

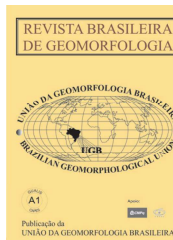


www.ugb.org.br
ISSN 2236-5664

Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 22, nº 1 (2021)

<http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v22i1.1826>



CARACTERIZAÇÃO DOS AJUSTES E MUDANÇAS NA MORFOLOGIA DO RIO SÃO JOÃO, REGIÃO DAS BAIXADAS LITORÂNEAS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

CHARACTERIZATION OF THE ADJUSTMENTS AND MORPHOLOGICAL CHANGES IN THE SÃO JOÃO RIVER, REGION OF THE COASTAL LOWLANDS OF RIO DE JANEIRO STATE

Rodrigo Correia dos Santos

*Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro
Av. Athos da Silveira Ramos, 274, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. CEP: 21941-909, Brasil
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2939-3293>
E-mail: rcdscorreia@gmail.com*

Mônica dos Santos Marçal

*Departamento de Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro
Av. Athos da Silveira Ramos 274, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. CEP: 21941-909, Brasil
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2674-5380>
E-mail: monicamarcal@gmail.com*

Informações sobre o Artigo

Recebido (Received):
07/12/2019
Aceito (Accepted):
03/11/2020

Palavras-chave:

Estilos Fluviais; Morfologia do Canal; Retificação; Lagoa de Juturnaíba.

Keywords:

River Styles; Channel Morphology; Rectification, Juturnaíba Lagoon.

Resumo:

O trabalho foi desenvolvido na bacia do rio São João, localizada na região das baixadas litorâneas do Estado do Rio de Janeiro e teve como objetivo caracterizar os tipos de ajustes e mudanças ocorridas na morfologia do rio São João entre 1964 e 2018, tendo como base a classificação de rios. O sistema fluvial apresenta histórico de intervenção que modificaram em vários trechos as configurações originais dos canais, através do processo de retificação de canais e a construção do reservatório de Juturnaíba. Somado a isso, tem a substituição gradativa e secular da vegetação natural de Mata Atlântica por grandes áreas de cultivos e pastagens. A identificação das tipologias dos rios foi com base na metodologia dos estilos fluviais que serviram de base de comparação temporal para identificação dos ajustes morfológicos do canal. Os ajustes foram avaliados a partir das evidências morfológicas erosivas do canal: canais abandonados, extensão de curva de meando, formação de meandro, migração lateral, rotação de curva de meandro e translação de curva de meandro. Foram identificados oito estilos fluviais sendo que as ocorrências das evidências de ajustes ocorrem em quatro estilos fluviais, localizados a montante do reservatório de Juturnaíba, predominantemente em áreas ocupadas por pastagens. Também foi observado evidências de ajuste do canal na área da reserva biológica localizada próxima ao reservatório, contudo, a manutenção da vegetação mostrou-se um importante controlador desses ajustes, considerando que este trecho apresenta condições semelhantes de comportamento geomorfológico em relação às demais áreas com a ocorrência de ajustes no canal.

Abstract:

The research was developed in the São João river basin, located in the coastal lowlands region of Rio de Janeiro State, and aims to characterize the adjustments types and morphological changes occurred in the São João River between 1964 and 2018, based on rivers classification. The river system has a history of interventions that modified the original channels configuration in several sections, through the process of channel rectification and the construction of the Juturnaíba reservoir. In addition, there is a gradual and secular replacement of the natural vegetation of the Atlantic Forest by large cultivation and pastures areas. The identification of the types of rivers was based on the river styles frameworks that served as a basis for temporal comparison to identify the morphological adjustments of the channel. The adjustments were evaluated based on the erosive morphological evidences of the channel: abandoned channels, length of the meander curve, meander formation, lateral migration, meander curve rotation and meander curve translation. Eight river styles were identified, with the occurrence of adjustments evidence occurring in four river styles, located upstream of the Juturnaíba reservoir, predominantly in occupied areas by pastures. Evidences of channel adjustment was also observed in the biological reserve area, located close to the reservoir, however, the vegetation maintenance proved to be an important adjustments controller, considering that this section presents similar geomorphological conditions behavior in relation to the other areas with the channel adjustments.

1. Introdução

Nos últimos anos, as pesquisas em geomorfologia fluvial associam a compreensão da dinâmica dos processos fluviais não apenas aos fatores naturais biofísicos, como também, às relacionadas com modificações realizadas diretamente na morfologia dos rios pela sociedade (BRIERLEY e FRYIRS, 2008; ASHMORE, 2015; BOELEN, *et al.*, 2016; MARÇAL *et al.*, 2017).

No entanto, os rios projetados ou modificados intencionalmente não têm sido um tema de preocupações em análises geomorfológicas, mas são parte significativa e importante que compõem as paisagens fluviais urbanas e rurais. Ou seja, as interferências da sociedade sobre os rios podem refletir em ajustes e/ou mudanças tanto na dinâmica dos processos como na morfologia do canal (LAVE *et al.*, 2014; ASHMORE, 2015).

Neste sentido, reconhecer as motivações das interferências, suas consequências e respostas do sistema fluvial tornam-se questões fundamentais nas análises dos rios e suas bacias hidrográficas. Deve-se, ainda, considerar que a maioria dos processos fluviais operam sob condições ambientais diferentes das que operavam antes das interferências humanas, sejam elas diretas e/ou indiretas (BRIERLEY e FRYIRS, 2005; MARÇAL e LIMA, 2016).

A diversidade das interrelações de fatores de natureza biofísica e social em diferentes escalas espaciais e temporais tem sido um dos grandes desafios metodológicos contemporâneos em ambientes fluviais, sobretudo porque estão relacionados à gestão hídrica. Muitos autores (KONDOLF *et al.*, 2003; BRIERLEY e FRYIRS, 2005; RINALDI *et al.*, 2016; dentre outros) se utilizam de métodos de classificação dos rios considerando as

múltiplas escalas espaço-temporais dos processos geomorfológicos, importantes para a compreensão das respostas de comportamento, ajustes e mudanças do sistema.

Destaca-se, contudo, que as propostas de classificação de rios são constantemente repensadas e avaliadas, na tentativa de buscar compreender respostas e padrões gerados pela dinâmica de interação dos processos fluviais. No entanto, torna-se importante compreender suas interações a fim de poder subsidiar na identificação dos possíveis ajustes e/ou mudanças a que estejam sendo submetidos, no âmbito da bacia hidrográfica. Para isso, o reconhecimento da natureza e magnitude das intervenções nos rios e suas implicações nos sistemas fluviais será determinante para compreender a trajetória de evolução dos processos e configuração atual dos rios.

De acordo com Fryirs (2017), as respostas do 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. Esta constante adaptação dos sistemas fluviais e de suas formas, em conjunto à integração existente entre os variados elementos do meio, demonstram como os rios podem ser extremamente diversos, com diferentes configurações e trajetórias.

