

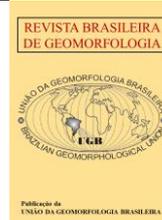


<https://rbgeomorfologia.org.br/>  
ISSN 2236-5664

## Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 26, nº 2 (2025)

<http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v26i2.2636>



*Artigo de Pesquisa*

# Cronologia de abandono de meandro por um grande rio: um estudo de caso baseado no Rio São Francisco, Brasil

*Chronology of meander abandonment by a large river: a case study based on the São Francisco River, Brazil*

Iara Christina de Campos <sup>1</sup>, Rodrigo Wagner Paixão <sup>2</sup>, Luciana Hiromi Yoshino Kamino <sup>3</sup>, Flávio Fonseca do Carmo <sup>4</sup>, André Augusto Rodrigues Salgado <sup>5</sup>

<sup>1</sup> Pristino Institute, Belo Horizonte/MG, Brazil. [iara@institutopristino.org.br](mailto:iara@institutopristino.org.br)

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-4064-0182>

<sup>2</sup> Rio de Janeiro State University, Department of Physical Geography, Rio de Janeiro/RJ, Brazil. [rodrigowpp1@gmail.com](mailto:rodrigowpp1@gmail.com)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2640-7138>

<sup>3</sup> Pristino Institute, Belo Horizonte/MG, Brazil. [luciana@institutopristino.org.br](mailto:luciana@institutopristino.org.br)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2624-0128>

<sup>4</sup> Pristino Institute, Belo Horizonte/MG, Brazil. [flavio@institutopristino.org.br](mailto:flavio@institutopristino.org.br)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5423-7957>

<sup>5</sup> Federal University of Goiás, Institute of Socioenvironmental Studies, Goiânia/GO, Brazil. [salgado@ufg.br](mailto:salgado@ufg.br)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7679-5944>

Received: 30/10/2024; Accepted: 19/05/2025; Published: 07/06/2025

**Resumo:** Rios meandrantés são caracterizados por uma morfodinâmica associada à baixa energia e alta taxa de sedimentação. Suas margens estão sujeitas a processos erosivos e deposicionais, que podem resultar na migração dos canais e no eventual abandono dos meandros. Apesar desta dinâmica ser conhecida, ainda não está claro o tempo necessário para a ocorrência dos eventos que naturalmente levam ao abandono de um meandro. Este trabalho objetivou melhor compreender a dinâmica temporal do abandono de um grande meandro, baseando-se no estudo de caso de Volta Grande, em Lagoa da Prata/MG, onde o Rio São Francisco passou por uma retificação artificial em 1981, com a escavação de um canal de 300 m de extensão. Para tanto, foram analisadas imagens dos satélites Landsat 5, Landsat 8 e ResourceSat, capturadas entre 1984 e 2015, utilizando-se composições de bandas em falsa cor. Constatou-se que, embora acelerado pela intervenção humana, o processo de abandono do meandro ocorreu de maneira lenta e gradual e consumiu mais de três décadas. O estudo destaca a complexidade e a lentidão inerentes ao processo de retificação natural em rios meandrantés, que envolve erosão, sedimentação e ajustamento ao novo canal fluvial.

**Palavras-chave:** Rios meandrantés; Canal fluvial; Rios tropicais; Morfodinâmica.

**Abstract:** Meandering rivers are characterized by morphodynamics associated with low energy and high sedimentation rates. Its margins are subject to erosion and depositional processes, which can result in the migration of channels and the eventual abandonment of meanders. Although this dynamic is known, it is still unclear how much time is necessary for the events that naturally lead to the abandonment of a meander to occur. This study aimed to better understand the temporal dynamics of the abandonment of a large meander, based on the case study of Volta Grande, in Lagoa da Prata/MG, where the São Francisco River underwent artificial straightening in 1981, with the excavation of a 300-meter channel. To this end, images from the Landsat 5, Landsat 8, and ResourceSat satellites, captured between 1984 and 2015, were analyzed using false-color band compositions. It was found that, although accelerated by human intervention, the process of meander abandonment occurred slowly and gradually, taking more than three decades. The study highlights the complexity and slowness inherent in the natural straightening process in meandering rivers, which involves erosion, sedimentation, and adjustment to the new river channel.

**Keywords:** Meandering rivers; River channel; Tropical rivers; Morphodynamic.

---

## 1. Introdução

Rios meandantes são comuns em áreas de baixa atividade tectônica e que possuem clima tropical úmido ou semiúmido. Notadamente, ocorrem em planícies e planaltos pouco dissecados, e geralmente apresentam em seu entorno extensa planície de inundação. Caracterizam-se ainda por possuírem seus canais sinuosos e por uma morfodinâmica e sedimentação típicas. São comuns no Brasil e sua denominação deriva das recorrentes curvas que apresentam: os *meandros*. A gênese dos meandros se deve a baixa energia dos canais que drenam planícies e regiões planas e a alta carga de sedimentos em suspensão – silte e argila – que carregam; e que por isso começam a apresentar alta sinuosidade como forma de vencer os obstáculos do relevo. Graças a baixa energia tendem também a transbordar na época de cheia e este fenômeno aliado à alta carga sedimentar em suspensão, faz com que se formem amplas planícies aluviais em seu entorno graças a deposição do silte e argila presentes nas águas que transbordaram. A morfodinâmica de um rio meandrante implica que, ao longo do tempo, os canais se tornem cada vez mais sinuosos até que, pelo extravasamento de suas águas em uma cheia ou mesmo pelo próprio “estrangulamento” de um meandro, o curso fluvial readquire um perfil mais retilíneo. Neste caso, o antigo meandro será abandonado, ou seja, será desconectado da rede fluvial e se tornará uma lagoa de cheia/lagoa marginal. Como tal, o meandro abandonado tenderá a ser reconectado ao curso fluvial apenas nas grandes cheias e se ele não for reincorporado ao canal fluvial graças a um novo aumento natural de sua sinuosidade, a tendência é que, com o passar dos anos e das cheias, ele seja completamente assoreado e incorporado a planície de inundação.

A morfodinâmica dos rios meandantes acima apresentada constitui consenso na literatura geomorfológica e é descrita de forma recorrente nos livros e manuais de geomorfologia como, por exemplo, Baker *et al.* (1988), Bridge (2003), Keith (2004), Knighton (1998), Leopold *et al.* (1995), Leopold (1997; 2006), Miall, (2007), Schumm (2003; 2005). Entretanto, uma questão pouco esclarecida é o tempo necessário para que estes processos ocorram, principalmente o necessário para que um canal fluvial de razoáveis dimensões, ou seja, que possua no mínimo algumas dezenas de metros de largura, abandone um de seus meandros. De fato, raras são as oportunidades de se acompanhar um rio abandonando um meandro em favor de um canal mais retilíneo, pois embora este processo tenha sido comum ao longo da escala de tempo geológica, foi raro na escala de tempo da vida humana. No Brasil a principal observação se deu em 1990 no Rio Taquari, curso fluvial esse localizado no Pantanal Mato-grossense e afluente do Rio Paraguai. Após uma cheia, o Rio Taquari alterou tanto o seu percurso meandrante que passou a desaguar no Rio Paraguai, cerca de 30 km a montante do que desaguava antes dela (ASSINE, 2005; 2015; ASSINE *et al.* 2005). Porém, como base em um único caso não é possível afirmar que todos os rios meandantes mudarão seu percurso tão rapidamente. Inclusive em razão de que estudos com rios meandantes na Amazônia e que envolvem “agressivos” processos de captura fluvial tem mostrado que um curso fluvial deste tipo pode necessitar de décadas ou séculos para abandonar seu antigo canal (STOKES *et al.*, 2018; SALGADO *et al.*, 2021).

