposição de barras. Já Brunnsden e Thornes (1979) afirmam que rios aluviais geralmente têm capacidade significativa de ajuste, pois são capazes de modificar seu leito e feições em várias dimensões, como tal, eles são propensos a um ajuste significativo quando sujeitos a perturbações e são considerados sensíveis a mudança.

Dessa forma, levando em conta suas informações e características do canal para o ano de 1964, data do mapeamento e onde o rio São João possuía grande parte de sua vegetação ainda preservada. Assim, é possível afirmar que as regiões que hoje estão retificadas possivelmente seriam os trechos com maior potencial para ajustamentos dentro do rio São João.

Isto é possível através da análise das características inerentes a bacia, como o natural fornecimento de sedimentos e descarga dos afluentes oriundos da vertente norte em conjunto as suas configurações de confinamento do vale e espaçamento de suas planícies fluviais. Contudo, sob as atuais condições embora a região do médio curso ainda se caracterize com um maior potencial para ajustes quando comparado as outras porções do rio, as razões para isto são de outra natureza. Embora apresente configurações propensas para uma alta capacidade de ajustes, as pressões antrópicas produzam um forte controle sob a região, atuando quase sempre de duas formas, opostas em si mas presentes em segmentos diferentes do canal, mas de qualquer forma gerando consequências ambientalmente prejudiciais para o rio.

De um lado, ações como retificações, represamento e a pressão urbana, fazem com que o canal perca suas características e conexões naturais, alterando não apenas a sua morfologia, mas também acentuando suas características hidrológicas e conexão longitudinal

²² Pág. 84.

de fluxos e sedimentos. Por outro lado, a pressão das históricas e extensas pastagens em conjunto ao desmatamento de vegetação das encostas e ripárias, não apenas aumentam significativamente a carga sedimentar que chega ao canal principal e que conseqüentemente chega para todos os trechos a jusante, inclusive o reservatório, como desestabiliza as margens do canal e impede sua ampla movimentação sob suas planícies.

Dessa forma, essa conjuntura de fatores não se deu de forma simples e pontual, mas de maneira complexa e gradual ao longo do tempo, sendo a responsável pelas características e o comportamento que o rio São João apresenta hoje. Pode-se afirmar que embora o canal tenha tido suas características morfológicas alteradas em muitos trechos, ele não apresentou indícios de mudanças em seu comportamento nas regiões não retificadas. Isto se explica pelo fato que os ajustes identificados em conjunto a suas configurações de controle, como material do leito, configuração do vale, mais a extensa literatura sobre modificações e evolução de canais fluviais, atestam que os indicativos de ajustes geomorfológicos ocorridos nestes segmentos são de fato algo esperado para um rio aluvial.

Contudo, a grande problemática é por conta da intensificação sofrida pelos processos que constituem o rio São João, que embora apresente relativa resistência mesmo em condições bem diferentes dos naturais, o sistema fluvial a qual ele faz parte tem apresentado importantes indícios sobre conseqüências das ações sofridas.

Seu sistema está buscando uma adaptação a múltiplos fatores que o pressionam, que por sua vez apresenta maiores tendências ao assoreamento, principalmente nos canais retificados e no reservatório artificial, além da histórica ineficácia das retificações enquanto processo de drenagem das planícies fluviais, que demonstra a inoperância de uma modificação tão degradante ao ambiente.

Esta busca fica ainda mais evidente quando comparado o rio São João a sua antiga forma, pois através da presença dos indícios de ajustes identificados é possível perceber quais regiões do canal apresentam maior potencial de ajustes, ou seja, apresentam respostas do sistema a todos os impactos sofridos, tornando estas porções do canal a qual apresentaram 80% dos ajustes identificados, as áreas com maior relevância para ações de gestão e preservação, objetivando a diminuição destes impactos negativos e conseqüentemente propiciando a continuidade do rio São João de maneira ambientalmente favorável.

VIII – CONCLUSÕES

Com base nos resultados apresentados e nas análises desenvolvidas, é possível concluir que a bacia do rio São João tem seus processos fluviais alterados de diversas maneiras e em diferentes magnitudes. Todas as propriedades levantadas sobre o rio São João, acerca da composição e dinâmica do canal, demonstram e dialogam diretamente com as características clássicas de um rio aluvial, contudo, as particularidades da bacia, principalmente às relacionadas as interferências antrópicas, condicionam os processos que nela atuam.