Em vista disso, a pesquisa teve como objetivo caracterizar os tipos de ajustes e mudanças ocorridas na morfologia do rio São João entre 1964 e 2018, tendo como base a classificação de rios para a identificação de tipologias de canais fluviais. O reconhecimento dos ajustes e mudanças na morfologia do canal foi realizado a partir de uma avaliação espaço-temporal considerando-se as intervenções realizadas no sistema fluvial pelo

extinto Departamento de Obras e Saneamento (DNOS).

A Bacia do rio São João está localizada na região das Baixadas Litorâneas do Estado do Rio de Janeiro, com aproximadamente 2.200 km² de superfície, seu canal principal nasce na Serra do Sambê, parte do complexo da Serra do Mar a uma altitude de aproximadamente 720 metros e deságua junto ao distrito de Barra de São João, no município de Casimiro de Abreu (Figura 1).

O sistema fluvial apresenta histórico de intervenção que modificaram em vários trechos as configurações originais dos canais, através do processo de retificação de canais e com represamento das águas dos rios (CUNHA,

1995). Outra importante modificação na paisagem foi a substituição gradativa e secular da vegetação natural de Mata Atlântica por grandes áreas de cultivos e pastagens (SEABRA e CRUZ, 2013). Ressalta-se que as obras realizadas no sistema de drenagem do rio São João tinham como justificativas o aumento da área para as atividades de cultivos e pastagens, como também, melhoraria das condições de saneamento básico e saúde da população local. Já na década de 1970 tem início a construção da Represa de Juturnaíba sob responsabilidade da empresa Engenharia Gallioli e com execução da Construtora Queiroz Galvão, para atender às demandas de expansão urbana (CUNHA, 1995; BARROS, 2007).

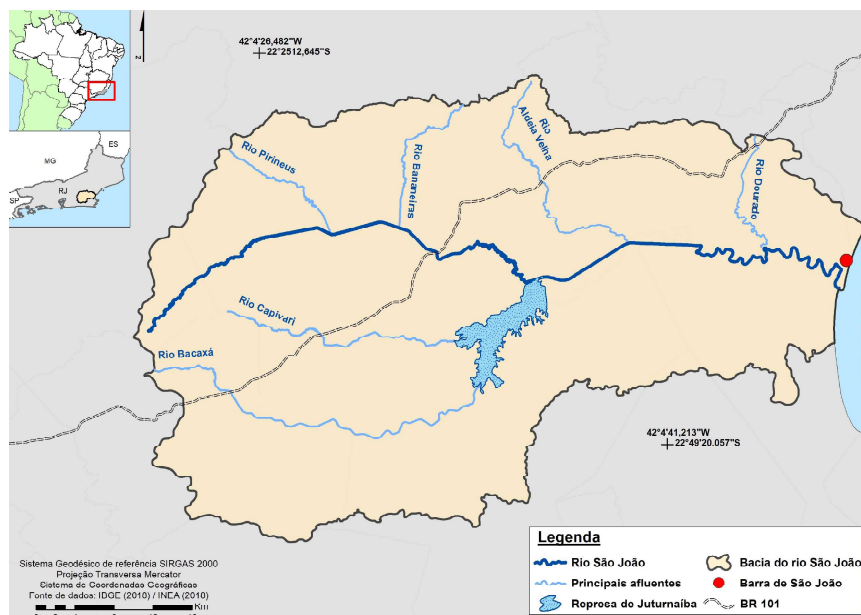


Figura 1 - Bacia do rio São João localizada na região das Baixadas Litorâneas do Estado do Rio de Janeiro.

2. Características biofísicas

O estado do Rio de Janeiro, em sua maior parte, está inserido na faixa móvel denominada de Faixa Ribeira ou Cinturão Móvel Ribeira, caracterizada por rochas proterozóicas deformadas e metamorizadas durante a orogênese Brasileira (720-590 Ma) (ALMEIDA, 1977; HEILBRON *et al.*, 2004). Originada a partir de um ambiente de arco magmático, é caracterizada principalmente por rochas metamórficas para-derivadas, fortemente orientadas segundo *trend* estrutural NNE-SSW e NE-SW, intrudidas por rochas ígneas neoproterozoicas a eopaleozoicas, e estruturada por grandes falhamentos regionais. A Faixa Ribeira sustenta, em grande parte, uma das principais feições de relevo do estado do Rio de Janeiro: a Serra do Mar (HEILBRON *et al.*, 2004).

De acordo com Schmitt *et al.*, (2012) e Gerales

et al., (2012) predominam na Bacia do rio São João três unidades geológicas, que compõem mais de 80% da litologia da área da bacia. A Unidade São Fidélis, pertencente do Complexo Paraíba do Sul, de idade Brasileira é composta principalmente por sillimanita-biotita gnaiss leucocrático. Também o Complexo Região dos Lagos de idade Pré-Siluriano, composta por ortognaisses graníticos com metaquartzo-dioritos subordinados em sua maior parte. Ocorrem também os depósitos flúvio-lagunares, oriundos do Quaternário, formados por camadas areno-siltico-argilosas com níveis de cascalheiras associados a depósitos de tálus, e sedimentos lacustrinos e de manguezais retrabalhados.

De acordo com o mapeamento geomorfológico apresentado por Silva (2002), nas áreas mais baixas da bacia do rio São João o relevo é composto por planícies fluviais e colinas que variam entre 50 e 100 metros de al-

titudes. Já nas áreas elevadas há o predomínio de serras e escarpas, apresentando altitude máxima de 1.719 metros.

Seabra e Cruz (2013) apontam que cerca de 32% da área da bacia apresenta vegetação natural de Mata Atlântica e 7% com vegetação secundária. Já as áreas de pastagens correspondem a 55% e se concentram nas zonas de baixadas e planícies fluviais, oriunda da ampla devastação de vegetação nativa (Mata Atlântica) ocorrida

desde o período da colonização. De acordo com os dados das estações pluviométricas da Agência Nacional de Águas - ANA, referentes aos anos de 1968 e 2017 (disponível em <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/>), as chuvas na região da bacia apresentavam até o fim do Século XX, totais anuais variando de 1.500mm a 3.000mm. Após os anos de 2000, passaram a apresentar números mais acentuados, com totais anuais variando de 1.000mm a quase 5.000mm.

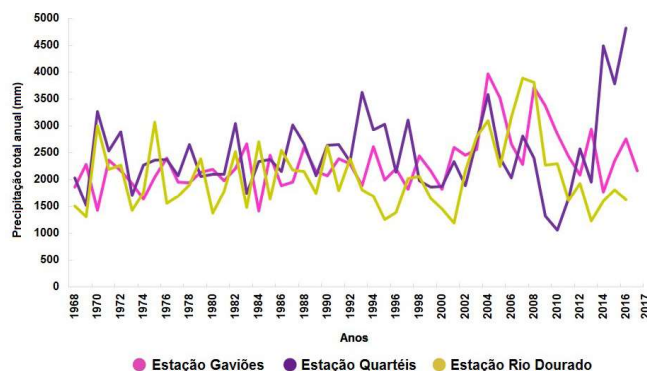


Figura 2 - Série histórica das precipitações totais anuais para as estações de Gaviões (1), Quartéis (2) e Rio Dourado (3) localizadas na Figura 1.

