

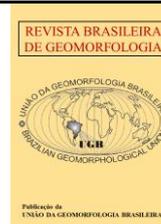


<https://rbgeomorfologia.org.br/>
ISSN 2236-5664

Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 25, n° 1 (2024)

<http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v25i1.2427>



Tendências temporais nas barras arenosas e massas de água na borda direita da maior ilha fluvial do mundo - rio Javaés

Temporal trends in sand bars and water bodies on the right side of the world's largest fluvial island - Javaés River

Daniel Araújo Ramos dos Santos ¹, Édipo Henrique Cremon ² e Luis Felipe Soares Cherem ³

¹ Universidade Federal de Goiás (UFG), Instituto de Estudos Socioambientais (IESA), Goiânia, Brasil.

daniel.a.sants@hotmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5934-5239>

² Instituto Federal de Goiás (IFG), Goiânia, Brazil. edipo.cremon@ifg.edu.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3174-7273>

³ Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, Belo Horizonte, Brasil. lfcherem@ufmg.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4119-6690>

Recebido: 14/06/2023; Aceito: 08/12/2023; Publicado: 30/01/2024

Resumo: A Ilha do Bananal é a maior ilha fluvial do mundo, localizada na bacia do rio Araguaia, Centro-Oeste do Brasil. Estudos no rio Araguaia mostram que mudanças no canal principal estão ligadas ao aumento do aporte sedimentar devido à expansão agrícola no Cerrado. Porém, pouco se sabe sobre o rio Javaés, na margem oposta da Ilha do Bananal. Este estudo analisou as tendências temporais das barras arenosas e massas de água no rio Javaés de 1985 a 2021. Foram gerados mosaicos anuais de imagens Landsat para identificar as classes de massas de água e barras arenosas. Os testes de Mann Kendall e *Sen's Slope* foram utilizados para identificar tendências e significância estatística das mudanças ao longo do tempo. Os resultados indicam aumento de 57% (6,5 km²) nas áreas de barras arenosas e redução de 39% (15,2 km²) nas massas de água. Os testes revelaram tendências significativas com aumento das barras e diminuição das massas de água. Foi observado que mudanças na distribuição e nas taxas de precipitação regional, juntamente com a expansão da ocupação antrópica, estão contribuindo para um aumento no aporte sedimentar, em um efeito cascata, afetando o equilíbrio entre erosão e deposição no rio Javaés.

Palavras-chave: Dinâmica fluvial; Conectividade do sistema fluvial; Equilíbrio morfossedimentar; Aporte sedimentar; Cerrado.

Abstract: Bananal Island is the largest river island in the world, located in the Araguaia River basin in central-western Brazil. Studies on the Araguaia River have shown that changes in the main channel are linked to the increase in sediment input due to agricultural expansion in the Cerrado. However, very little is known about the Javaés River, on the opposite margin of Bananal Island. This study analyzed the temporal trends of sand bars and water masses in the Javaés River from 1985 to 2021. Annual mosaics of Landsat images were generated to identify the classes of water masses and sand bars. The Mann Kendall and Sen's Slope tests were used to identify trends and statistical significance of changes over time. The results indicated an increase of 57% (6.5 km²) in the areas of sand bars and a reduction of 39% (15.2 km²) in water bodies. The tests revealed significant trends with an increase in bars and a decrease in water bodies. It was observed that changes in the distribution and rates of regional precipitation, along with the expansion of anthropogenic occupation, are contributing to an increase in sediment input, in a cascade effect, affecting the balance between erosion and deposition in the Javaés River.

Keywords: River dynamics; River system connectivity; Morphosedimentary balance; Sediment input; Cerrado.

1. Introdução

Os rios são influenciados por diversos fatores externos, que individualmente ou em conjunto, podem causar desequilíbrios gradativos ou pulsativos em seus sistemas, afetando principalmente sua morfologia (BRIERLEY; FRYIRS, 2005; STEVAUX; LATRUBESSE, 2017; BARROS; MAGALHÃES JÚNIOR; COTA, 2020). Nas regiões tropicais, a redução da quantidade de chuvas tem afetado a descarga fluvial, aumentando os níveis de deposição em zonas aluviais (GOMES et al., 2022), enquanto eventos pluviométricos extremos podem intensificar a erosão do solo nas zonas de cabeceiras (CHEN; TFWALA; TSAI, 2020; DE HIPT et al., 2018; DIODATO et al., 2020).