Vale ressaltar que é de grande valia, em termos ambientais, melhor compreender o processo e a cronologia do abandono de um canal por um curso fluvial. Seja na captura fluvial, seja no meandramento, o tempo gasto por um rio para mudar seu canal de drenagem impacta diretamente a biodiversidade. Mudanças abruptas implicam em que não haja tempo para toda a fauna de água doce se adaptar (SAYER *et al.*, 2025). Já as graduais permitem não só essa adaptação, como também, no caso das capturas fluviais, possibilitam a ampla migração dos espécimes de água doce entre as diferentes bacias hidrográficas. Além disso, vivemos em um período em que a atividade antrópica é cada vez mais atuante, bem como onde o uso e ocupação do solo tende a se tornar mais intenso. Neste contexto, a velocidade com que um rio altera seu canal impacta diretamente a vida das pessoas que residem em suas margens, bem como as atividades econômicas que lá são desenvolvidas. Ademais, em áreas com alta

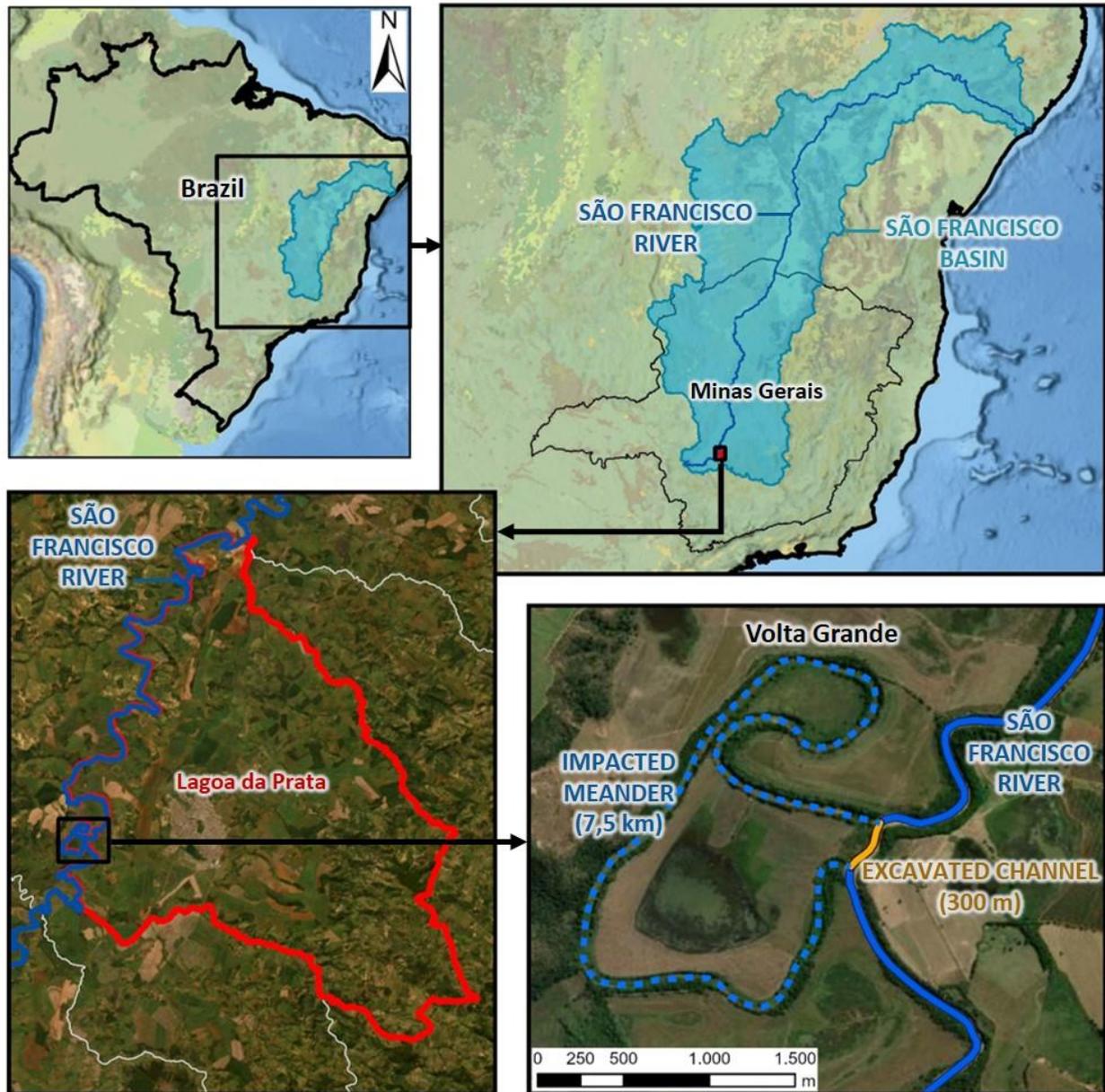
interferência antrópica torna-se importante reconhecer se o processo de abandono de um meandro ocorre da mesma forma e na mesma velocidade que ocorreria naturalmente e isto só é possível de ser verificado com base em estudos de caso.

Neste contexto situa-se o presente trabalho que investiga o processo de abandono de um extenso meandro pelo Rio São Francisco, na região de Volta Grande, no município de Lagoa da Prata/MG. De fato, esta constitui uma das poucas oportunidades para se observar a cronologia dos eventos que envolvem abandono de um meandro por um rio. É possível afirmar isto, pois nesta região, de modo irregular em 1981, um fazendeiro escavou um canal de 300 m com o objetivo de retilinizar o Rio São Francisco e diminuir a área de reserva legal que ele devia preservar. Até 1981 o Rio São Francisco, ao invés dos atuais 300 m, percorria um meandro de 7,5 km de extensão e o canal retilinizado permitiu, pouco a pouco, o abandono deste extenso meandro. Desta forma, sabendo o momento em que o canal foi aberto, torna-se possível verificar o tempo necessário para que cada processo morfodinâmico ocorra, e este é o objetivo do presente estudo. Paralelamente, este estudo de caso permite também melhor compreender a dinâmica fluvial dos rios meandantes diante da ação antrópica, pois possibilita verificar se o abandono de um meandro quando induzido pela atividade humana é diferente daquele que ocorre naturalmente.