3. Materiais e Métodos

A identificação dos segmentos dos rios e suas tipologias foram baseadas na metodologia dos estilos fluviais proposta por Brierley e Fryirs (2005), que considera parâmetros para a avaliação dos controles regionais e locais sobre a forma e comportamento do rio, sendo eles: (1) confinamento dos vales, onde considera-se como confinado, com mais de 90% do canal ocorrendo junto à margem do vale; parcialmente confinado, entre 10-90% do canal ocorrendo junto à margem do vale; e lateralmente não confinado, com até 10% do canal ocorrendo junto à margem do vale. (2) forma em planta de toda a extensão do canal, considerando-se a sinuosidade e estabilidade do canal. (3) unidades geomorfológicas, mapeando-se planície de inundação, terraços fluviais e demais feições existentes dentro e fora do canal, como barras laterais e longitudinais, além de paleocanais. As características granulométricas das unidades geomorfológicas e a composição textural do leito dos rios foram avaliadas em campo. Para as análises utilizou-se imagens *Rapideye* de 2018 com resolução espacial de 5 metros, adquiridas junto ao Ministério do Meio Ambiente (MMA), além de imagens do *Google Earth Pro*.

As análises dos ajustes e mudanças na morfologia do rio São João foram baseadas nos estudos de Fryirs *et al.* (2009), Reid e Brierley (2015), David *et al.* (2016) e Marçal *et al.* (2017). Ressalta-se que não foram considerados

dados sobre comportamento da vazão devido aos poucos dados disponíveis. Além disso, devido à falta de dados históricos e atuais acerca da profundidade do rio São João, a análise comparativa sobre os ajustes morfológicos entre os anos de 1964 e 2018 se concentraram em identificar as evidências dos ajustes erosivos do canal, tendo como referência as informações de Brierley e Fryirs (2005) e Fryirs *et al.*, (2009) (Figura 3), sendo eles: canal abandonado; extensão de curva de meandro; formação de meandro; migração lateral; rotação de curva de meandro; linearização do canal; e translação de curva de meandro). Foram vetorizadas e georreferenciadas fotografias aéreas do Projeto USAF da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), na escala de 1:60.00, para mapeamento da forma em planta do canal referente ao ano de 1964 e analisados parâmetros morfométricos do canal. Essas informações foram comparadas com o mapeamento realizado da forma em planta do canal para o ano de 2018, tendo como base os estudos de Fryirs *et al.* (2009) e Lisenby e Fryirs (2016).

Os trabalhos de campo ocorreram entre os meses de abril de 2018 e maio de 2019, com finalidades de reconhecimento do mapeamento dos estilos fluviais, descrição das formas deposicionais dentro e fora do canal, tipos de leito fluvial e análise descritiva dos sedimentos e dos processos fluviais associados, observação da área de abrangência do vale fluvial em relação ao uso da terra e de sua forma, além de aquisição de fotografias.

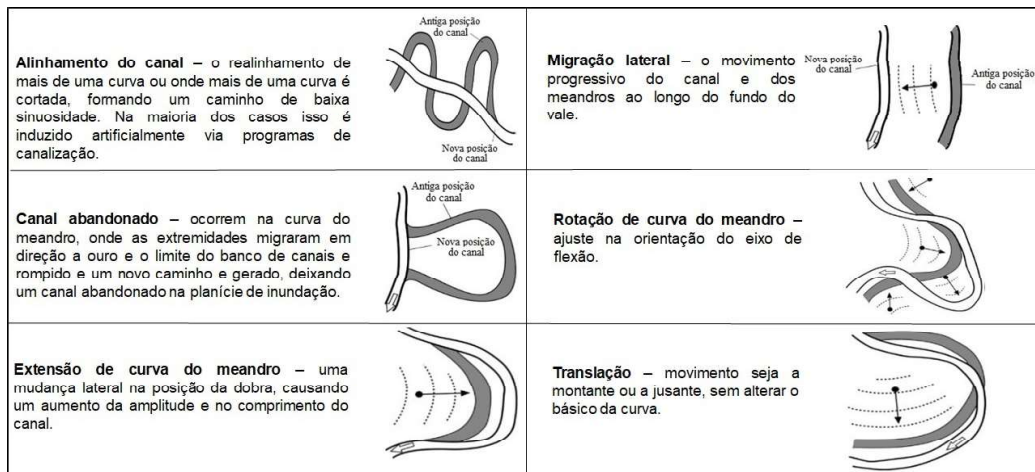


Figura 3 - Formas de ajustes erosivos do canal fluvial. Modificado de Brierley e Fryirs (2005) e Fryirs et al., (2009).

4. Resultados

4.1 Identificação dos Estilos Fluviais

Foram identificados oito estilos fluviais na Bacia do rio São João, nomeados de acordo com Fryirs e Brierley (2017) (Figura 4). Destaca-se que a montante da represa de Juturnaíba o rio São João apresenta uma variação maior de tipologias fluviais que a jusante da represa, em

função das características de relevo (variação altimétrica de 700 metros) e da característica da declividade (variação de montanhoso com 45 a 75% a plano com 0 a 3%). A atuação conjunta desses parâmetros irá conferir maior diversidade de ambientes fluviais e irá configurar como importantes controles regionais sobre a dinâmica dos processos geomorfológicos (Figura 4A e C) e (Tabela 1).

Tabela 1: Atributos dos estilos fluviais identificados na Bacia do Rio São João.

Estilo Fluvial	Configuração de vale	Compartimento geomorfológico	Elevação (m)	Largura média do canal (m)	Forma em planta do canal	Caráter do rio		Comportamento
						Unidades Geomorfológicas	Material do Leito (Cunha 1995)	
Vale confinado, cabeceira íngreme	Confinado	Relevo montanhoso	720-230	2,5	-	Sem planície	Blocos rochosos, matacões, cascalho, seixos e areia	Canal estável de base rochosa, 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	Blocos rochosos, matacões, cascalho, seixos e areia	Canal com elevado poder erosivo e de transporte de sedimentos, devido a declividade e a configuração de confinamento do 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	Areia grossa/média	Canal com boa conectividade lateral e vertical, de elevado potencial de deposição devido à 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	Areia grossa a fina	Canal lateralmente instável com conexão lateral alterada devido à ação antrópica em suas planícies, gerando um aumento no fornecimento de sedimentos para o canal e configurando-o com elevado potencial deposicional. Em condições de fluxo elevado possui alta capacidade de transporte sedimentar e retrabalhamento de suas feições.
Vale lateralmente não confinado, canal contínuo, sinuoso	Lateralmente não confinado	Planície fluvial	50-40	12	Canal único, sinuoso, estabilidade artificialmente imposta	Planície contínua, barras de pontal, barras laterais e barras longitudinais	Areias de grossas a finas	Canal lateralmente instável com conexão lateral alterada devido à ação antrópica em suas planícies, gerando um aumento no fornecimento de sedimentos para o canal e configurando-o com elevado potencial deposicional. Em condições de fluxo elevado possui alta capacidade de transporte sedimentar e retrabalhamento de suas feições.
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 arenoso e paleocanais	Areias de grossas a finas	Segmento com leito modificado com alta capacidade de transporte sedimentar devido a retenção de seus fluxos, tornando-o propenso também a incisão do leito. Em condições de baixo fluxo, há elevação do processo deposicional, que eleva o nível do leito e retrabalhamento de suas feições. Seu trecho a jusante age sob influência da regulação de fluxos pela barragem.
		Planície flúvio-marinha	20-20	67		Planície contínua delimitada artificialmente e paleocanais		
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	Canal sob alta pressão antrópica, com conectividade lateral reduzida e fluxos regulados por barragem. Possui 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	Pântano formado pela dissipação de fluxo e sedimentos no fundo de vale, depositados em camadas. Propenso a incisão se seus limites são excedidos.