As ações antropogênicas também influenciam os processos morfodinâmicos dos rios, especialmente as obras de engenharia, que alteram o fluxo e reduzem a conectividade hidrogeomorfológica longitudinal (GRILL et al., 2019; MACHADO; DOS SANTOS, 2020; ROY, 2022; VERCRUYSE; GRABOWSKI, 2021). A supressão da vegetação ripária também afeta a estabilidade das formas dos rios, sinuosidade e largura (BEST, 2019; IELPI et al., 2022), e a substituição da vegetação nativa por áreas agrícolas aumenta as taxas de escoamento superficial e erosão, reduzindo a evapotranspiração (ANACHE et al., 2019; COE et al., 2011, 2017; MARENCO et al., 2022).

Diversas técnicas têm sido utilizadas para mapear e quantificar as mudanças na morfologia fluvial, em diferentes escalas espaciais e temporais, tais como procedimentos baseados em evidências biológicas, históricas e planimétricas (GURNELL; DOWNWARD; JONES, 1994; LAWLER, 1993). Entre essas técnicas, podemos destacar a interpretação de fotografias aéreas e mapas históricos (GILVEAR; WINTERBOTTOM, 1992; HOOKE, 1979, 1980; LATRUBESSE et al., 2009), e levantamentos planimétricos em campo com descrições morfoestratigráficas e monitoramentos com pinos de referência (CASTRO; CAMPOS; ZANCOPE, 2019; SILVA; SOUZA FILHO; NEVES, 2011).

Ao longo do tempo, as técnicas de mapeamentos bidimensionais dos rios evoluíram com o aperfeiçoamento do Sensoriamento Remoto e o desenvolvimento de protocolos de mapeamento, como aplicativos e caixas de ferramentas para SIGs (Sistemas de Informação Geográfica) (ISIKDOGAN; BOVIK; PASSALACQUA, 2017; MONEGAGLIA et al., 2018), disseminando rotinas de trabalho que buscam padronizar métricas para comparação (NYBERG et al., 2015; SUIZU; LATRUBESSE; BAYER, 2023). A maior acessibilidade a grandes acervos históricos de registros orbitais, por meio de plataformas como o Google Earth e Google Earth Engine, tem possibilitado uma ampliação significativa do alcance desses mapeamentos, e juntamente com aproximações em campo, tem possibilitado um panorama multiescalar sobre os processos de canais (BOOTHROYD et al., 2021; LANGHORST; PAVELSKY, 2023; VERCRUYSE; GRABOWSKI, 2021). A compreensão da variação espacial e temporal na morfologia bidimensional em rios tem atraído mais pesquisas geomorfológicas, pois fornece informações sobre o comportamento fluvial e indica respostas do rio às mudanças endógenas e exógenas (AGNIHOTRI; OHRI; MISHRA, 2020; SCHUMM, 1985; WANG et al., 2016).

As mudanças na morfologia bidimensional em rios de sistemas multicanaís, que caracterizam tipicamente os maiores rios do mundo, são convencionalmente consideradas imprevisíveis, utilizando abordagens desenvolvidas para rios de pequeno porte (LANGHORST; PAVELSKY, 2023; LATRUBESSE, 2008; SUIZU et al., 2022). Estas mudanças morfológicas detectadas a partir de investigações bidimensionais fornecem indicadores que, se interpretado corretamente, podem revelar-se uma ferramenta valiosa de gestão de rios (BRIERLEY; FRYIRS, 2005; CARLING et al., 2018).

A Ilha do Bananal, localizada na região central do Brasil, na bacia do rio Araguaia, é a maior ilha fluvial do mundo (BORMA et al., 2009; DIAS et al., 2011; MENDES et al., 2015), com uma complexa rede de canais gerados durante o Pleistoceno Médio e Tardio por um sistema multicanal (VALENTE; LATRUBESSE, 2012). Delineada pelos rios Araguaia, na borda esquerda, e Javaés, na borda direita, a ilha é um sistema único no bioma do Cerrado em transição com o bioma amazônico, ainda livre de grandes alterações diretas no canal, tais como a construção de barragens (MARTINS et al., 2021; PELICICE et al., 2021). A posição atual de grande parte do rio Javaés corresponde a um cinturão aluvial de canal abandonado pelo Rio Araguaia por avulsão regional (IRION et al., 2016; VALENTE; LATRUBESSE, 2012).