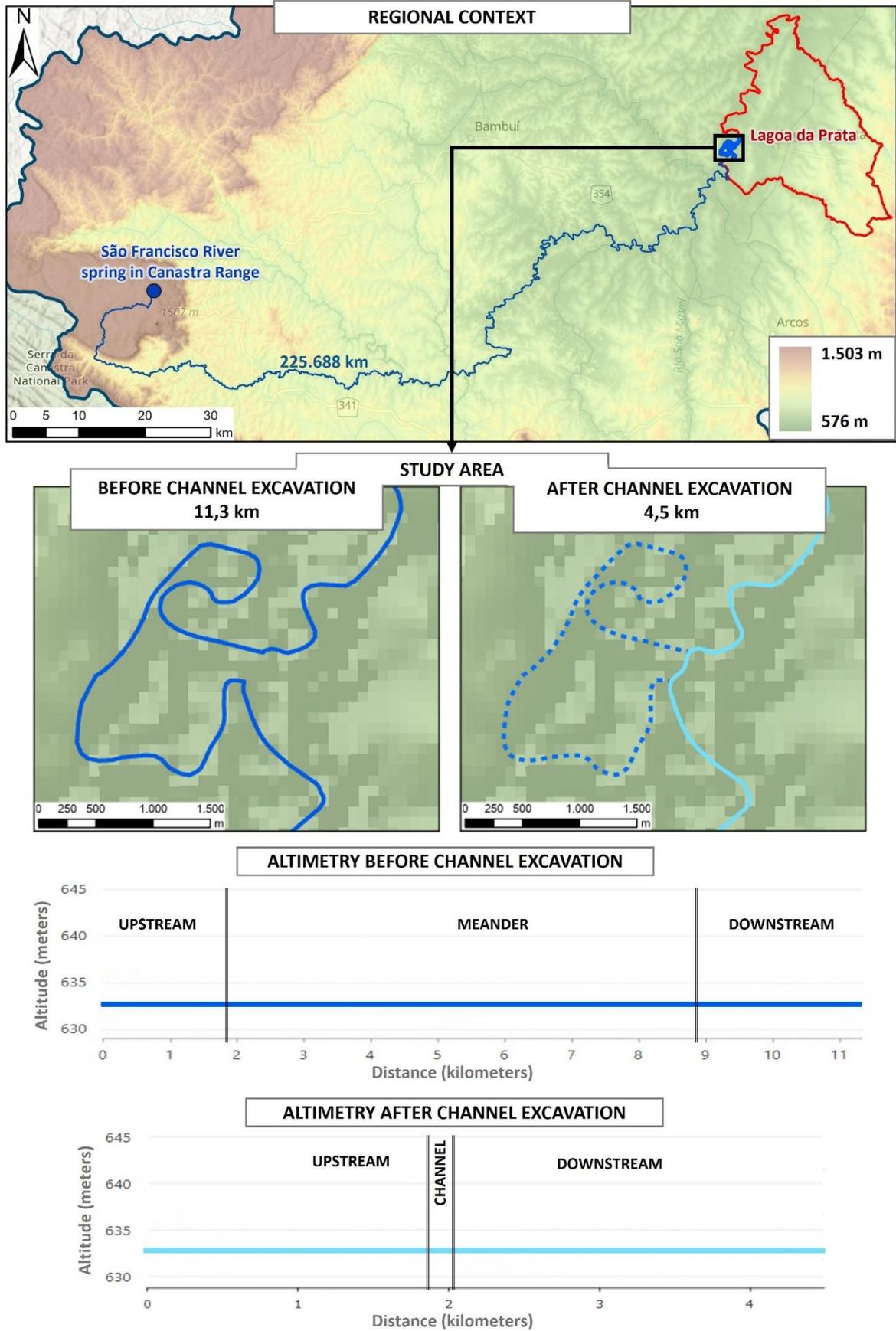
## 2. Área de Estudo

A área de estudo (Figura 1) localiza-se em Lagoa da Prata no centro-oeste do Estado de Minas Gerais. Neste município, em localidade conhecida como Volta Grande, o canal do Rio São Francisco atravessa sua extensa e espessa planície de inundação (Figura 2) depositada sobre rochas carbonáticas do Grupo Bambuí (CPRM, 2008). A Bacia do Rio São Francisco à montante de Volta Grande percorre 225 km (Figura 2) e drena uma área de aproximadamente 8.500 km<sup>2</sup>. A parte mais montante da bacia hidrográfica está sobre os quartzitos do Grupo Canastra, na serra homônima. Na Serra da Canastra o Rio São Francisco drena áreas de elevada altitude e possui perfil com muita energia graças ao relevo mais movimentado (Figura 2). Entretanto, essas são áreas com baixa atividade antrópica e chegam a incluir um parque nacional. Já ao adentrar na depressão carbonática, o rio perde energia e uso do solo se torna muito mais intenso. Porém, ao longo dos últimos 40 anos esse uso se modificou significativamente, dado o crescimento do agronegócio. Até os anos noventa do século passado predominava a pecuária extensiva. Esta, ao longo das últimas décadas, foi cedendo lugar a uma pecuária intensiva e a lavouras comerciais de alta produtividade, com destaque para a cana-de-açúcar, soja e milho. Esta rápida modificação no uso e ocupação do solo provavelmente alterou as taxas de erosão da bacia hidrográfica e, conseqüentemente, de transporte e deposição de sedimentos do Rio São Francisco. Entretanto, até onde sabemos não existem estudos e registros que dimensionem este fenômeno de forma precisa para a região de Volta Grande.

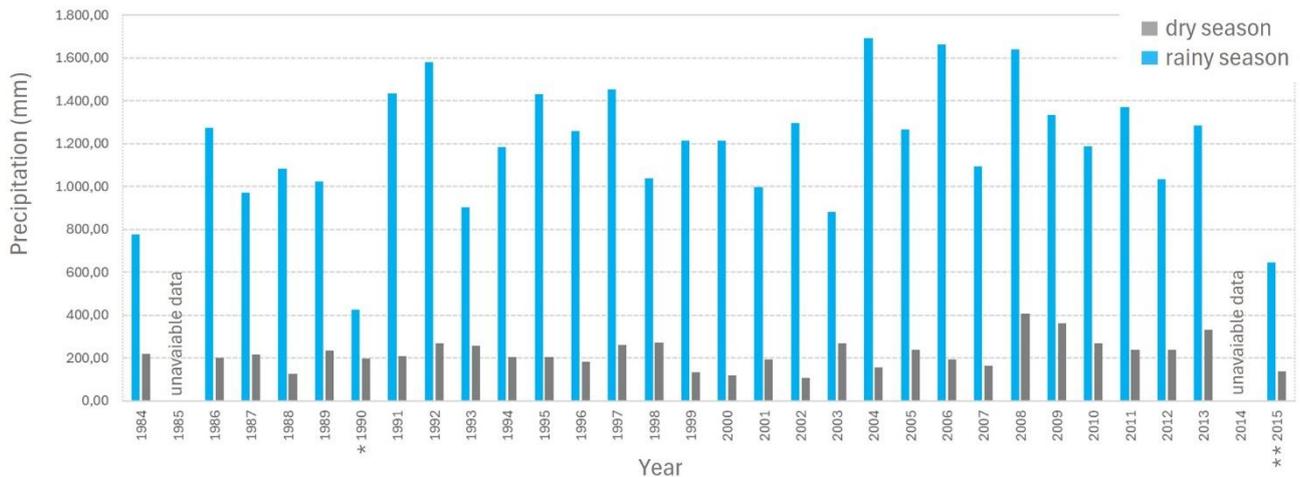
O clima regional é tropical semiúmido, com invernos secos e verões úmidos (Figura 3). A estação úmida dura seis meses e se estende de Outubro até Abril. Já a seca começa em Abril e vai até Outubro. Os índices pluviométricos da estação úmida são cerca de sete vezes maiores que as dos seis meses secos, mas podem alcançar taxas até mais de dez vezes superiores, como foi o caso dos anos de 2002 e 2004 (Figura 3). Esta variação pluviométrica faz com que sejam comuns as alterações na vazão do Rio São Francisco entre as estações secas e úmidas do ano. Esta alta sazonalidade pode ser comprovada pelo fato de que na região, ao longo do século XX, o Rio São Francisco registrou variações superiores a 3.000% entre sua vazão mínima e máxima históricas (CPRM, 2001). Obviamente, variações que alcançam este porte em áreas planas como é a de Volta Grande (Figura 2), tendem a causar com certa recorrência o extravasar das águas do Rio São Francisco para sua planície de inundação.



**Figura 1.** Localização do canal de 300 m (linha laranja) escavado no curso do Rio São Francisco (linha contínua azul) e do trecho de 7,5 km do meandro impactado (linha pontilhada azul) na região conhecida como Volta Grande, município de Lagoa da Prata, Minas Gerais. (Imagem ESRI World Imagery Wayback – WorldView-03 de 03 de junho de 2021).



**Figura 2.** Contexto regional do Rio São Francisco e altitude do canal na área de estudo. Imagem SRTM, fonte: Miranda (2005).



\*Unavaiaable data for december/1990.

\*\*Unavaiaable data for august, september, october, november and december/2015.

**Figura 3.** Índices pluviométricos totais das estações secas (Abril até Outubro) e úmidas (Outubro até Abril) para a região de Volta Grande em Lagoa da Prata/MG.

Em Volta Grande o Rio São Francisco drena uma área extremamente plana (Figura 2), ocupada em sua maior parte por sua ampla várzea. Esta planura acaba também por favorecer o processo de meandramento. Entre os meandros naturalmente formados, destaca-se um de grandes dimensões com cerca de 7,5 km de extensão, que dá o nome a região de Volta Grande. Atualmente ele está abandonado e só é reconectado ao rio em cheias extremas. O abandono do meandro teve início em 1981 quando o antigo proprietário da área construiu um canal irregular de 300 m retilinizando o Rio São Francisco e iniciando o processo de abandono do meandro de 7,5 km de extensão. Embora a construção tenha sido clandestina, sabe-se que o canal de 300 m foi escavado com auxílio de explosivos e escavadeiras e que não atingiu a profundidade do fundo do leito do Rio São Francisco.

### 3. Materiais e Métodos

Para acompanhar a evolução do canal do Rio São Francisco na área de estudo pós retilinização, foi consultada a base de dados do Geocatálogo do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e obtidas 62 imagens para a área de estudo, compreendidas entre os anos de 1984 e 2015. Foram utilizadas imagens com resolução espacial que varia entre 15 e 30 m dos satélites Landsat 5, Landsat 8 e ResourceSat-1. Nas bases de dados públicas consultadas não foram encontradas imagens com resolução espacial igual ou superior a 30 m para os anos de 1981, 1982, 1983 e 2014, inviabilizando a análise nestes períodos.

As imagens dos satélites Landsat 5 e ResourceSat-1 foram registradas no software ArcGIS tomando-se como referência espacial a drenagem do município de Lagoa da Prata. O Processo de registro não foi aplicado às imagens Landsat 8 que, diferentemente das demais, já são disponibilizadas ortorretificadas pela USGS/NASA (DUARTE *et al.*, 2014).

Para a criação das imagens a serem utilizadas no estudo, optou-se pela composição de bandas em falsa cor com o objetivo de evidenciar os corpos d'água na paisagem. Sabe-se que a assinatura espectral da água líquida apresenta máxima absorção de energia eletromagnética acima de 0,7  $\mu\text{m}$ , possibilitando interpretar nas imagens de satélites cores escuras como indicativos da presença de água (STEFFEN, *et al.* 1996). Dessa forma, foram escolhidas para cada satélite duas bandas que compreendem valores acima dessa faixa espectral para a composição da imagem a fim de realçar a visualização dos corpos d'água no cenário. Após realizado o registro e a composição

de bandas das imagens de satélites, procedeu-se com a identificação dos elementos físicos na paisagem através de interpretação visual, conforme seu comportamento espectral e padrões de rugosidade.