Em praticamente toda a bacia é evidente a pressão antrópica sob os canais fluviais, em especial junto ao rio São João onde a história demonstra a predominância de atividades pastoris nas planícies e margens fluviais, que aliada as características sedimentares da bacia, propiciam uma elevada carga sedimentar para o sistema. Em conjunto a isto também houveram modificações diretas e indiretas ao canal, onde as retificações de dois trechos do rio principal e a transformação da lagoa em reservatório, representaram não só uma mudança de forma mas também uma clara modificação da dinâmica fluvial, de seus processos associados e do próprio comportamento do rio nestas regiões.

Estas influências também atuam nos outros trechos, onde se dão de forma menos expressiva mas também atuam no condicionamento do comportamento do canal. A pressão exercida pelo uso do solo e das retificações, não apenas elevam a geração de sedimentos e velocidade do fluxo mas também atuam como fator de controle sob o potencial de movimentação do canal.

Este poder exercido sobre o canal fica mais evidente quando são abordados os diferentes atributos que compõem os segmentos distintos do rio São João, identificados através da aplicação da metodologia dos Estilos Fluviais, que se mostrou uma relevante ferramenta para avaliar e identificar as principais configurações e controles atuantes na bacia. Foram identificados oito Estilos Fluviais, sendo sete deles no rio São João, onde suas características de confinamento de vale e composição do leito se mostraram como os principais condicionantes ambientais para o seu comportamento. Sete destes nove segmentos estão inseridos em regiões de baixa declividade e com disponibilidade de espaço para se movimentar naturalmente, sendo eles as principais zonas de deposição e transporte sedimentar ao longo da bacia

Em quatro destes Estilos Fluviais, o rio São João apresentou indícios de ajustes geomorfológicos entre os anos de 1964 e 2018, de diferentes tipos e em diversos pontos, e embora não representem uma mudança no comportamento dos Estilos Fluviais aonde estão inseridos, eles apontam para modificações nos processos fluviais destas localidades. Isto faz com que estas áreas prioritárias para ações de conservação e preservação, pois é a partir das mesmas que os efeitos negativos propagados a jusante podem ser diminuídos.

Assim, quando analisados os pequenos e grandes fatores que em conjunto resultam em amplas e diversificadas ações, é possível afirmar que o rio São João apresenta uma perspectiva de degradação contínua em sua trajetória evolutiva, não sendo apenas de hoje que lhe são exercidos os múltiplos fatores impactantes que o compõem. É difícil definir o papel relativo de cada elemento dentro das consequências e do comportamento do canal, porém, é pela complexidade a qual esse sistema está inserido que se pode pontuar que todos os fatores aqui expostos lhe impactam, cada um de sua maneira e potencial.

Com isso, é evidente que não são ações pontuais que farão com que o rio São João tenha suas condições ambientais minimamente preservadas ou seus impactos negativos diminuídos, sendo necessários diferentes esforços de distintas esferas de poder para a conservação nas regiões que não foram diretamente modificadas e demonstram ser mais sensíveis a ajustes. As áreas localizadas a montante do reservatório, apresentam-se como prioritárias para possíveis estratégias de preservação que propaguem efeitos benéficos ao sistema, de montante a jusante.

E é neste contexto ao qual se insere esta e outras pesquisas geomorfológicas, pois inseridas dentro do atual contexto ao qual os rios operam e lidando com a realidade de suas utilizações, buscam demonstrar as diferentes influências e particularidades que existem em um rio, de modo a evidenciar que os múltiplos fatores formadores de um mesmo canal atuam em conjunto e determinam e modificam a espacialidade a qual ele está inserido. Dessa forma, é apenas através do entendimento sobre como os rios funcionam e do que são formados que é possível condicionar as nossas ações, para buscar uma alternativa que equilibre os papéis ambientais, científicos, econômicos e sociais de um canal e sua bacia hidrográfica.

IX – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACSERLRAD, M.; BARCELLOS, F. C.; COSTA, V. G. Condições ambientais na bacia do Paraíba do Sul e a efetividade da cobrança pelo uso da água pelo Estado do Rio de Janeiro. Anais I Seminário de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul: o Eucalipto e o Ciclo Hidrológico, Taubaté, Brasil, 07-09 novembro 2007, IPABHI, p. 17-24. 2007.

ALMEIDA, J. et al. Geologia e recursos minerais da folha Macaé SF.24-Y-A-I, estado do Rio de Janeiro escala 1:100.000. Belo Horizonte. CPRM. 106p. 2012.

ALVAREZ, A. Channel planform dynamics of an alluvial tropical river. Ph.D. Thesis, Texas A & M University, US. 2005.