Em conjunto com a planície aluvial dos rios Araguaia e Javaés, a Ilha do Bananal é considerada o maior refúgio natural da fauna do Cerrado e um dos últimos redutos naturais para a biodiversidade, sendo considerada uma fronteira ambiental do bioma (LATRUBESSE et al., 2019; MARTINS et al., 2021; VALENTE; LATRUBESSE; FERREIRA, 2013). No entanto, dados recentes indicam que mais da metade da cobertura vegetal do bioma já foi convertida em uso antrópico, principalmente para a agricultura e pecuária (SOUZA et al., 2020). Neste aspecto, modelos ambientais indicam que impactos como o desmatamento exercem grande influência sobre processos em

sistemas fluviais como o Araguaia, impactando o escoamento superficial e a recarga hídrica (COE et al., 2011, 2017; GOMES et al., 2021).

Embora algumas pesquisas tenham avaliado as mudanças morfológicas ao longo do rio Araguaia (BAYER et al., 2020; LATRUBESSE et al., 2009; SUIZU et al. 2022, 2023), pouco se sabe sobre as dinâmicas geomorfológicas do rio Javaés, na outra borda da Ilha do Bananal. Portanto, compreender as mudanças morfológicas ao longo do tempo no rio Javaés é importante para entender a dinâmica do sistema fluvial da região e identificar possíveis impactos ambientais na biodiversidade local. Além disso, a comparação das mudanças nos rios Araguaia e Javaés permitirá avaliar diferenças significativas na dinâmica fluvial entre os rios que circundam a Ilha do Bananal. Assim, o presente estudo teve como objetivo avaliar as mudanças na morfologia bidimensional do rio Javaés, utilizando imagens multitemporais de sensoriamento remoto e análise de tendência de séries temporais.

2. Materiais e Métodos

2.1. Área de estudo

A área em análise localiza-se em uma região de transição entre o bioma Cerrado e a Floresta Amazônica, no sudeste da Amazônia Legal, no estado do Tocantins. O foco da pesquisa é o baixo curso do rio Javaés (Figura 1), que é um sistema palimpsesto reativado, resultante de sucessivos desvios (avulsões) do rio Araguaia durante o Pleistoceno (SUIZU; LATRUBESSE; BAYER, 2023; VALENTE; LATRUBESSE, 2012). Conhecido também como o braço menor do Araguaia, o rio Javaés delinea toda a borda direita da Ilha do Bananal, a maior ilha fluvial do mundo, drenando uma área de 53.000 km² de bacia no médio rio Araguaia (MENDES et al., 2015).

As seções de canal analisadas no rio Javaés têm início na confluência com seu maior tributário, o rio Formoso, em uma altitude de 180 m. Apresentam as melhores condições para identificar as feições deposicionais nas imagens da série LANDSAT de satélites, devido a largura do canal, que varia entre 100 e 250 m. A partir desse ponto, o rio percorre 118 km em direção ao noroeste, preferencialmente, até se bifurcar em dois canais; o trecho mais largo deságua no rio Araguaia após 5 km da bifurcação, em uma altitude de 170 m. O braço adjacente possui um trecho de 20 km, denominado rio Javaezinho, e forma uma ilha em paralelo com o rio Araguaia no Parque Estadual do Cantão (PEC) (IBGE, 2007a).

Essa região é de grande importância para a conservação ambiental, cercada por áreas de proteção como o Parque Nacional do Araguaia (PARNA), Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) Canguçu, uma base para pesquisas científicas gerenciada pela Universidade Federal do Tocantins, o PEC e a Área de Proteção Ambiental (APA) de uso sustentável da Ilha do Bananal/Cantão (Figura 1).

O clima na região do rio Javaés é considerado úmido, com moderada deficiência hídrica, marcado por estação de seca, que varia entre os meses de maio e setembro, e estação chuvosa, entre setembro até abril do ano posterior (SANTOS; CHEREM, 2021). A geração de chuvas é influenciada pela dinâmica das Zonas de Convergência Intertropical e do Atlântico Sul que atuam sobre a porção sudeste da Amazônia Legal (NASCIMENTO; NOVAIS, 2020). Os trechos do rio Javaés entre o PARNA e o PEC (Figura 1) apresentam as maiores taxas de precipitação média anual em todo o Cerrado (entre 1953 e 2.448 mm.ano⁻¹). No sentido de jusante para montante do rio Javaés, a distribuição espacial da precipitação reduz gradativamente, entre 1003 e 1.161 mm.ano⁻¹ nas cabeceiras de drenagem (CAMPOS; CHAVES, 2020; GOMES et al., 2022; GOMES; FERREIRA; LIMA, 2019).