Buscou-se identificar alterações visíveis:

- no leito do rio São Francisco;
- no canal de retificação construído no meandro do rio;
- no meandro do rio;

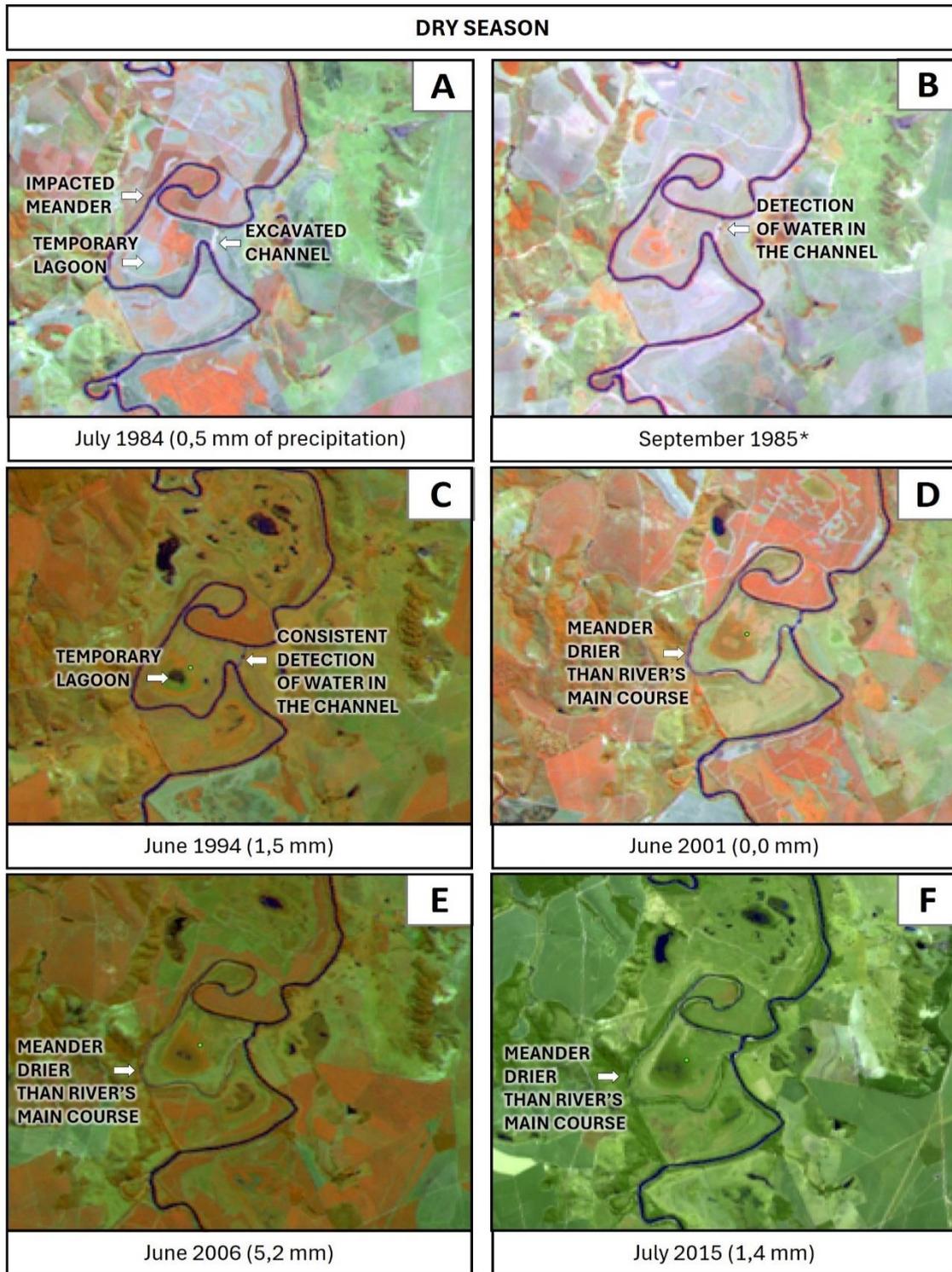
A fim de orientar a busca por imagens de satélite que melhor representassem a dinâmica de cheias e secas na planície de inundação do rio realizou-se a compilação de dados meteorológicos na região, através dos dados de estações automáticas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2015). Utilizaram-se dados das estações de Bambuí e Bom Despacho, localizadas a cerca de 40 km da área de estudo. Não foi identificada nenhuma barreira orográfica que pudesse influenciar diretamente na dinâmica de chuvas na região compreendida entre a área de estudo e as estações em questão, tornando aceitável a utilização dos dados medidos nas estações para inferir a dinâmica meteorológica na área de interesse.

Foram compilados os dados meteorológicos no intervalo compreendido entre o ano de 1981 (data da construção do canal de retificação do leito do rio) e 2015. Identificou-se, para cada ano, o mês mais seco e o mês mais chuvoso, direcionando a busca de imagens de satélites para estas datas. Desta forma, buscou-se criar um panorama de imagens representativas das estações seca e chuvosa de toda a planície de inundação do rio ao longo dos anos. Porém, cabe ressaltar que, devido à alta incidência de nuvens nas imagens do período chuvoso, nem sempre foi possível utilizar a imagem do mês mais úmido de cada ano. Por fim, foi realizado um trabalho de campo no período de estiagem de 2015, objetivando verificar e registrar a situação do Rio São Francisco após 34 anos do início do processo de abandono do meandro de Volta Grande.

#### 4. Resultados

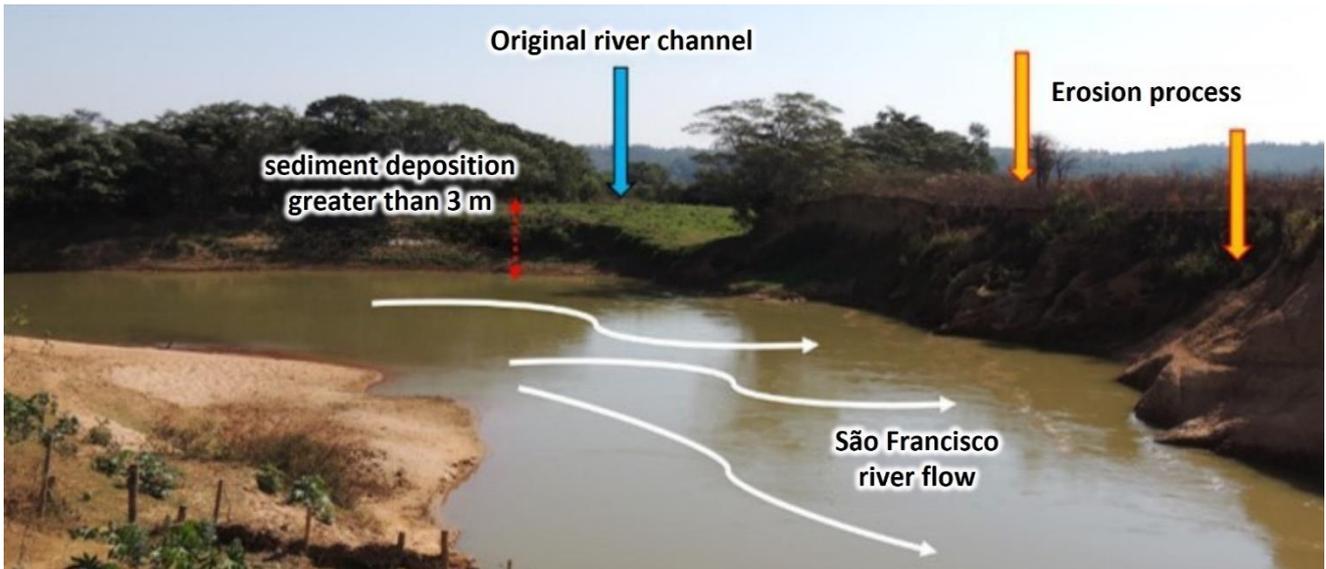
A obra foi realizada em 1981 e desde então, no período de chuvas, há água escoando simultaneamente pelo canal de 300 m que foi construído e pelo antigo meandro. Entretanto, as primeiras imagens obtidas do período seco são de 1984 e mostram que, mesmo três anos após a retificação do canal do rio, durante a estação de estiagem, o Rio São Francisco permanecia fluindo apenas pelo meandro de Volta Grande e deixava o leito retificado seco (Figura 4A). Tal situação só se modificou no final do período seco de 1985 quando é possível verificar indícios de água no canal construído (Figura 4B). Percebe-se desde então que o processo de abandono gradual do meandro prossegue, pois no período de estiagem de 1994, embora claramente a maior parte do fluxo do Rio São Francisco ainda passe pelo meandro de Volta Grande, há um bom fluxo de água correndo pelo canal construído (Figura 4C). Já no período de estiagem de 2001, tanto o meandro, quanto o canal construído continuam possuindo fluxo do Rio São Francisco, mas a situação se inverteu: a maior parte da água do rio atravessa o canal (Figura 4D). Já no período seco de 2006 o leito do meandro está quase todo seco e assoreado e o fluxo fluvial se concentra no canal construído (Figura 3E). Deste modo, em 2006, durante a seca o meandro já se comportava quase como abandonado, como uma lagoa de cheia. Tal tendência se agrava no período seco de 2015 (Figura 4F) mostrando que 34 anos depois do início da retificação, o meandro encontra-se abandonado no período seco, mas ainda com alguma água em seu interior, comportando-se como uma lagoa de cheia que só é conectada ao rio durante as grandes cheias. Este abandono do meandro no período seco pode ser verificado pela presença de pelo menos 3 m de sedimentos depositados na sua

antiga calha (Figura 5) e em seu completo assoreamento (Figura 6), fato que mostra que apenas nas grandes cheias o Rio São Francisco ainda alcança pelo seu antigo leito.