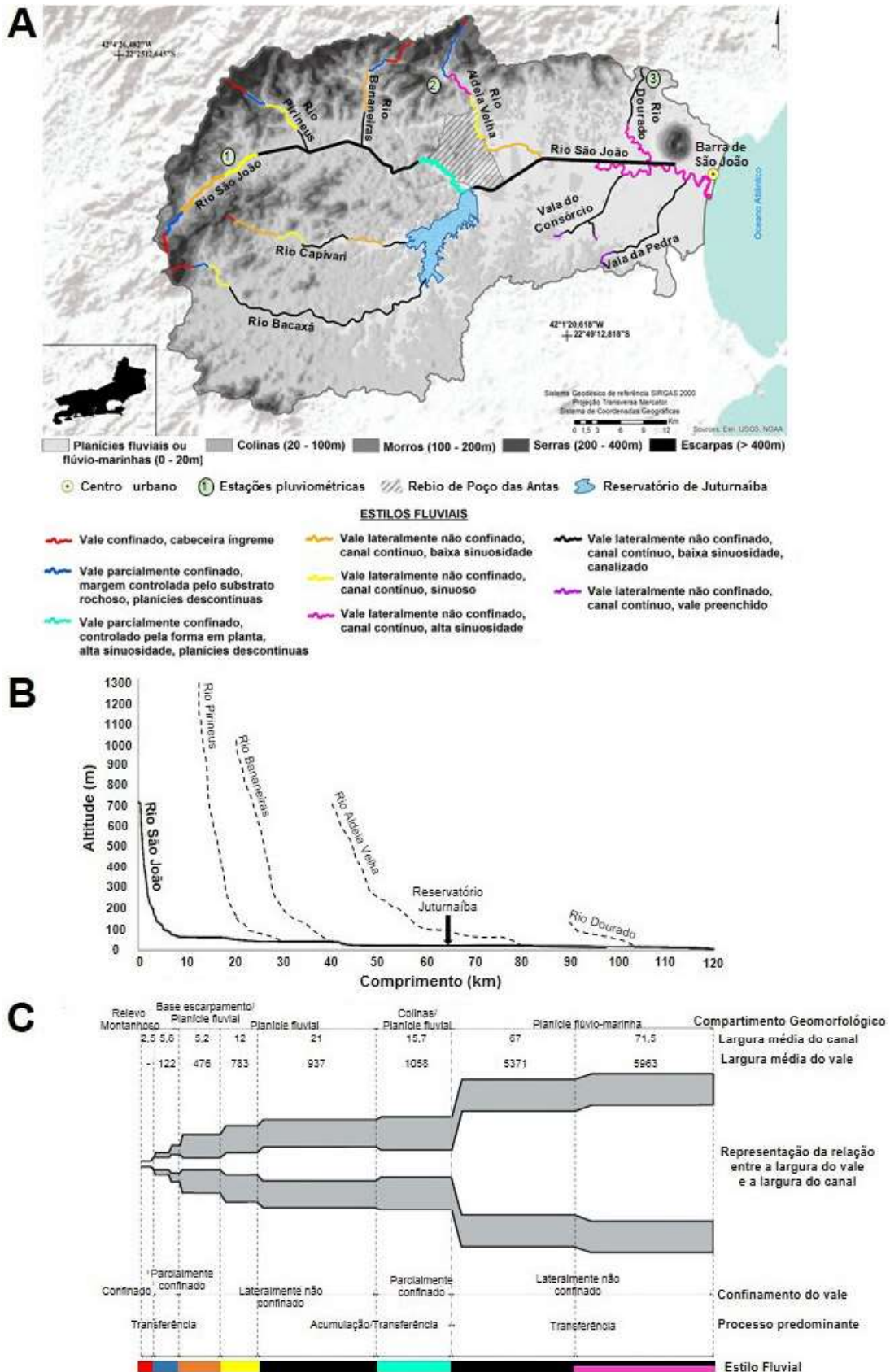


Figura 4 - Bacia do rio São João com a identificação dos estilos fluviais. (A) Padrões de relevo e estilos fluviais na Bacia do Rio São João. (B) Perfil longitudinal do rio São João e seus principais afluentes. (C) Relações entre a largura do vale e do canal, confinamento do vale e zonas dos processos geomorfológicos.

O Estilo Fluvial Vale Confinado, cabeceira íngreme [EF-VC cabeceira íngreme], localiza-se nas áreas de nascentes, com altitudes superiores a 400 m (Figura 4A). Possui leito rochoso, com formação de cascatas, o que condiciona a sinuosidade do canal ao vale fluvial e que associado à sua elevada declividade (> 45%), em um desnível de 490 metros, proporciona um comportamento do trecho com boa capacidade de transporte de sedimentos e baixa propensão a ajustes e movimentos laterais.

Em sequência, tem-se o Estilo Fluvial Vale Parcialmente Confinado, margem controlada pelo substrato rochoso, planícies descontínuas [EF-VPC margem controlada substrato rochoso], localizado em área com relevo de transição entre a base das encostas escarpadas para as planícies e terraços fluviais. Possui o leito rochoso, com formação de cascatas, porém, apresenta maior abertura dos vales e baixas declividades (5%), em variação altimétrica de 150 metros, propiciando a existência de planícies descontínuas, em meio a terraços fluviais ocasionais (Figura 4A e C). Estes elementos

tendem a gerar manutenção das características que o compõe, com restrições na movimentação do leito do rio e dando continuidade à ação erosiva do canal e do transporte sedimentar a jusante.

Na passagem para o outro segmento de rio, há nítida mudança das características físicas, onde encontra-se o Estilo Fluvial Vale Lateralmente Não Confinado, canal contínuo, baixa sinuosidade [EF-VLNC baixa sinuosidade] tendo uma amplitude altimétrica de 30 metros ao longo dos seus 9,8 km de extensão. Os vales são alargados em relevo composto por planícies fluviais de pouca declividade (< 3%) e com leito arenoso, resultando na ocorrência de unidades geomorfológicas dentro do canal (Tabelas 1 e 2). Com o alargamento do vale fluvial, as planícies fluviais antes descontínuas passam a ser contínuas, permitindo que a área seja amplamente utilizada para pecuária, restringindo a vegetação em fragmentos arbóreos, com faixa de 20 a 30 metros de ocorrência da mata ciliar em alguns locais. Neste segmento as margens dos rios são mais erosivas e sujeitas a ajustes laterais e verticais.