AIRES DE CASAL, M. Corografia Brasílica, ou Relação Histórico-geográfica do Reino do Brasil. São Paulo: Cultura, [1. ed. 1817]. Tomo II, p.18. 1943.

ANA, Agência Nacional do Águas - Brasil. Relatório de Segurança de Barragens 2017. Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2018.

BARROS, S. R. S. A Inserção da Zona Costeira nas territorialidades da Bacia Hidrográfica do Rio São João – RJ: inter-relações, trocas e conflitos. – Niterói: [s. n.], 2007.181p. Tese (Doutorado Geografia), Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, 2007.

BESNÉ, P.; IBISATE, A. River Channel Adjustment of Several River Reaches on Ebro Basin. Quaternary International, n. 364, p. 44-53, 2015.

BOLLATI, I. M.; PELLEGRINI, L.; RINALDI, M.; DUCI, G.; PELFINI, M. Reach-scale morphological adjustments and stages of channel evolution: The case of the Trebbia River (northern Italy). Geomorphology, v. 221, p. 176-186. 2014.

BRANDT, S. A. Classification of Geomorphological effects downstream of dams. Catena, v. 40, Issue 4, p.375-401, 2000.

BRIERLEY, G. J.; COHEN, T.; FRYIRS, K.; BROOKS, A. Post-European changes to the fluvial geomorphology of Bega Catchment, Australia: Implications for river ecology. John Wiley & Sons Ltd, Freshwater Biology, v. 41, p. 839-848. 1999.

BRIERLEY, G. J.; FRYIRS, K. A. River Styles, a geomorphic approach to catchment characterization: Implications for river rehabilitation in Bega Catchment, NSW, Australia. Environmental Management. New York, US: v. 25, n. 6, p. 661-679. 2000.

BRIERLEY, G. J.; FRYIRS, K.; OUTHET, D.; MASSEY, C. Application of the River Styles framework as a basis for river management in New South Wales, Austrália. Applied Geography, v. 22, p. 91-122, 2002.

BRIERLEY, G. J.; FRYIRS, K. A. *Geomorphology and River Management: Applications of the River Styles Framework*. Oxford, UK: Blackwell Publishing, 2005. 398p.

BRIERLEY, G. J.; FRYIRS, K. A.; JAIN, V. *Landscape Connectivity: The Geographic Basis of Geomorphic Applications*. *Area*, v. 38, n. 2, p. 165-174, 2006.

BRIERLEY, G. J.; FRYIRS, K. *River futures: an integrative scientific approach to river repair*. Island Press, Washington, D.C., USA, 2008. 328p.

BRIERLEY, G. J.; REID, H.; FRYIRS, K.; TRAHAN, N. What are we monitoring and why? Using geomorphic principles to frame eco-hydrological assessments of river condition. *Science of the Total Environment*, 408, p. 2025-2033, 2010.

BROOKES, A. River channelization: Traditional engineering methods, physical consequences and alternative practices, *Prog. Phys. Geogr.*, v.9, p.44-73, 1985.

BRUNSDEN, D.; THORNES, J. B. Landscape sensitivity and change. *Transactions Institute of British Geographers*, v.4, n.4, p. 463-484. 1979.

BRUNSDEN, D. Barriers to geomorphological change. In: THOMAS, D. S. G.; ALLISON, R. J. (Ed.). *Landscape Sensitivity*. John Wiley & Sons: Chichester, p. 7–12, 1993.

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

BUCKLEY, R. *Perspectives in Environmental Management*, Springer-Verlag, Berlin. 1991.

BUFFINGTON, J. M.; MONTGOMERY, D. R. Geomorphic classification of rivers. In: WOHL, E. (Org.). *Treatise on Geomorphology*, Academic Press, San Diego, CA, v. 9, *Fluvial Geomorphology*, p. 730-767, 2013.

CARVALHO FILHO, A.; LUMBRERAS, J. F.; SANTOS, R. D. Os solos do Estado do Rio de Janeiro. Brasília, DF: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2000. 36p.

CAETANO, R. C. Trajetórias patrimonialistas no espaço agrário do vale do rio São João – RJ. *Geo UERJ*, v. 2, n. 17, 2011.

CHARLTON, R. *Fundamentals of Fluvial Geomorphology*. London: Routledge, 2008. 275p.

CHORLEY, R. J. *Water, Earth and man*. Methuen, London, 1969. 588p.

CHORLEY, R. J.; SCHUMM, S. A.; SUGDEN, D. E. *Geomorphology*. Methuen and Co.: New York, p. 20-35, 1984.