\*meteorological data unavailable for 1985.

**Figura 4.** Serie temporal (1984 – 2015) da estação seca identificando o processo de abandono e assoreamento dos 7,5 km do antigo leito natural do rio São Francisco. Notar que ao longo dos anos a cor (padrão de reflectância) do meandro vai se alterando, indicativo de menos água, ou seja, aumento do material sedimentado causando o assoreamento. Entre parenteses ao lado das informações do mês de cada imagem estão indicados os totais pluviométricos do referido mês.



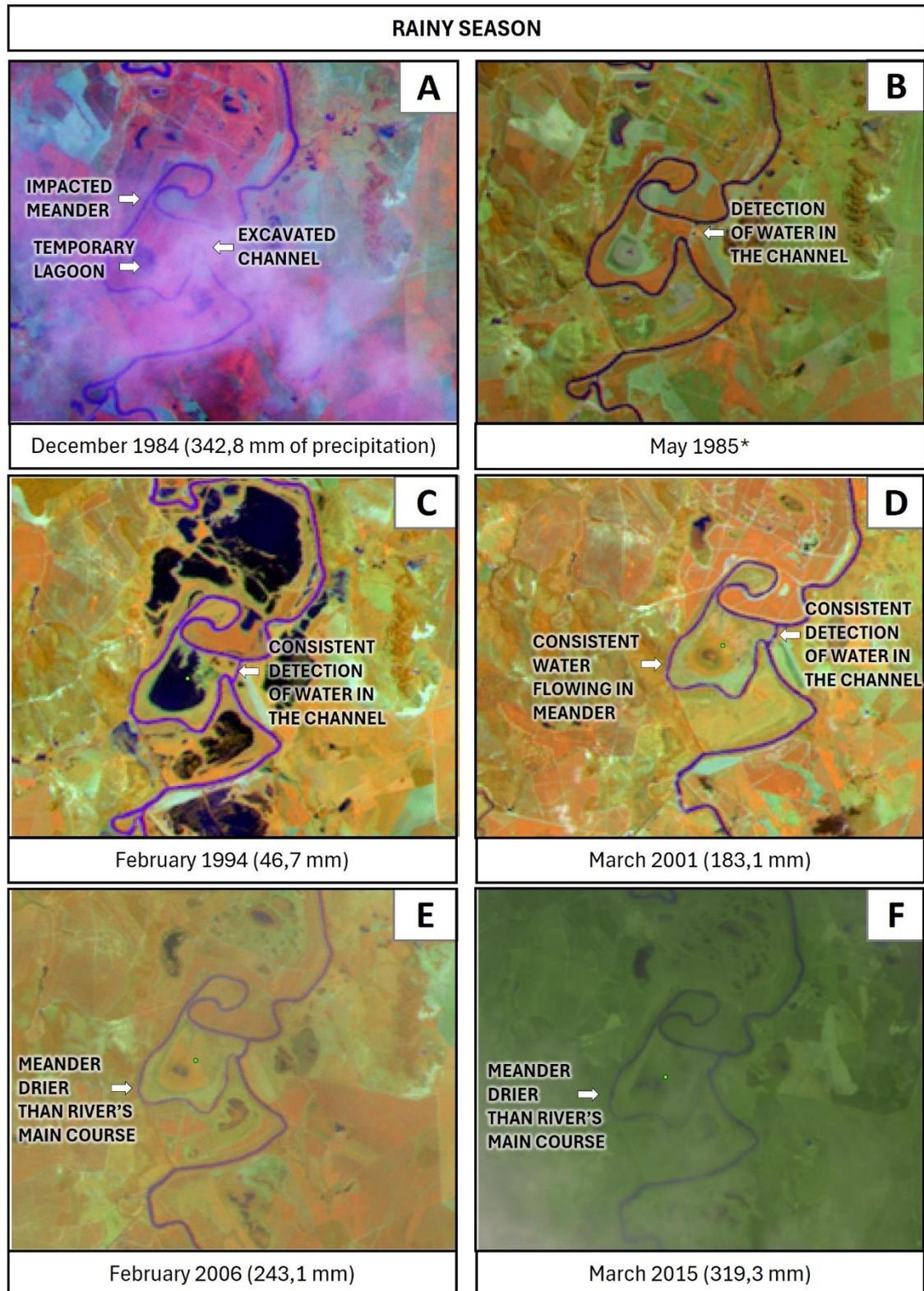
**Figura 5.** Foto do período seco de 2015 do local onde foi construído o canal escavado no Rio São Francisco junto com a entrada de seu antigo meandro. Nota-se o acúmulo de sedimentos e assoreamento da antiga calha meandrante, bem como processo erosivo nas atuais margens do canal retelinizado. Fonte: Os autores.



**Figura 6.** Foto do período seco de 2015 do assoreado antigo leito natural do rio São Francisco no meandro de Volta Grande. Foto: autores.

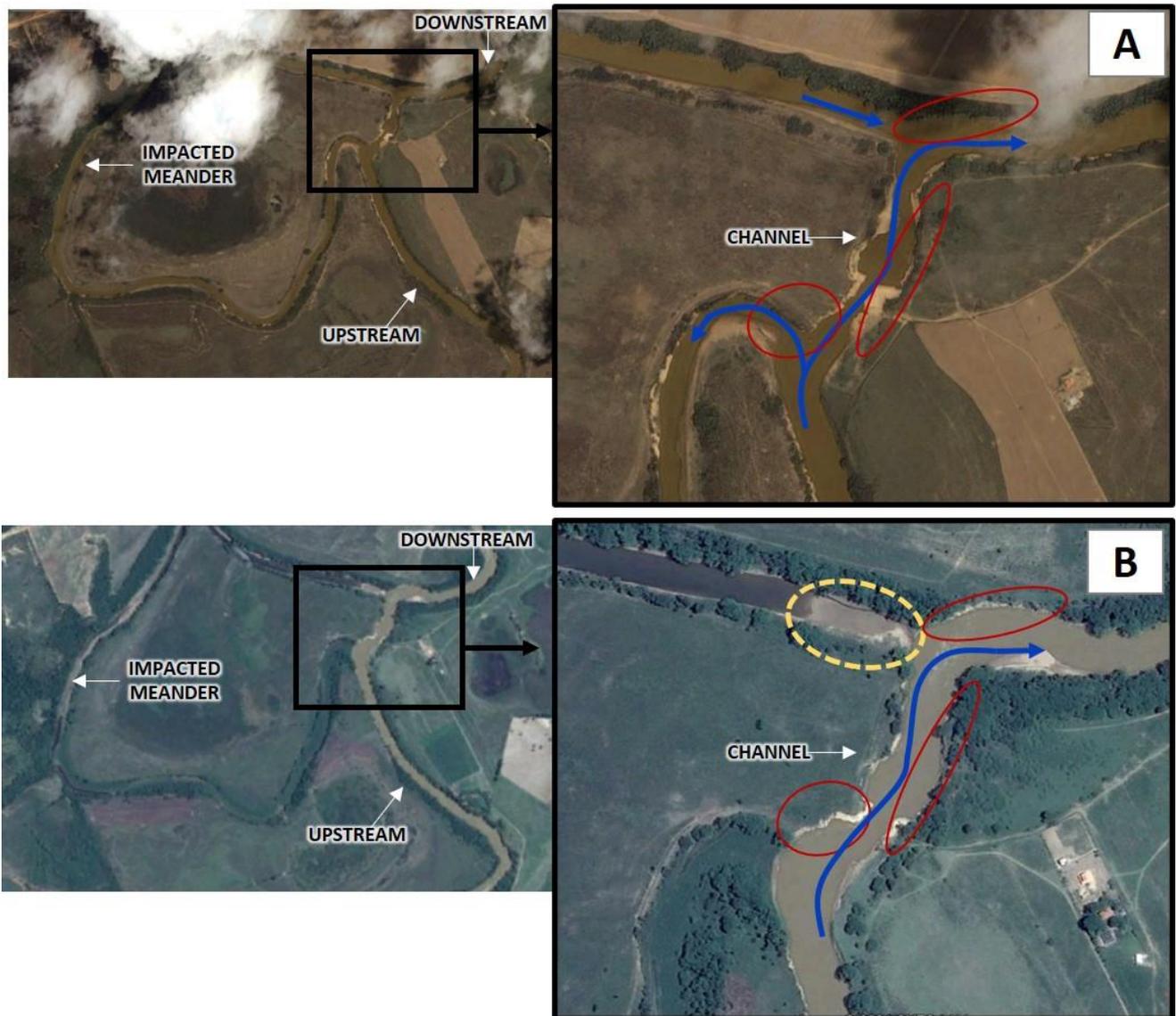
Em relação às imagens período chuvoso, pode-se observar comportamento parecido em relação ao período seco. Inicialmente, no ano de 1984, mesmo em um mês de dezembro que comportou quase 350 mm de chuvas, quase não é possível observar a presença de água no canal artificial e o meandro apresenta quantidade significativa de fluxo em seu leito fluvial (Figura 7A). Este fato que mostra que, apesar da construção de um canal artificial, pouco havia mudado no fluxo do Rio São Francisco na área de estudo. É apenas no verão de 1985, quatro anos após a construção do canal, que se torna possível verificar a existência de indícios de água no leito artificialmente retificado (Figura 7B). Já em fevereiro de 1994, apesar das poucas chuvas neste mês, pode-se identificar claramente água no canal retificado (Figura 7C). Entretanto, o fluxo hídrico continua fluindo em maior quantidade pelo meandro do rio. Na estação úmida do ano de 2001 tanto o canal, quanto o meandro, apresentam fluxo de água, mas é possível notar que a tendência de concentração de fluxo está se invertendo (Figura 7D). Na estação chuvosa do ano de 2006 observa-se o canal artificial com a presença de água e o meandro do rio quase seco e praticamente desconectado do fluxo hídrico (Figura 7E). O comportamento do fluxo hídrico do Rio São Francisco no período úmido de 2015 é praticamente o mesmo de 2006 (Figura 7F), ressaltando-se que no mês da imagem obtida deste ano – março - estava-se no fim do período úmido, com um mês a mais de chuvas do que em de 2006, ano em que a imagem é de fevereiro (figuras 7E e 7F). Sendo assim, pode-se afirmar que em 2015 o meandro já não possui fluxo fluvial e, portanto, se comporta como um meandro abandonado que só é conectado ao Rio São Francisco nas grandes cheias (figuras 4F, 5, 6 e 7F).