Tabela 2: Controles de parâmetros físicos sobre as características e comportamento do rio São João.

Estilo Fluvial	Extensão (km)	Elevação (m)		Amplitude altimétrica (m)	Declividade do vale (EMBRAPA)	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	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

A partir deste trecho o canal torna-se mais sinuoso devido às baixas declividades, com diminuição na velocidade do fluxo d'água que culmina em maior heterogeneidade quanto a ocorrência de assembleia de feições geomorfológicas dentro do canal. Este trecho caracteriza-se como Estilo Fluvial Vale Lateralmente Não Confinado, canal contínuo, sinuoso [EF-VLNC sinuoso] com planícies também contínuas, leito arenoso, pouca ocorrência de vegetação, baixa declividade (< 3%), mas com sinuosidade mais acentuada, no valor de 1,5. Após esse trecho o canal apresenta as mesmas características no fundo do vale, porém retificado ao longo de aproximadamente 25 km.

A largura média do canal antes da retificação era de 12 metros e passa a ter 21 metros, aumentando o fluxo e a capacidade de transporte de carga, com ocorrência de feições dentro do canal do tipo barras laterais e depósitos laminares arenosos, configurando-se como Estilo Fluvial Vale Lateralmente Não Confinado, canal contínuo, baixa sinuosidade, canalizado [EF-VLNC canalizado]. O deslocamento do canal é próximo ao seu antigo traçado, com cerca de 700 metros de distanciamento máximo, podendo ser observado paleocanais no fundo de vale. Os ajustes do canal estão prioritariamente na incisão vertical do leito devido a concentração de fluxos.

Após o trecho retificado o rio São João percorre área de conservação, denominada de Reserva Biológica Poço da Antas (REBIO), a montante da antiga Lagoa de Juturnaíba. O vale fluvial passa a ser parcialmente confinado, com ocorrências de planície descontínuas e com leito arenoso e presença de barras de pontal, configurando-se como um trecho denominado Estilo Fluvial Vale Parcialmente Confinado, controlado pela forma em planta, alta sinuosidade, planícies descontínuas [EF-VPC controlado pela forma em planta] (Tabela 1). A vegetação é mais abundante nas encostas e topo de morros e colinas, com mata ciliar em quase todo o canal, porém a jusante, já próxima ao Reservatório de Juturnaíba, a predominância se dá pela vegetação rasteira. É um estilo fluvial que possui baixa propensão a ajustes laterais devido a boa estabilidade de suas margens, estando mais propenso a ajustes verticais e ao retrabalhamento através da deposição de sedimentos e formação de planícies fluviais, em função da grande carga sedimentar.

Após o Reservatório de Juturnaíba o canal está retificado, por cerca de 26 km em área caracterizada em vale não confinado formando amplas planícies flúvio-marinha, com leito arenoso, sem a presença de mata

ciliar e planícies fluviais bem delimitadas. Este trecho de canal passa a receber fluxo de água e sedimentos regulados pelo reservatório, não apresentando feições geomorfológicas dentro do canal e define-se também como EF-VLNC canalizado.

Após o trecho retificado, o canal percorre área com as mesmas características de fundo de vale do trecho localizado a montante do reservatório, porém, mantendo seu traçado original e com largura e sinuosidade mais acentuada, com aproximadamente 72 metros de largura média e índice de sinuosidade de 1,9, sendo denominado de Estilo Fluvial Lateralmente Não Confinado, canal contínuo, alta sinuosidade [EF-VLNC alta sinuosidade]. É um trecho caracterizado pela sua ampla planície de inundação onde a atividade de pecuária, sem ocorrência de mata ciliar e forte pressão sobre um manguezal localizado na desembocadura do rio.

A sequência das tipologias fluviais identificadas no rio São João pode ser observada nos principais rios afluentes (pela margem esquerda e a jusante do reservatório têm-se os rios Bananeiras, Pirineus e Aldeia Velha, e pela margem direita os rios Bacaxá e Capivari), podendo ocorrer em alguns dos canais a ausência de determinadas tipologias.

A área mais a jusante da bacia do rio São João é caracterizada pelo domínio de relevo suave colinoso com a presença singular de canais fluviais que se definem como de preenchimento ou entulhamento de sedimentos. Nestas áreas identifica-se o Estilo Fluvial Vale Lateralmente Não Confinado, canal contínuo, vale preenchido [EF-VLNC vale preenchido], através dos canais denominados como “Vala do Consórcio” e “Vala da Pedra”, cuja área define-se por planícies flúvio-marinhas que se formam no fundo de vales lateralmente não confinado com canais bastante preenchidos de sedimentos e com ocorrência descontínua de pântanos planos, que acumulam sedimentos em suspensão, à medida que o fluxo se espalha pelo fundo de vale.

4.2 Caracterização dos ajustes e mudanças na morfologia do canal

A avaliação dos mecanismos de ajustes e mudanças do canal do rio São João foi realizada com base nas imagens de fotografias aéreas de 1964, período em que antecede às obras de retificação pelo extinto DNOS e de imagem de satélite de 2018 (Figuras 3 e 4). Do ponto de vista morfométrico houve mudanças significativas

na morfologia do canal e da lagoa de Juturnaíba, com perda na extensão do canal de aproximadamente 30 quilômetros. Além das mudanças na morfologia canal, houve ainda significativas modificações na área da

antiga lagoa, na qual mantinha pequena ligação com o canal São João (através do córrego Sangradouro). Sua área correspondia a um quinto do tamanho que possui atualmente, passando de 8km² para os 43km² (Figura 5).