CHRISTOFOLETTI, A. *Geomorfologia Fluvial: Volume 1 – O canal fluvial*. Edgard Blucher LTDA, São Paulo, 1990. 313 p.

COELHO NETTO, A. L. Hidrologia de encosta na interface com a geomorfologia. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Org.). Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 11 ed., p. 93-148, 2011.

COOKE, R. U.; DOORNKAMP, J. C. Geomorphology in environmental management. Oxford University Press, 1974. 412p.

CULLUM, C.; BRIERLEY, G. J.; THOMS, M. The Spatial Organization of River Systems. In: BRIERLEY, G. J.; KIRSTIE, A. (ed.) River Futures: an Integrative Scientific Approach to River Repair. Island Press, Society for Ecological Restoration International, p. 43-64, 2008.

CUNHA, A. M. Malacofauna das acumulações bioclásticas da planície costeira do rio Una, Cabo Frio e Armação dos Búzios, RJ: Identificação Taxonômica, Considerações Tafonômicas, Paleoambientais e Geocronologia. 82p. Dissertação (Mestrado em Geologia), Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2012.

CUNHA, S. B. Impactos das obras de engenharia sobre o ambiente biofísico da bacia do rio São João. Lisboa: Tese (Doutorado em Geografia). Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade de Lisboa, Lisboa. 1995. 415p.

CUNHA, S. B. Geomorfologia Fluvial. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Org.). Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 11 ed., p. 211-252. 2011.

CUNHA, S. B.; FREITAS, M. W. B. Geossistemas e Gestão Ambiental na Bacia Hidrográfica do Rio São João-RJ. Revista GEOgraphia - Ano. 6 - N° 12 - 2004.

DAVID, M.; LABENNE, A.; CAROZZA, J. M.; VALETTE, P. Evolutionary trajectory of channel planforms in the middle Garonne River (Toulouse, SW France) over a 130-year period: contribution of mixed multi-factor analysis (mfamix). Geomorphology, n. 258, p. 21-39. 2016.

DOWNS, P. W.; GREGORY, K. J. The sensitivity of river channels in the landscape system. In: THOMAS, D. S. G.; ALLISON, R. J. (Ed.). Landscape Sensitivity. John Wiley & Sons: Chichester, p. 15-30, 1993.

ESHLEMAN, K. N. Hydrological consequences of land use change: A review of the state-of-science. In: DEFRIES, R.; ASNER, R.; HOUGHTON, G. S. (Eds.), Ecosystems and Land Use Change, Geophysical Monograph Series, v. 153, American Geophysical Union, Washington, D. C., p.13-29. 2004.

FERNANDEZ, O. V. Q.; REBELATTO, G. E.; SANDER, C. Análise Quantitativa de Seções Transversais em Canais Fluviais. Revista Brasileira de Geomorfologia, v.2, n.1, p. 85-92, 2001.

- FRYIRS, K.; BRIERLEY, G. J.; PRESTON, N. J.; KASAI, M. Buffers, barriers and blankets: The (dis)connectivity of catchment-scale sediment cascades. *Catena* v.70, p. 49–67, 2007.
- FRYIRS, K.; BRIERLEY, G. J. Naturalness and Place in River Rehabilitation. *Ecology and Society*, v. 14, n. 1, p. 20, 2009.
- FRYIRS, K.; SPINK, A.; BRIERLEY, G. J. Post-European settlement response gradients of river sensitivity and recovery across the upper Hunter catchment, Australia. *Earth Surface Processes and Landforms*, v. 34, p. 897-918. 2009.
- FRYIRS, K. A.; BRIERLEY, G. J. Geomorphic analysis of river systems. An approach to reading the landscape. Wiley-Blackwell, UK, 2013. 360p.
- FRYIRS, K. A.; WHEATON, J. M.; BRIERLEY, G. J. An approach for measuring confinement and assessing the influence of valley setting on river forms and processes. *Earth Surface Processes and Landforms*, 41, p. 701-710, 2016.
- FRYIRS, K. A. River sensitivity: a lost foundation concept in fluvial geomorphology. *Earth Surface Processes and Landforms*, 42, p. 55-70, 2017.
- FRYIRS, K.; BRIERLEY, G. J. The River Styles short course workbook: Brazil, September 2017. Macquarie University, 2017. 92p.
- FULLER I. C.; REID, H. E.; BRIERLEY, G. J. Methods in geomorphology: investigating river channel form. In: SHRODER, J. F. (Ed.). *Treatise on Geomorphology*, v. 14. Academic Press, San Diego, p. 73-91. 2013.
- GALVÃO, M. C. C. Rio de Janeiro – contradições e ajustes de um espaço desigual. *Revista do Rio de Janeiro*, 1, v.3, p. 97-109. 1986.
- GERALDES, M. C. et al. Geologia e recursos minerais da folha de Casemiro de Abreu SF.23-Z-B-I, estado do Rio de Janeiro escala 1:100.000. Belo Horizonte. CPRM. 136p. 2012.
- GHOSH, S.; GUCHHAIT, S. K. Hydrogeomorphic variability due to dam constructions and emerging problems: a case study of Damodar River, West Bengal, India *Environ Dev Sustain*, v.16, p.769-796, 2014.
- GILBERT, G. K. The transportation of debris by running water, U.S. Geological Survey Professional Paper, 86, Washington, DC, p. 186-218, 1914.
- GILVEAR, D.; BRYANT, R. Analysis of aerial photography and other remotely sensed data. In: KONDOLF, G.; PIEGAY, H. (Eds.), *Tools in Fluvial Geomorphology*. Wiley, Chichester, p.135-170. 2003.
- GORDON, E.; MEENTEMEYER, R. K. Effects of dam operation and land use on stream channel morphology and riparian vegetation. *Geomorphology*, v.82, p. 412-429, 2006.