O canal escavado favoreceu localmente um ganho de velocidade e de energia do fluxo do rio, acelerando assim a erosão das margens e queda de vegetação associada. Ao longo dos anos houve um aprofundamento desse processo. Em 2001 a margem do rio localizada defronte a saída do canal ainda está estável (Figura 8A), fato que comprova que até este momento, ou seja, até 20 anos depois da construção do canal, o fluxo do rio que fluía por ele ainda era relativamente pequeno e não possuía grande poder erosivo. Porém, entre 2001 e 2014 pode-se observar o avanço da erosão nas margens côncavas (Figuras 8B e Figura 9), provocando supressão de mata ciliar e erosão das margens. Esse fenômeno deverá continuar ocorrendo de forma acelerada até que se reestabeleçam naturalmente as condições de equilíbrio fluvial e o início de um novo processo de meandramento.



\*meteorological data unavailable for 1985.

**Figura 7.** Serie temporal (1985 – 2015) da estação úmida identificando o processo de abandono e assoreamento dos 7,5 km do antigo leito natural do rio São Francisco. Notar que ao longo dos anos a cor (padrão de reflectância) do meandro vai se alterando, indicativo de menos água, ou seja, aumento do material sedimentado causando o assoreamento. Entre parenteses ao lado das informações do mês de cada imagem estão indicados os totais pluviométricos do referido mês.



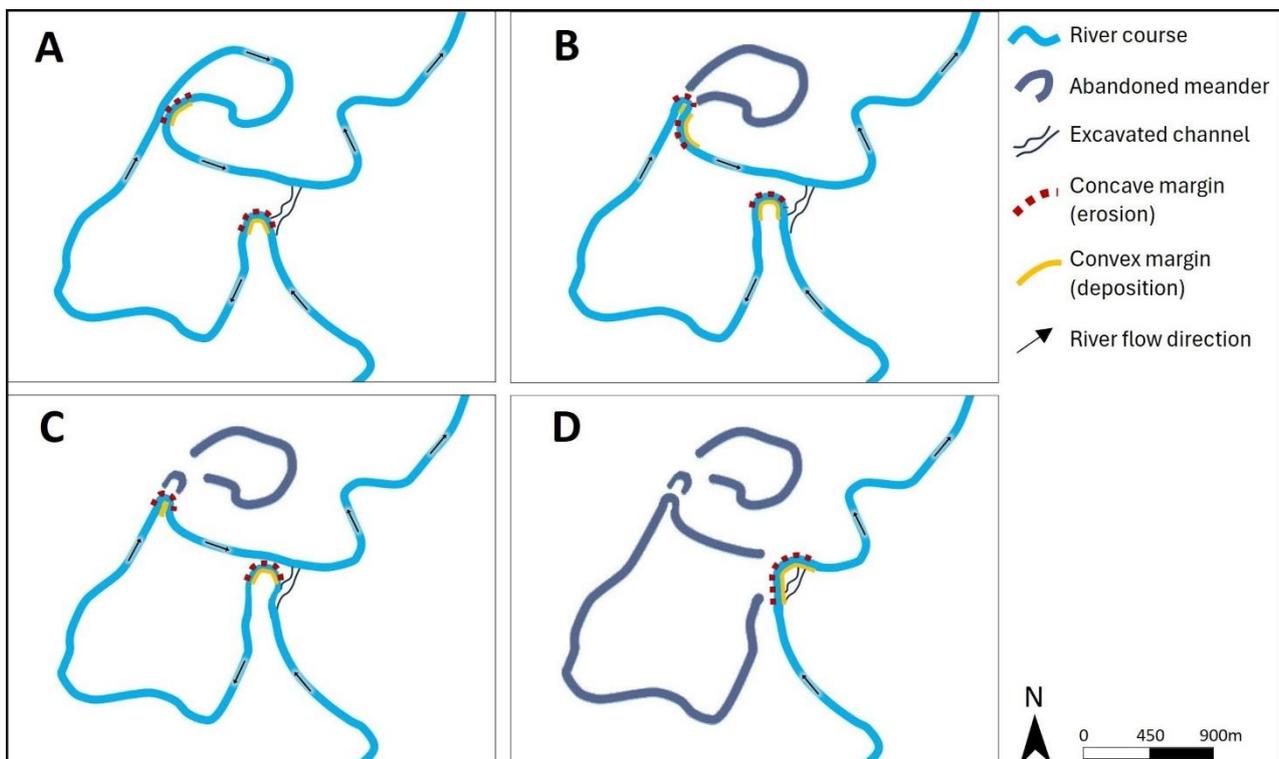
**Figura 8.** O canal escavado favoreceu um ganho de velocidade e de energia do fluxo do rio São Francisco, acentuando o processo erosivo nas margens côncavas, o conseqüente assoreamento e a supressão da mata ciliar. Os polígonos vermelhos destacam as margens erodidas pelo fluxo do rio. Destaca-se ainda o desaparecimento dos bancos de areia com o aumento do fluxo hídrico no canal escavado. Figura 8A: imagem de 2001; e Figura 8B: imagem de 2014. Adaptado de *Google Earth Pro*.



**Figura 9.** Margem côncava imediatamente a jusante do canal escavado no período seco de 2015. Figura 9A: Processo erosivo na margem que provocou natural supressão de Mata Ciliar. Figura 9B: Detalhe de processo erosivo nas margens e árvores impactadas. Fotos: autores.

## 5. Discussão

Considerando-se que o Rio São Francisco em Lagoa da Prata possui padrão meandrante e que Volta Grande em si mesma é um mega-meandro com sub-meandros ao longo dos seus 7,5 km de extensão (Figura 1), a tendência da dinâmica fluvial nessa região era a de naturalmente causar a retinização, o “estrangulamento” do Rio São Francisco e, por conseguinte, o abandono de toda a Volta Grande. A construção do canal muito provavelmente apenas adiantou e acelerou um processo que naturalmente ocorreria. E de fato, após o canal ter sido escavado, todo o processo de abandono do meandro de Volta Grande ocorreu em condições muito similares as que ocorreriam naturalmente. É possível ainda notar que o meandro de Volta Grande é como um meandro com sub-meandros em seu interior e que o localizado no extremo norte se encontra praticamente “estrangulado” (Figura 10). Logo, Volta Grande era um meandro que seria abandonado, tendo em seu interior sub-meandros que também estavam em processo de abandono. É bem provável que todo o processo de abandono de meandros não ocorresse de uma vez, mas sim em diferentes fases e tenderia a demandar um certo tempo até que tivesse sido completado. Em um primeiro momento o fluxo das águas acarretaria o aumento da sinuosidade do rio em suas curvas mais pronunciadas (Figura 10A). Tal aumento da sinuosidade levaria ao “estrangulamento” do meandro localizado no extremo norte de Volta Grande e ao seu abandono pelo curso principal do Rio São Francisco (Figura 10B). Na sequência, o próprio novo meandro formado por esse estrangulamento tenderia a se ajustar a nova curvatura e ser também ele abandonado (Figura 10C). Durante esse processo, todo o percurso de Volta Grande estaria lentamente sendo “estrangulado” graças ao aumento da sinuosidade da curva do Rio São Francisco em sua entrada. Por fim, ocorreria o completo abandono de todo o meandro de Volta Grande (Figura 10D).