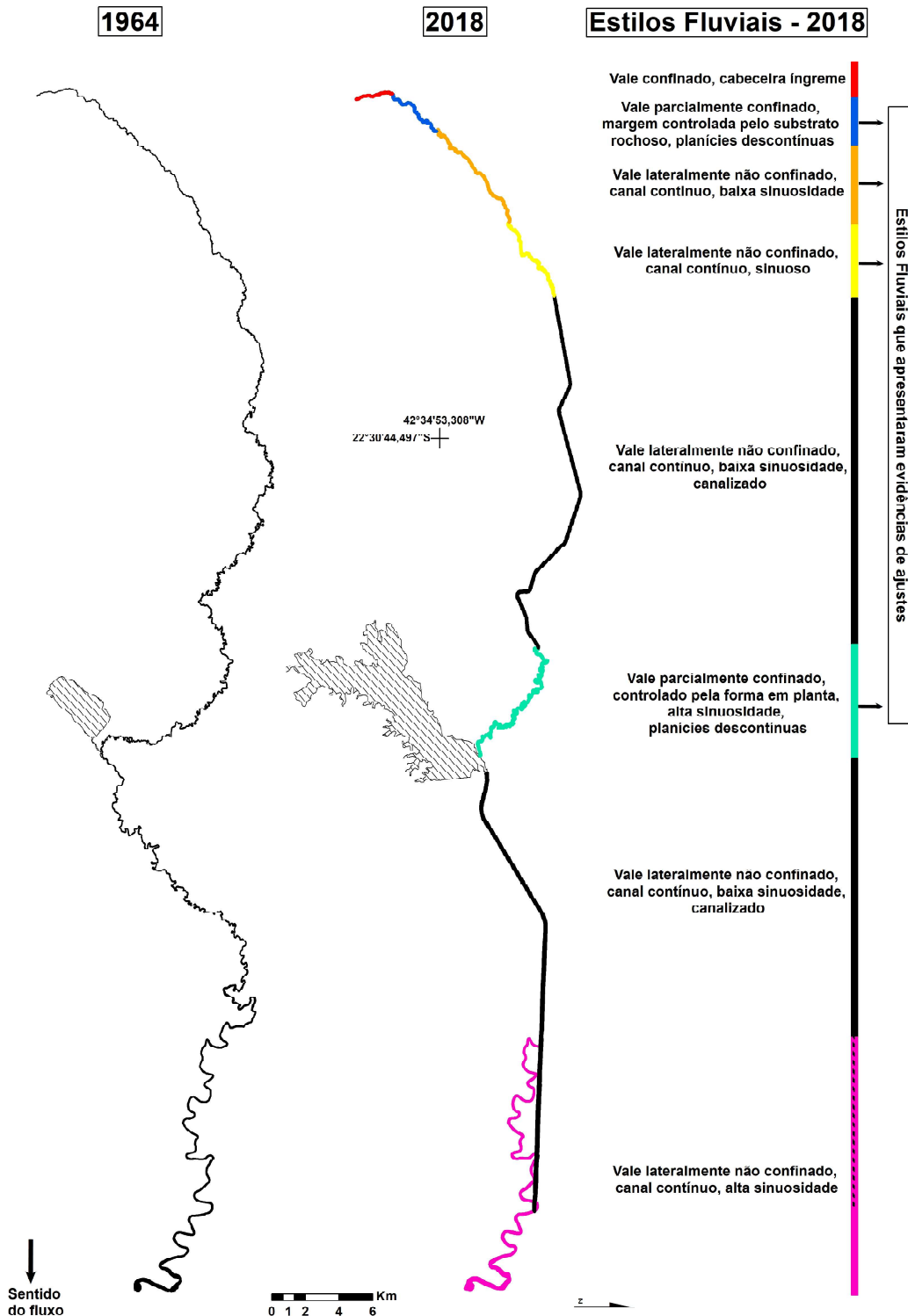


Figura 5 - Forma em planta do rio São João, com destaque da localização da Lagoa/Reservatório de Juturnaíba, para os anos de 1964 e 2018. Estão apresentados os estilos fluviais e áreas de evidências de ajustes morfológicos.

A identificação dos estilos fluviais no sistema do rio São João permitiu analisar as mudanças nas formas de ajustes morfológicos do canal e ajudaram na comparação entre os períodos analisados. Dentre os oito estilos fluviais identificados, em apenas quatro foram encontradas as evidências de ajustes na morfologia do canal e estão localizados a montante da represa de Juturnaíba, sendo eles: EF-VPC margem controlada substrato rochoso; EF-VLNC baixa sinuosidade; EF-VLNC sinuoso; e EF-VPC controlado pela forma em planta (Figuras 5 e 6).

Nesses quatro estilos fluviais foram identificadas 67 evidências de ajuste morfológicos, divididos em sete categorias de ajustes erosivos (Figura 6). Os estilos fluviais EF-VPC margem controlada substrato rochoso, EF-VLNC baixa sinuosidade e EF-VLNC sinuoso ocorrem desde próximo à nascente do rio São João indo

até o trecho de canal retificado, percorrendo aproximadamente 22,8 km. Estes estilos fluviais apresentam-se com características de canal contínuo e com sinuosidade por vezes acentuada. Os vales são não confinados a parcialmente confinados.

Na sequência, o canal encontra retificado com cerca de 24,6 km de extensão e sem apresentar evidências de ajustes na morfologia do canal (EF-VLNC canalizado). Já logo após esse trecho, o rio passa a ter seu percurso controlado pelo seu vale fluvial definindo-se como estilo fluvial EF-VPC controlado pela forma em planta, até desaguar na represa. Destaca-se que este percurso final do rio está sob proteção de unidade de conservação do tipo Reserva Biológica. A mesma sequência observada nesses estilos fluviais pode ser também identificada nos principais afluentes do rio São João.

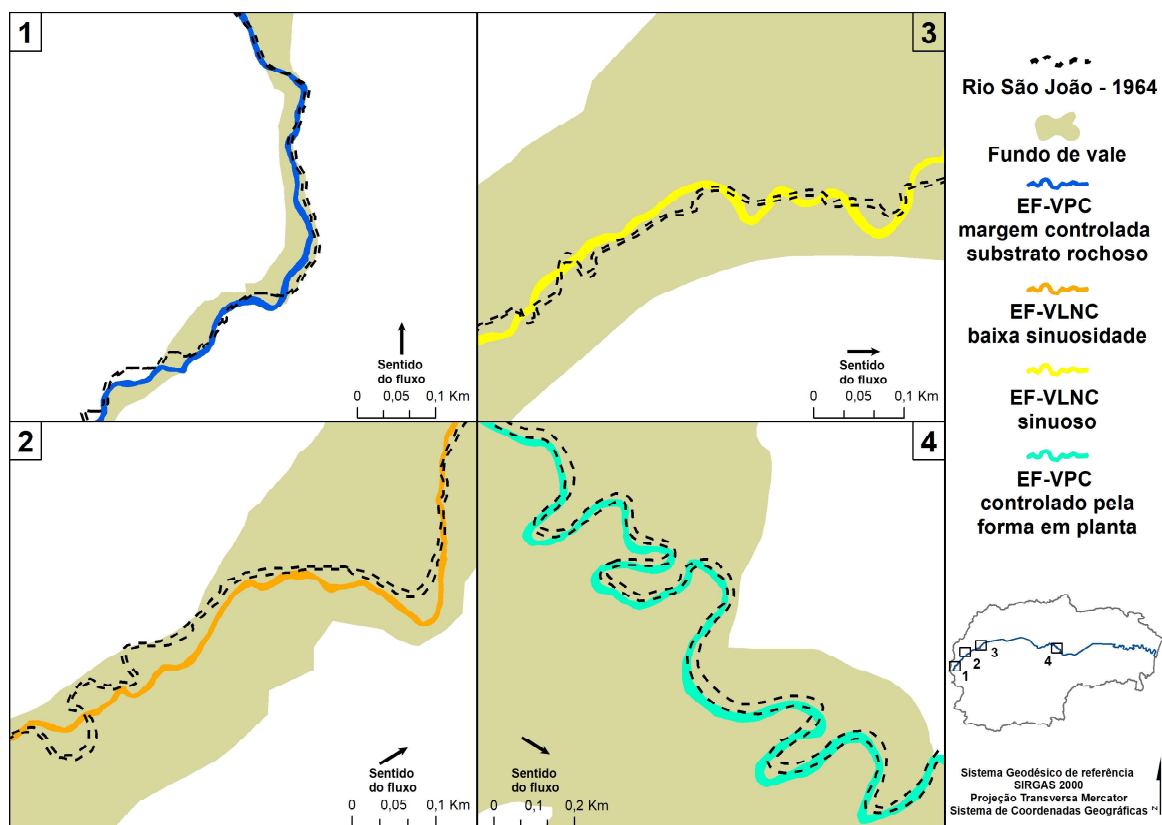


Figura 6 - Evidências de ajustes morfológicos identificadas nos estilos fluviais da Bacia do rio São João. (1) extensão de curva de meandro e migração lateral; (2) extensão de curva de meandro, migração lateral e alinhamento do canal; (3) extensão de curva de meandro, migração lateral e alinhamento do canal; (4) extensão e rotação de curva de meandro.