GRABOWSKI, R. C.; SURIAN, N.; GURNELL, A. Characterizing geomorphological change to support sustainable river restoration and management. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, v. 1. 2014.

GRAMS, J. C.; SCHMIDT, J. Equilibrium or indeterminate? Where sediment budgets fail: Sediment mass balance and adjustment of channel form, Green River downstream from Flaming Gorge Dam, Utah and Colorado, *Geomorphology*, v.71, p.156-181, 2005.

GREGORY, K. J.; WILLIAMS, R. F. Physical geography from the newspaper, *Geography*, v. 66, p. 42-52, 1981.

GREGORY, K. J. A Natureza da Geografia Física. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 1-34. 1992.

HICKIN, E. J. Vegetation and river channel dynamics. *The Canadian Geographer*. V.28, p.111-26, 1984.

HOGAN, D. L.; LUZI, D. S. Channel Geomorphology: Fluvial Forms, Processes, and Forest Management Effects. In: PIKE, R. G.; REDDING, T. E.; MOORE, R. D.; WINKER, R. D.; BLADON, K. D. (Eds). *Compendium of Forest Hydrology and Geomorphology in British Columbia, Landscape Management Handbook 66*, p. 805 - 810. 2010.

HOOKE, J. Coarse Sediment Connectivity in River Channel Systems: a Conceptual Framework And Methodology. *Geomorphology*, v. 56, n. 1-2, p. 79-94, 2003.

HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geological Society of America Bulletin* 56, p. 275–370, 1945.

HUGGET, R. J. *System Analysis in Geography*. Oxford: Clarendon Press, p. 59-75, 1980.

HUGGET, R. Process and Form. In: GREGORY, K. J.; GOUDIE, A. S. (orgs). *The Sage Handbook of Geomorphology*. Londres: SAGE, p. 174-191, 2011.

IBDF, Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal. Reserva Biológica de Poço das Antas. Rio Janeiro, Ministério Agricultura/IBDF, Plano de Manejo, 95p. 1981.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Recenseamento geral do Brasil 1940. Brasil: IBGE, 1940.

_____. VI Censo Demográfico. Brasil: IBGE. 1950.

_____. VII Censo Demográfico. Brasil: IBGE. 1960.

_____. VIII Censo Demográfico. Brasil: IBGE. 1970.

_____. IX Censo Demográfico. Brasil: IBGE. 1980.

_____. X Censo Demográfico. Brasil: IBGE. 1991.

_____. XI Censo Demográfico. Brasil: IBGE. 2000.

_____. XII Censo Demográfico. Brasil: IBGE. 2010.

INKPEN, R. Change and complexity. In: INKPEN, R. Science, Philosophy and Physical Geography. Routledge, Oxford, p. 117-136, 2005.

JARAMILLO-VILLA, U. 2010. Efeito da Retificação de Rios sobre as Taxocenoses de Peixes: Estudo em Rios Costeiros de Mata Atlântica no Estado do Rio de Janeiro, Brasil. 91p. Dissertação (Mestrado em Ciência Biológicas - Ecologia) – Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

KNOX, J. C. Agricultural influence on landscape sensitivity in the Upper Mississippi River Valley. *Catena* 42, p.193–224. 2001.