**Figura 10.** Tendência natural de evolução natural do canal do Rio São Francisco na região de Volta Grande em Lagoa da Prata/MG. A localização do canal escavado está indicada por linhas pretas paralelas.

Deste modo, excluindo-se os processos que não ocorreram com os sub-meandros no interior do grande meandro de Volta Grande, pode-se afirmar que os fatos observados entre 1981 e 2015 correspondem a algo similar ao que ocorre naturalmente quando um grande rio abandona um grande meandro. Principalmente no que se refere a ocorrência de altas taxas de sedimentação nos canais abandonados e a sua longa permanência na paisagem após a retificação do rio (HOOK, 1995). Neste sentido, é importante ressaltar que a taxa de sedimentação no interior do meandro depende muito da carga sedimentar do rio e da conectividade mantida entre o canal e o meandro abandonado (CITTERIO e PIEGAY, 2009; GREENBERG e GANTI, 2024). Porém, não existem dados confiáveis que permitam estabelecer qual foi a carga de sedimentos transportado pelo Rio São Francisco em Volta Grande durante o período estudado. Entretanto, pode-se afirmar que em Volta Grande esta conectividade foi relativamente contínua durante ao menos 20 anos, de 1981 até 2001 (figuras 4 e 7). Porém, no período úmido, ela se estendeu por mais alguns anos, pois no verão de 2015 o meandro ainda recebeu um pouco de água do Rio São Francisco (Figura 7F). Em paralelo, o Rio São Francisco em Volta Grande desenvolveu outras geoformas que seriam esperadas (DIERAS *et al.*, 2013; HOOK, 2023) como, por exemplo, barras arenosas no final do canal aberto (figuras 8 e 9A) e erosão das margens que receberam diretamente o fluxo hídrico do novo canal (figuras 8 e 9B). E esta erosão da margem e deposição de sedimentos na forma de barras na saída do canal, na mesma medida que são sinais de abandono do antigo meandro de Volta Grande, indicam a ocorrência de um novo processo de meandramento (figuras 8 e 10). Esta é uma dinâmica típica deste tipo de canal, pois os rios meandantes, na ausência de significativas mudanças ambientais, tendem a manter sua sinuosidade abandonando meandros em alguns trechos e criando-os em outros (HOOK, 2023). E este novo meandro que está sendo criado tende a evoluir rapidamente, visto que neste local a mata ciliar foi quase que completamente removida (figuras 8 e 9) e isto facilita o desenvolvimento da sinuosidade (HOOK, 2023; GREENBERG e GANTI, 2024).

Quanto à relação entre a pluviosidade anual e mudanças no processo de abandono do meandro, essas não parecem ter relação direta. Por exemplo: 1994 foi um ano de poucas chuvas (Figura 3), porém marca o início do período em que tanto na estação seca, quanto na úmida, começa a correr água consistentemente pelo canal escavado (figuras 4C e 7C). Talvez, chuvas mais intensas nos anos anteriores (Figura 3) tenham mesmo dificultado o abandono do meandro, pois o aumento do fluxo fez com que mais água naturalmente tenha fluído por ele. Além disso, em anos mais úmidos o fluxo do Rio São Francisco tendeu a ser mais intenso e isso também dificulta a deposição dos sedimentos, pois o silte e a argila precisam de baixa energia para serem depositados. Logo, no caso de Volta Grande, o abandono do meandro parece estar relacionado a um processo lento, onde pouco a pouco, o Rio São Francisco foi escavando seu novo canal retificado na mesma medida que abandonava e assoreava o meandro que constituía seu antigo leito.

Sendo assim, o que se observou no caso de Volta Grande é que o abandono de um meandro nestas condições é um processo lento, que tende a consumir décadas até que se conclua. De fato, mesmo em uma grande cheia, um rio ao “estrangular” um de seus meandros e criar um novo canal mais retilíneo, dificilmente conseguirá escavar este novo canal na mesma profundidade do antigo que ainda meandra. Deste modo, a tendência é que o fluxo da água, pouco a pouco, vá aprofundando o novo canal retificado. Só quando este novo canal possuir uma determinada profundidade é que este fluxo de água começará a perder força no canal do meandro e isto permitirá que, e ao mesmo tempo, sedimentos comecem a ser depositados em maior quantidade assoreando-o (figuras 5 e 6). Isto confirma que, conforme já apontado por vários autores, o tempo necessário para que o processo seja completado depende de muitos fatores (HOOK, 1995; 2023; GREENBERG e GANTI, 2024). Destacam-se as variações na vazão e energia do canal, a carga sedimentar que ele transporta, o substrato geológico e a integridade das margens. No nosso estudo de caso, por falta de dados bases para o período de ocorrência do fenômeno, foi impossível determinar a contribuição da vazão e da carga sedimentar para a evolução do processo. Entretanto,

considerando-se que a área de estudo é muito plana (Figura 2), que as margens do curso fluvial estão pouco vegetadas (figuras 5, 8 e 9) e que o substrato são os próprios sedimentos do Rio São Francisco (CPRM, 2008) – cascalho, areia, silte e argila – depositados sobre carbonatos, imagina-se que o processo tenda a ser mais longo ainda em áreas igualmente planas, mas sobre rochas mais resistentes e com margens mais bem preservadas.

Neste contexto, deve ser salientado que o processo de abandono do meandro de Volta Grande foi lento em seu início, entre 1981 e 2001, e mais acelerado no seu final entre 2001 e 2015 (figuras 4 e 7). Foram necessários 20 anos para que o canal retificado começasse a escoar mais água do que o natural e apenas 14 anos para que depois disso houvesse o abandono do meandro de Volta Grande. Considerando isso, em um processo completamente natural é possível esperar que se decorram várias décadas até que um canal criado pelo “estrangulamento” natural de um meandro alcance a profundidade do leito do canal construído em 1981. Isto pode ser afirmado, pois mesmo tendo por ponto de partida um canal artificialmente escavado, foi só depois de 20 anos que o Rio São Francisco o transformou em seu leito principal (figuras 4 e 7) e começou a ter força para erodir sua nova margem côncava (figuras 8 e 9). Sendo assim, o processo de abandono do meandro de Volta Grande no Rio São Francisco evoluiu temporalmente em similaridade a uma progressão geométrica, onde a cada ano que passa, mais rapidamente o curso fluvial se adaptou ao novo canal. Esta observação, embora simples, mostra a complexidade que envolve a morfodinâmica dos rios meandantes, pois Hook (1995) observou processo diferente na Inglaterra: rápidas mudanças no canal entre 2 e 3 anos após a retificação e posterior perda de velocidade nos ajustes morfológicos. Ou seja, em termos de evolução da velocidade de ocorrência dos processos geomorfológicos, o Rio São Francisco em Volta Grande apresentou comportamento contrário ao dos canais fluviais investigados por Hook (1995). As geofomas criadas foram semelhantes, os mesmos processos ocorreram, mas na Inglaterra as principais mudanças aconteceram logo após a retificação e, no Brasil, foram necessários ao menos 20 anos para que alterações significativas ocorressem (figuras 4 e 7). Este fato pode estar relacionado às diferenças de clima, substrato e dimensão entre os canais investigados, mas por si só mostra a importância de mais estudos sobre o tema.

Em paralelo, estudos deste tipo não são importantes apenas para uma melhor compreensão dos processos e da velocidade de meandramento dos rios. São também de suma importância para estudos biogeográficos de fauna de água doce e para aqueles que investigam os processos de rearranjo de drenagem, pois mostram que ao contrário do que se pensava anteriormente e de acordo com o que têm sido observado na Amazônia (SALGADO *et al.*, 2021; STOKES *et al.*, 2018), médios e grandes rios demandam muitos anos para abandonar completamente um antigo leito. Logo, nos processos de captura fluvial é de se esperar que haja tempo para que a fauna aquática de uma bacia hidrográfica invada a outra. E isto comprova que os processos de rearranjo de drenagem podem possibilitar uma intensa migração de peixes entre bacias hidrográficas vizinhas, como as que ocorreram entre as grandes bacias hidrográficas da América do Sul (ALBERT e REIS, 2011).