Assim, no estilo fluvial EF-VPC margem controlada substrato rochoso foi identificado onze evidências de ajustes morfológicos, sendo predominante a ocorrência de migração lateral do canal, que corresponde a 45% dos

ajustes neste estilo fluvial (Figuras 5 e 6). 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 meandantes.

Já nos estilos fluviais EF-VLNC baixa sinuosidade e EF-VLNC sinuoso houve variações na localidade das evidências de ajustes, sendo encontrados para o primeiro estilo fluvial 21 pontos de ajuste morfológico (30% do total, com predominância de ocorrência de ajuste do tipo migrações laterais do canal e extensões de curvas de meandros) e para o segundo estilo fluvial 22 pontos de ajuste morfológico (32% do total, com modificações em curvas de meandros, como extensões e rotações) (Figuras 5 e 6).

No estilo fluvial EF-VPC controlado pela forma em planta, foi identificado 13 evidências de justes morfológicos, predominantemente localizados nas curvas

dos meandros, com ênfase para as suas extensões e rotações (Figuras 5 e 6).

Pode-se observar na Tabela 3 que o canal do rio São João, a montante da represa de Juturnaíba, apresenta importantes alterações na sua morfologia, uma vez que, em pouco mais de 50 anos (entre 1964 e 2018), o canal tem expressiva diminuição na largura máxima, além de um pequeno aumento do índice de sinuosidade (Tabela 3). A jusante da represa o canal do rio São João está retificado, não sendo possível avaliar as mudanças morfológicas ocorridas no mesmo período dos anos analisado.

Tabela 3: Parâmetros morfométricos do canal São João, para os anos de 1964 e 2018.

Canal/Estilo Fluvial	Ano de referência	Extensão	Sinuosidade		Largura máxima do canal
			Índice	Classificação	
Rio São João	1964	151,2	2,29	Tortuoso	265
	2018	119,8	1,88	Tortuoso	225
Estilos Fluviais					
EF-VPC margem controlada substrato rochoso	1964	4,1	1,2	Baixa sinuosidade	7,7
	2018	5,2	1,25	Baixa sinuosidade	7,2
EF-VLNC baixa sinuosidade	1964	9,2	1,4	Sinuoso	14,1
	2018	9,8	1,5	Sinuoso	10,2
EF-VLNC sinuoso	1964	7,7	1,7	Sinuoso	29,2
	2018	7,8	1,7	Sinuoso	22,2
EF-VPC controlado pela forma em planta	1964	13,4	2,1	Tortuoso	48,8
	2018	15,7	2,2	Tortuoso	35,8

5. Discussões

Os rios são continuamente submetidos à diferentes tipos de ajustes nos seus processos e estes podem ser relacionados, em grande parte, às mudanças nas condições de regime hidrológico, na morfologia do canal e no uso da terra, dentre outros. Com isso, é importante identificar os ajustes dos rios que estariam associados ao de comportamento natural dos processos e os relacionados às obras de intervenções sobre os sistemas fluviais.

Exemplos disso seriam as alterações na sinuosidade do canal devido à obra de retificação, modificando e potencializando as condições do fluxo. Por outro lado, o abandono de canal ou progradação de uma barra de pontal podem estar ou não relacionadas às intervenções humanas sobre os rios. Neste sentido, importante ressaltar que para uma análise mais completa sobre os ajustes

ocorrido no rio, torna-se importante que sejam levados em conta as análises históricas sobre comportamento de chuvas e vazão, além das análises comparativas sobre a morfologia do canal.

Para a bacia do Rio São João, que tem histórico de intervenções nos rios através de represamento e retificação de canais, os dados de chuva indicam aumento expressivo nas proximidades dos anos de 2000 (ver Figura 2), corroborando com Primo e Volcker (2003), o que pode já indicar mudanças no comportamento das vazões e dos processos fluviais. A falta de informações históricas sobre monitoramento de dados de vazão impossibilita a compreensão dos ajustes dos processos no rio São João. No entanto, o mapeamento temporal da morfologia do canal pôde indicar os locais de ocorrência das evidências de ajuste e ajudar na interpretação do comportamento dos processos fluviais, frente às intervenções no sistema fluvial.

Assim, as análises mostraram que os tipos de ajustes erosivos identificados nos estilos fluviais do rio São João estão localizados a montante do reservatório de Juturnaíba e entre trechos de rio retificado, mostrando a influência das interferências das obras na dinâmica dos processos. Observa-se, contudo, que há ocorrência de número maior dos ajustes erosivo (lateral) do canal, onde cerca de 60% estão associados à extensão, rotação

e/ou translação de curvas de meandros, de forma a expandir o comprimento do canal para ajustar o fluxo e, com isso, aumentar a resistência do canal (Figura 7). Os ajustes no deslocamento lateral do canal só não foram identificados no estilo fluvial localizado nas áreas de cabeceiras. No entanto, é observado a sua ocorrência nos demais estilos fluviais, independentemente de o leito do rio ser rochoso ou aluvial.

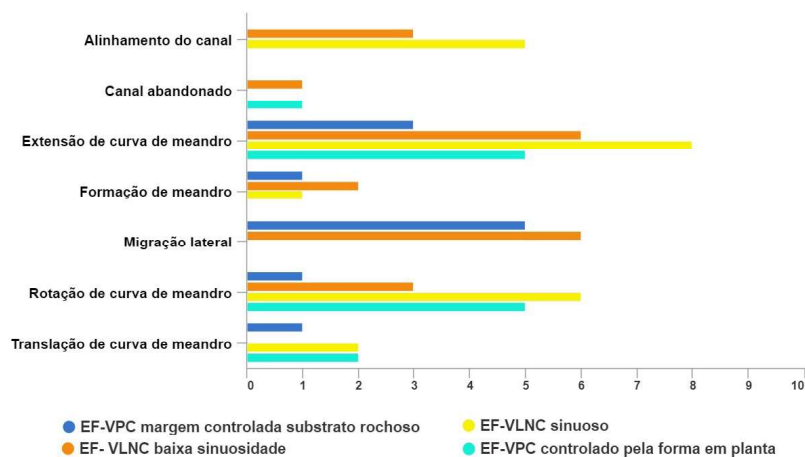


Figura 7 - Tipos e quantidade de ajustes morfológicos identificados nos estilos fluviais do rio São João.

Apesar dos ajustes erosivos estarem ocorrendo em maior número nos trechos do rio onde o canal apresenta-se em vale lateralmente não confinado (EF-VLNC baixa sinuosidade e EF-VLNC sinuoso), mas que em condições similares, mais a jusante e já próximo ao reservatório, os mesmos tipos de ajustes erosivos aparecem em menor frequência (EF-VPC controlado pela forma em planta).