KOHLER, C. H. A Escala na Análise Geomorfológica. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, Uberlândia: UFU, ano 3, n.1, p.21-31, 2002.

KONDOLF, G. M. Geomorphological stream channel classification in aquatic habitat restoration: uses and limitations. *Aquatic Conservation*, v.5, p. 109-126, 1995.

KONDOLF, G. M.; MONTGOMERY, D. R.; PIEGÁY, H.; SCHMITT, L. Geomorphic Classification of Rivers and Streams. In: KONDOLF, G. M.; PIEGÁY, H. (orgs.). *Tools in Fluvial Geomorphology*. p. 171-204, 2003.

KUMAR, K. V.; PALIT, A.; CHAKRABORTI, A. K.; BHAN, S. K. Planform analysis of Hooghly river metamorphosis using multirate satellite data, *Photonirvachak – Journal of Indian Society of Remote Sensing*, v. 22 (4), p. 195-222. 1994.

LAKE, P. S. Disturbance, patchiness, and diversity in streams. *Journal of the North American Benthological Society*, v. 19, p. 573-46, 2000.

LAMEGO, Alberto Ribeiro. *O homem e a restinga*, Rio de Janeiro, IBGE, 1946, p.20-21.

LAVE, R.; WILSON, M. W.; BARRON, E. S. *Intervenção: Geografia Física Crítica* 1. Espaço Aberto (PPGG - UFRJ), Rio de Janeiro, v. 9 (1), p. 77-94, 2019.

LEOPOLD, L. B.; WOLMAN, M. G. River Channel Patterns, Braided, Meandering and Straight. *U.S. Geol. Surv. Paper*, p. 39-63, 1957.

LEOPOLD, L. B.; WOLMAN, M. G.; MILLER, J. P. *Fluvial Processes in Geomorphology*. San Francisco: W. F. Freeman, p. 27-98, 1964.

LI, Z. W.; YU, G. A.; BRIERLEY, G. J. et al. Vegetative impacts upon bedload transport capacity and channel stability for differing alluvial planforms in the Yellow River source zone. *Hydrology and Earth System Sciences*, v. 20 (7), p.3013-3025, 2016.

LIMA-GREEN, A. P. Análise político-institucional da gestão das águas na Bacia Lagos São João. 133f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2008.

LIMA R. N. S.; MARÇAL M. S. Avaliação da Condição Geomorfológica da bacia do rio Macaé RJ: a partir da Metodologia de Classificação dos Estilos Fluviais. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 14, n. 2, p. 171-179, 2013.

LISENBY, P. E.; FRYIRS, K. A. Catchment- and reach-scale controls on the distribution and expectation of geomorphic channel adjustment. *Water Resources Research*, v.52, p. 3408-3427, 2016.

MARÇAL, M. S. Bacia hidrográfica como Novo Recorte no Processo de Gestão Ambiental. In: BICALHO, A. M. S. M.; GOMES, P. C. C. (Org.). *Questões Metodológicas e Novas Temáticas na Pesquisa Geográfica*. 1ed. Rio de Janeiro: Publit, v. 1, p. 204-223, 2009.

MARÇAL, M. S. Análise das Mudanças Morfológicas em Seções Transversais ao Rio Macaé - RJ. *Revista Brasileira de Geomorfologia* v. 14, n. 1, p. 59-68, 2013.

MARÇAL, M. S.; LIMA, R. N. S. Abordagens Conceituais Contemporâneas em Geomorfologia Fluvial. *Espaço Aberto (PPGG - UFRJ)*, Rio de Janeiro, v. 6, p. 17-33, 2016.

MARÇAL, M.; BRIERLEY, G. J.; LIMA, R. Using geomorphic understanding of catchment-scale process relationships to support the management of river futures: Macaé Basin, Brazil. *Applied Geography*, n. 84, p. 23-41. 2017.

MARREN, P. M.; GROVE, J. R.; WEBB, J. A.; STEWARDSON, M. J. The Potential for Dams to Impact Lowland Meandering River Floodplain Geomorphology. *Scientific World Journal*, v.24, 2014.

MATSUSHITA, B.; XU, M.; FUKUSHIMA, T. Characterizing the changes in landscape structure in the Lake Kasumigaura Basin, Japan using a high-quality GIS dataset. *Landscape and Urban Planning*, 78 (3), p. 241–250. 2006.

MEDEIROS, K. Lagoa de Juturnaíba: impactos provocados pela construção e operação do dique-barragem do DNOS no Rio São João. Rio de Janeiro, FEEMA, 10p. 1987.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. Plano Nacional de Recursos Hídricos. Brasília. MMA, 2008.