## 6. Conclusões

O abandono do meandro de Volta Grande no Rio São Francisco, embora tenha sido iniciado e acelerado por uma obra, apresentou morfodinâmica típica e se desenvolveu quase que exatamente como se desenvolveria em um processo natural. Em paralelo, os resultados obtidos mostram que o processo de abandono do meandro estudado, mesmo que acelerado pela obra, não foi rápido, pois demandou mais de trinta anos para ser concluído. Na época das chuvas, durante mais de três décadas houve água correndo pelos dois canais. Na época da seca foram necessários vinte anos para que houvesse mais água correndo pelo canal retificado do que pelo meandro. Além disso, foi possível concluir que, para este caso específico, o processo de abandono do meandro foi inicialmente lento, mas tendeu a se acelerar com o tempo.

No que se refere aos impactos que os resultados deste estudo podem ter sobre a dinâmica da biodiversidade de água doce, conclui-se que, provavelmente, nos processos de abandono de canais por rios que não são de cabeceira e que drenam planícies ou planaltos pouco dissecados, há tempo suficiente para que a fauna se adapte as mudanças na drenagem. Isto inclui a questão da migração dos espécimes aquáticas entre diferentes bacias hidrográficas, pois com base neste estudo é possível afirmar que quando a cabeceira de um rio intercepta o canal de um curso fluvial pertencente a outra bacia hidrográfica, tenderá a decorrer vários anos até que a calha do canal do rio pirata tenha profundidade suficiente para roubar completamente o fluxo do rio pirateado. Logo, durante este período, será possível a ampla migração de espécimes aquáticas entre as duas bacias hidrográficas. Neste sentido, todas estas conclusões reforçam as observações de Stokes *et al.* (2018) e Salgado *et al.* (2021) que indicam que rios volumosos que drenam planícies pouco dissecadas geralmente necessitam de décadas para abandonar antigos leitos. E este estudo demonstra que isso ocorre mesmo quando estes leitos abandonados são meandros do próprio rio.

**Contribuições dos Autores:** "Concepção, André Salgado, Luciana Kamino e Flávio do Carmo; metodologia: André Salgado e Iara Campos; software: Iara Campos.; validação: André Salgado; análise formal: Iara Campos e André Salgado; pesquisa, Iara Campos e André Salgado; recursos, Luciana Kamino e Flávio do Carmo; preparação de dados: Iara Campos; escrita do artigo: André Salgado, Rodrigo Paixão e Iara Campos; revisão: André Salgado, Rodrigo Paixão e Luciana Kamino; supervisão: Luciana Kamino; aquisição de financiamento: Luciana Kamino, Flávio do Carmo e André Salgado. Todos os autores leram e concordaram com a versão publicada do manuscrito".

**Financiamento:** Esta pesquisa foi financiada pelo Instituto Prístino e pelo CNPq (Bolsa de Produtividade em Pesquisa projeto 303047/2021-6).

**Agradecimentos:** Agradecemos ao CNPq pelo apoio financeiro (Bolsa).

**Conflito de Interesse:** Os autores declaram não haver conflito de interesse.

## Referências

1. ALBERT, J.S.; REIS, R.E. **Historical Biogeography of Fresh Waters**. Berkeley: University of California Press, 2011. 388p. DOI: [10.1093/sysbio/syr113](https://doi.org/10.1093/sysbio/syr113).
2. ASSINE M.L. River avulsions on the Taquari megafan, Pantanal wetland, Brazil. **Geomorphology**, 70 (3-4), p. 357-371, 2005. DOI: [10.1016/j.geomorph.2005.02.013](https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2005.02.013)
3. ASSINE M.L.; PADOVANI C.R.; ZACHARIAS A.A.; ANGULO R.J.; SOUZA M.C. Compartimentação geomorfológica, processos de avulsão fluvial e mudanças de curso do Rio Taquari, Pantanal Mato-Grossense. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, 6 (1), p. 97-108, 2005. DOI: [10.20502/rbg.v6i1.43](https://doi.org/10.20502/rbg.v6i1.43)
4. ASSINE, M.L. Brazil Pantanal: A large pristine tropical wetland. In: VIEIRA, B.C.; SALGADO, A.A.R.; SANTOS, L.J.C. (Ed) **Landscapes and Landforms of Brazil**. Springer, 2015. p. 135-146.
5. BAKER, V.R.; KOCHER K.C.; PCHAN P.C. **Flood Geomorphology**. John Wiley & Sons, 1988.
6. BRIDGE, J. S. **Rivers and Floodplains: Forms, Processes and Sedimentary Record**. Oxford Blackwell Publishing Limited, 2003.
7. CITTERIO, A.; PIEGAY, H. Overbank sedimentation rates in former channel lakes: characterization and control factors. **Sedimentology**, 56, p.461-482, 2009. DOI: [10.1111/j.1365-3091.2008.00979.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.2008.00979.x)
8. CPRM. Caracterização física e análise dos dados básicos da Bacia do Rio São Francisco. CPRM, 2001, 137pp.
9. CPRM. **Mapa Geológico Folha Piumhi SF.23-V-D-II**. CPRM, 2008. Escala 1: 100.000.
10. DIERAS, P.L.; CONSTANTINE, J.A.; HALES, T.C.; PIÉGAY, H.; RIQUIER, J. The role of oxbow lakes in the off-channel storage of bed material along the Ain River, France. **Geomorphology**, 188, p.110-119, 2013. DOI: [10.1016/j.geomorph.2012.12.024](https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.12.024)

11. DUARTE, G.S; et al. 2014. Avaliação da exatidão planimétrica da imagem Landsat 8 e do potencial de integração com imagem Landsat 5 visando estudos temporais. IN: **Anais do 26º Congresso Brasileiro de Cartografia**. Gramado, RS. 2014.
12. GREENBERG, E.; GANTI, V. The pace of global river meandering influenced by fluvial sediment supply. **Earth Planetary Science Letters**, 634, 118674, 2024. DOI: 10.1016/j.epsl.2024.118674
13. HOOK, J.M. River channel adjustment to meander cutoffs on the River Bollin and River Dane, northwest England. **Geomorphology**, 14, p.235-253, 1995.
14. HOOK, J.M. Morphodynamics of active meandering rivers reviewed in a hierarchy of spatial and temporal scales. **Geomorphology**, 439, 108825, 2023. DOI: 10.1016/j.geomorph.2023.108825
15. LEOPOLD, L.B. **Water, Rivers and Creeks. Sausalito**. University Science Books, 1997.
16. LEOPOLD, L.B. **A View of the River**. Harvard University Press, 2006.
17. LEOPOLD, L.B.; WOLMAN, G.; MILLER, J. **Fluvial Processes in Geomorphology**. London: Dover Publications, 1995.
18. KEITH, R. **Rivers: Form and Process of Alluvial Channels**. Blackburn: The Blackburn Press, 2003.
19. KNIGHTON, D. **Fluvial Forms and Processes**. Hodder Arnold Publications, 1998.
20. MIALL, A. D. **The Geology of Fluvial Deposits: Sedimentary Facies, Basin Analysis, and Petroleum Geology**. 3º Ed. Springer Verlag, 2007.
21. MIRANDA, E. E. de; (Coord.). **Brasil em Relevô**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 17 de Dezembro de 2024.
22. SALGADO, A.A.R.; MARENT, B.R.; PAIXÃO, R.W. Large rivers, slow drainage rearrangements: The ongoing fluvial piracy of a major river by its tributary in the Branco River Basin - Northern Amazon. **Journal of South American Earth Sciences**, 112, 103598, 2021. DOI: 10.1016/j.jsames.2021.103598
23. SCHUMM, S. A. **The Fluvial System**. Blackburn: The Blackburn Press, 2003.
24. SCHUMM, S. A. **River Variability and Complexity**. Cambridge: Cambridge University Press, 2005.
25. STEFFEN, C. A.; MORAES, E. C.; GAMA, F. F. Tutorial radiometria óptica spectral. In: **Anais do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 8. Salvador: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).1996.
26. SAYER, C.A. ; FERNANDO, E. ; JIMENEZ, R.R. *et al.* One-quarter of freshwater fauna threatened with extinction. **Nature**, 2025. DOI: 10.1038/s41586-024-08375-z
27. STOKES, M.F.; GOLDBERG, S.L.; TAYLOR, P.J. Ongoing river capture in the Amazon. **Geophysical Research Letters** 45 (11), p. 5545–5552, 2018. DOI: 10.1029/2018GL078129.



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) – CC BY License. This license allows others to distribute, remix, adapt, and create from your work, even for commercial purposes, as long as they give you proper credit for the original creation.