A diferença entre eles é que nos dois primeiros trechos de rio a paisagem está degradada, com o predomínio de pastagem nas encostas. No outro estilo fluvial, já próximo a represa de Juturnaíba, a área atualmente é protegida por unidade de conservação (REBIO de Poço das Antas), com vegetação bem mais preservada fazendo com que haja diminuição de erosão nas encostas e melhoria nas condições de conectividade hidrológica (Figura 8).



Figura 8 - Fotografias do rio São João em dois diferentes trechos. (A) O rio com a tipologia de Estilo Fluvial Vale Lateralmente Não Confinado, canal contínuo, baixa sinuosidade; (B) Rebio de Poço das Antas, onde o rio apresenta-se com o Estilo Fluvial Vale Parcialmente Confinado, controlado pela forma em planta, alta sinuosidade, planícies descontínuas. Fotografias de acervo pessoal, em 2019.

5. Conclusões

A metodologia de classificação dos estilos fluviais possibilitou o mapeamento de diferentes trechos do canal com características de comportamento similares dos processos geomorfológicos. Com isso, foi possível realizar análises temporais comparativas entre os tipos de segmentos do canal com comportamento similares.

Os ajustes morfológicos no canal do rio São João estão diretamente relacionadas às obras de retificação realizadas pelo extinto DNOS e à transformação da antiga lagoa em reservatório. Mas, a ausência da vegetação, em grande parte, mostrou-se como um importante controlador sobre a dinâmica dos ajustes morfológicos do canal, como foi observado no trecho do rio São João a montante do reservatório de Juturnaíba.

Porém, para análises mais precisas sobre a dinâmica dos ajustes em que vem operando o sistema do rio São João, importante estabelecer o sistema de monitoramento sobre a vazão, para serem associados às análises hidrogeomorfológicas e as de interpretações morfológicas do canal.

Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa durante o período de estudos e ao Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

7. Referências Bibliográficas

ALMEIDA, F. F. M. O Cráton do São Francisco. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 7, p. 349-364, 1977. Disponível em: <<http://ppegeo.igc.usp.br/index.php/rbg/article/view/11179/10638>>. Acesso em: 12 ago. 2019.

ASHMORE, P. Towards a sociogeomorphology of rivers. *Geomorphology*, v. 251, p. 149-156, 2015. DOI: 10.1016/j.geomorph.2015.02.020

BARROS, S. R. S. **A inserção da zona costeira nas territorialidades da Bacia Hidrográfica do Rio São João – RJ: inter-relações, trocas e conflitos**. Tese (Doutorado em Geografia), Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2007. 181p. Disponível em: <<http://livros01.livrosgratis.com.br/cp029334.pdf>>. Acesso em: 17 jul. 2018.

BOELEN, R.; HOOGESTEGE, J.; SWYNGEDOUW, E.; VOS, J.; WESTER, P. Hydrosocial territories: A political ecology perspective. *Water International*, v. 41, p.1-14, 2016. DOI: 10.1007/s10980-008-9276-x

BRIERLEY, G. J.; FRYIRS, K. A. **Geomorphology and River Management: Applications of the River Styles Framework**. Oxford, UK: Blackwell Publishing, 2005. 398p. DOI: 10.1002/9780470751367

BRIERLEY, G. J.; FRYIRS, K. **River futures: an integrative scientific approach to river repair**. Washington D.C., USA: Island Press, 2008. 328p. DOI: 10.1007/s10980-008-9276-x

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.

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*, v. 258, p. 21–39, 2016. DOI: 10.1016/j.geomorph.2016.01.012

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. DOI: 10.1002/esp.1771

FRYIRS, K. A. River sensitivity: a lost foundation concept in fluvial geomorphology. *Earth Surface Processes and Landforms*, v. 42, p. 55-70, 2017. DOI: 10.1002/esp.3940

FRYIRS, K.; BRIERLEY, G. J. **The River Styles short course workbook: Brazil, September 2017**. Sydney, AU: Macquarie University, 2017. 92p.

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 - Serviço Geológico do Brasil, 2012. 136p. Disponível em: <<http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/11377>>. Acesso em: 11 abr. 2019.

HEILBRON, M.; PEDROSA-SOARES, A. C.; CAMPOS NETO, M. C.; SILVA, L. C.; TROUW, R. A. J.; JANASI V. A. Província Mantiqueira. In: MANTESSO-NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO C. D. R.; BRITO NEVES, B. B. (org.) **Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. São Paulo, Beca, ISBN: 8587256459, p. 203-234, 2004.

KONDOLF, G. M.; MONTGOMERY, D. R.; PIEGÁY, H.; SCHMITT, L. Geomorphic Classification of Rivers and Streams. In: KONDOLF, G. M.; PIEGÁY, H. (org.). **Tools in Fluvial Geomorphology**. p. 171-204, 2003. DOI: 10.1002/9781118648551.ch7

LAVE, R.; WILSON, M. W.; BARRON, E. S.; BIERMANN, C.; CAREY, M. A.; DUVAL, C. S.; JOHNSON, L.; LANE, K. M.; MCCLINTOCK, N.; MUNROE, D.; PAIN, R.; PROCTOR, J.; RHOADS, B. L.; ROBERTSON, M. M.; ROSSI, J.; SAYRE, N. F.; SIMON, G.; TADAKI, M.; VAN DYKE, C. Intervention: Critical physical geography. **The Canadian Geographer**, v. 58, p. 1-10, 2014. DOI: 10.1111/cag.12061

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. DOI: 10.1002/2015WR017747

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. DOI: 10.36403/espacoaberto.2016.5236

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. DOI: 10.1016/j.apgeog.2017.04.00

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. 2003. 177p. Disponível em: <<http://www.oads.org.br/files/109.pdf>>. Acesso em: 24 fev. 2018.

REID, H. E.; BRIERLEY, G. J. Assessing geomorphic sensitivity in relation to river capacity for adjustment. **Geomorphology**, v. 251, p. 108-121, 2015. DOI: 10.1016/j.geomorph.2015.09.009

RINALDI, M. GURNELLA, M. GONZÁLEZ DEL TÁNAGO, M. BUSSETTINI, M. HENDRIKS, D. Classification and characterization of river morphology and hydrology to support management and restoration. **Aquatic Sciences**, v. 78, p. 1-16, 2016. DOI: 10.1007/s00027-015-0438-z.

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 - Serviço Geológico do Brasil, 2012. 202p. Disponível em: <<http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/17682>>. Acesso em: 12 jul. 2018.

SEABRA, V. S.; CRUZ, C. M. Mapeamento da Dinâmica da Cobertura e Uso da Terra na Bacia Hidrográfica do Rio São João, RJ. **Revista Sociedade & Natureza**, v. 25, n. 2, 2013. DOI: 10.1590/S1982-45132013000200015

SILVA, T. M. **A Estruturação Geomorfológica do Planalto Atlântico no Estado do Rio de Janeiro**. Tese (Doutorado em Geografia). Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2002. 265 p.