MONTGOMERY, D. R. Process domains and the river continuum. *Journal of the American Water Resources Association*, 35, p. 397-410, 1999.

O'BRIEN, G. R.; WHEATON, J. M.; FRYIRS, F.; MACFARLANE, W. W.; BRIERLEY, G. J.; WHITEHEAD, K.; GILBERT, J.; VOLK, C. Mapping valley bottom confinement at the network scale. *Earth Surface Processes and Landforms*, v. 44, p. 1828-1845. 2019.

OLIVEIRA L. P. H.; ARAÚJO, D. S. D.; VIANNA, M. C.; CARAUTA, J. P. Cobertura vegetal na bacia do rio São João. Rio de Janeiro, FEEMA, Relatório Final, 9p. 1978.

OLIVEIRA, F. L. Avaliação ambiental e sustentabilidade da mineração de areia no curso médio-superior do rio São João (RJ). Rio de Janeiro, 119 p. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

OLIVEIRA, F. L.; MELLO, E. F. A Mineração de Areia e os Impactos Ambientais na Bacia do Rio São João, RJ. Revista Brasileira de Geociências. São Paulo: v.2, n.37, p. 374-389. 2007.

OLSON-RUTZ, K. L.; MARLOW, C. B. Analysis and interpretation of stream channel cross-sectional data. North American Journal of Fisheries Management, United States, v.1, n. 12, p. 55-61. 1992.

PETTS, G. E. Complex response of river channel morphology subsequent to reservoir construction. Progress in Physical Geography, v.3, p.329-362, 1979.

PFALTZGRAFF, P. A. S. Aspectos ambientais da lavra de areia, exemplo da área produtora do rio São João. Dissertação (Mestrado em Geologia). Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 1994. 63p.

PIMENTA, M. L. F. A Reconstituição Paleogeográfica como subsídio à Renaturalização Fluvial do Alto Rio São João - RJ. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, p.156. 2014.

POOLE G. C. Fluvial Landscape Ecology: Addressing Uniqueness Within the River Discontinuous. Freshwater Biology, v. 47, p. 641-660, 2002.

PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. Gestão de Bacias Hidrográficas, Estudos Avançados, v.22, p.43-60, 2008.

PRIMO, P. B.; VOLCKER, C. M. Bacia Hidrográfica do Rio São João e das Ostras: Águas, Terras e Conservação Ambiental. Rio de Janeiro. Consórcio Intermunicipal para a gestão das bacias da Região dos Lagos, Rio São João e Zona Costeira. 177p. 2003.

QUINTELA, M. A.; CUNHA, S. B. O Regime Pluviométrico e o diagnóstico ambiental na área de influência do reservatório de Juturnaíba, RJ. Anuário do instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio de Janeiro. p. 167-182. 1990.

REID, H. E.; BRIERLEY, G. J. Assessing geomorphic sensitivity in relation to river capacity for adjustment. Geomorphology 251, p. 108-121, 2015.

REIS, R. B.; CARDOSO, P. V.; CRUZ, C. B. M.; VICENS, R. S. Mapeamento e caracterização das Áreas de Preservação Permanente (APPs) na Área de Proteção Ambiental do Rio São João/Mico Leão Dourado. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto 14. 2009.

RENWICK, W. H. Equilibrium, disequilibrium and nonequilibrium landforms in the landscape. *Geomorphology* 5, p. 265–276, 1992.

REIS, R. B.; CARDOSO, P. V.; CRUZ, C. B. M.; VICENS, R. S. Mapeamento e caracterização das Áreas de Preservação Permanente (APPs) na Área de Proteção Ambiental do Rio São João/Mico Leão Dourado. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto 14. 2009.

RIBEIRO, N. B. Governança sistêmica das águas: proposição de um modelo analítico e sua aplicação na Bacia Lagos São João, RJ. 238p. Tese (Doutorado em Meio Ambiente), Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

RIBEIRO, N. B.; FORMIGA-JOHNSON, R. M.; MARTINS, M. S. Risco ecológico da Bacia Hidrográfica Lagos São João, RJ. *Eng. Sanit. Ambient*, vol.23, n.3, p.447-458. 2018.

RILEY, S. J. The channel shape-grain size relation in eastern Australia and some paleohydrologic implications. *Sedim. Geol.*, n. 14, p. 253-258. 1975.

RINALDI, M. GURNELL A. M. GONZÁLEZ DEL TÁNAGO, M. BUSSETTINI, M. HENDRIKS, D. Classification and characterization of river morphology and hydrology to support management and restoration. *Aquat Sci.*, v. 78, p. 1-16. 2016.

ROELL, M. J. Sand and gravel mining in Missouri stream systems: Aquatic resource effects and management alternatives. Missouri Department of Conservation, Conservation Research Center, Columbia, 1999.

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

SCHMITT, R. S. et al. Geologia e recursos minerais da folha Rio das Ostras SF.24-Y-A-IV e Cabo Frio SF.23-Z-B-VI, estado do Rio de Janeiro na escala 1:100.000. Belo Horizonte. CPRM. 202p. 2012.

SCHUMM, S. A.; LICHTY, R. W. Time, space and causality in geomorphology. *American Journal of Science*, New Haven, Conn., n. 263, p. 110-119, 1965.

SCHUMM, S. A. River Metamorphosis. Proceedings of the American Society of Civil Engineers. *Journal of the Hydraulics Division*, n. 95, p. 255-273, 1969.

SCHUMM, S. A. *The Fluvial System*. Blackburn Press, Caldwell, NJ, p. 97-139, 1977.

SCHUMM, S. A. *To Interpret the Earth: Ten Ways to be Wrong*. Cambridge University Press: Cambridge, p. 41-78, 1991.

SCHUMM, S. A. 2005. *River Variability and Complexity*. Cambridge University Press, Cambridge, p. 3-38, 2005.

SEA/INEA. *Elaboração do Plano Estadual de Recursos Hídricos - 2014*. Governo do Estado do Rio de Janeiro, Secretaria de Estado do Ambiente, Instituto Estadual do Ambiente. Rio de Janeiro, 2014.

SEABRA, V. S. *Análise da paisagem em apoio aos estudos de favorabilidade à recuperação florestal na bacia hidrográfica do rio São João*. Tese (Doutorado em Geografia). Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2012. 206p.

SILVA, T. M. *A Estruturação Geomorfológica do Planalto Atlântico no Estado do Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro, 265 p. Tese de Doutorado em Geografia. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

SOUZA, J. O. P.; BARROS, A. C. M.; CORRÊA, A. C. B. *Estilos fluviais num ambiente semiárido, bacia do Riacho do Saco, Pernambuco*. Lisboa, Finisterra, v. 51, p. 3-23, 2016.

STRAHLER, A. N. *Quantitative analysis of watershed geomorphology*. Transactions, American Geophysical Union 38, p. 913–920, 1957.

STRAHLER, A. N. *Introducing Physical Geography*. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2 ed., p. 5-27, 2000.

SUMMERFIELD, M. A. *Global Geomorphology*. 1 ed., New York, John Wiley & Sons, p. 237-234, 1991.

SURIAN, N.; ZILIANI, L.; COMITI, F.; LENZI, M. A.; MAO, L. *Channel adjustments and alteration of sediment fluxes in gravel-bed rivers of north-eastern Italy: potentials and limitations for channel recovery*. *River Research and Applications*, v. 25, p. 551-567. 2009.

TCE/RJ - Tribunal de Contas do Estado do Rio de Janeiro. *Estudo Socioeconômico, 2007, Araruama*. Governo do Estado do Rio de Janeiro, Secretaria Geral de Planejamento. 2007.

TUCCI, C. E. M. MENDES, C. A. B. *Avaliação Ambiental Integrada de Bacias Hidrográficas*. Ministério do Meio Ambiente e PNUD (Projeto PNUD 00/20). Apoio a Políticas Públicas na Área de Gestão e Controle Ambiental. Brasília-DF. 2006. 362p.

WHEATON, J. M.; DARBY, S. E.; SEAR, D. *The Scope of Uncertainties in River Restoration*, In: DARBY, S. E.; SEAR, D. (Org.) *River Restoration: Managing the Uncertainty in Restoring Physical Habitat*, John Wiley and Sons, Chichester, U. K., p. 21–39. 2008.

WILLIAMS, G. P.; WOLMAN, M. G. *Downstream effects of dams on alluvial rivers*. In: Geological Survey, Professional Paper 1286 U.S. Government Printing Office, Washington, DC, 1984. 83 p.

WMO - WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. The Global Climate 2001-2010. A Decade of Climate Extremes Summary Report, World Meteorological Organization (WMO), Geneva, 2013.

ZILIANI, L.; SURIAN, N. Reconstructing temporal changes and prediction of channel evolution in a large Alpine river: the Tagliamento river, Italy. *Aquatic Sciences*, v. 78, p. 83-94. 2016.