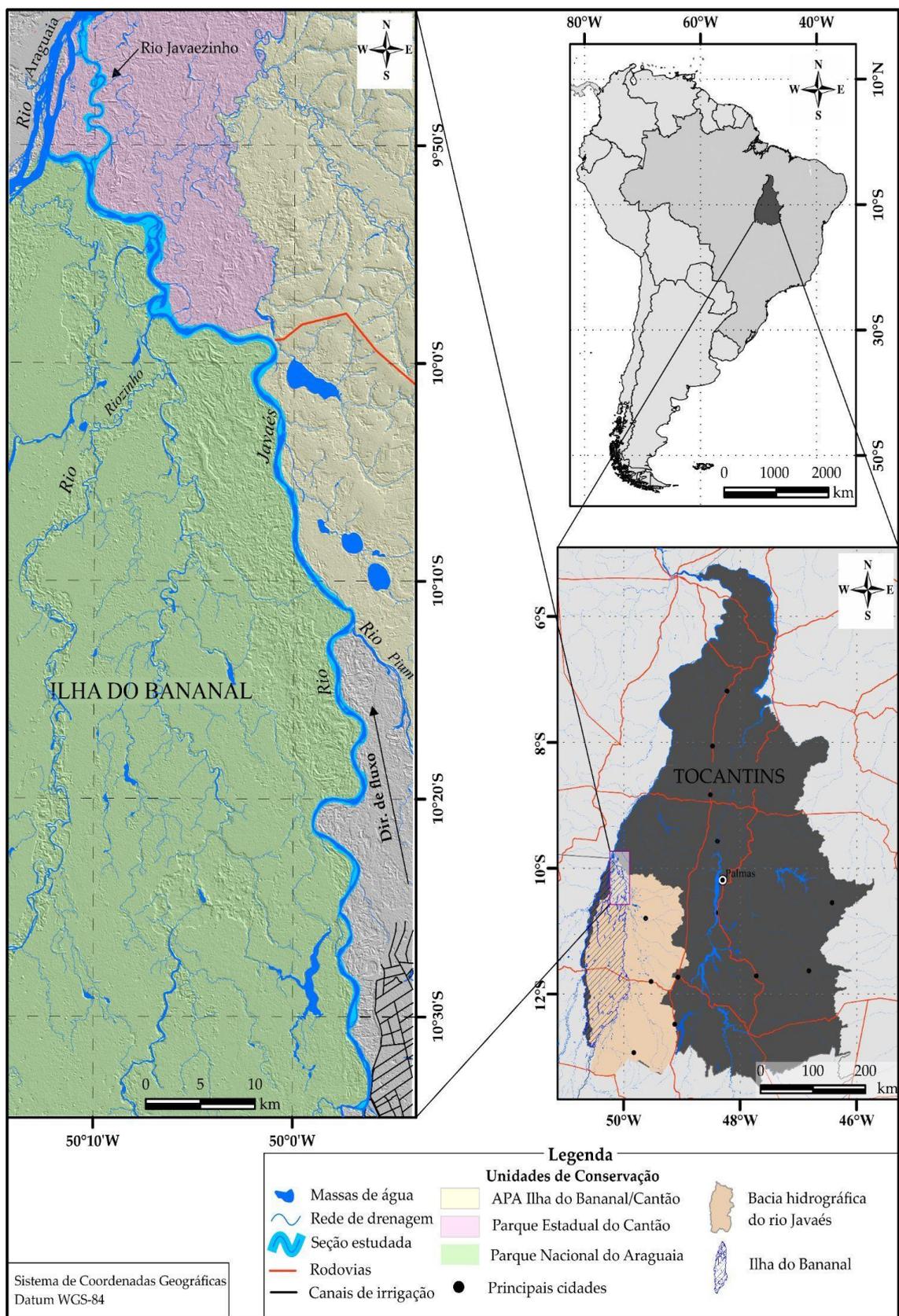


Figura 1. Localização da área estudada. América do Sul com cores cinza claro, Brasil em cor cinza e o estado do Tocantins em cinza escuro.

2.2. Mapeamento das feições fluviais

Para identificar as feições deposicionais fluviais, foram utilizadas 4 cartas topográficas na escala de 1:100.000 referentes ao ano de 1968, vetorizadas e disponibilizadas pela Diretoria de Serviço Geográfico do Exército Brasileiro, e dados orbitais da coleção LANDSAT, entre 1985 e 2021 (Figura 2), que incluíram a coleção dos satélites Landsat-4 e 5 com o sensor TM, Landsat-7 com o sensor ETM+, e o Landsat-8 com o sensor OLI.

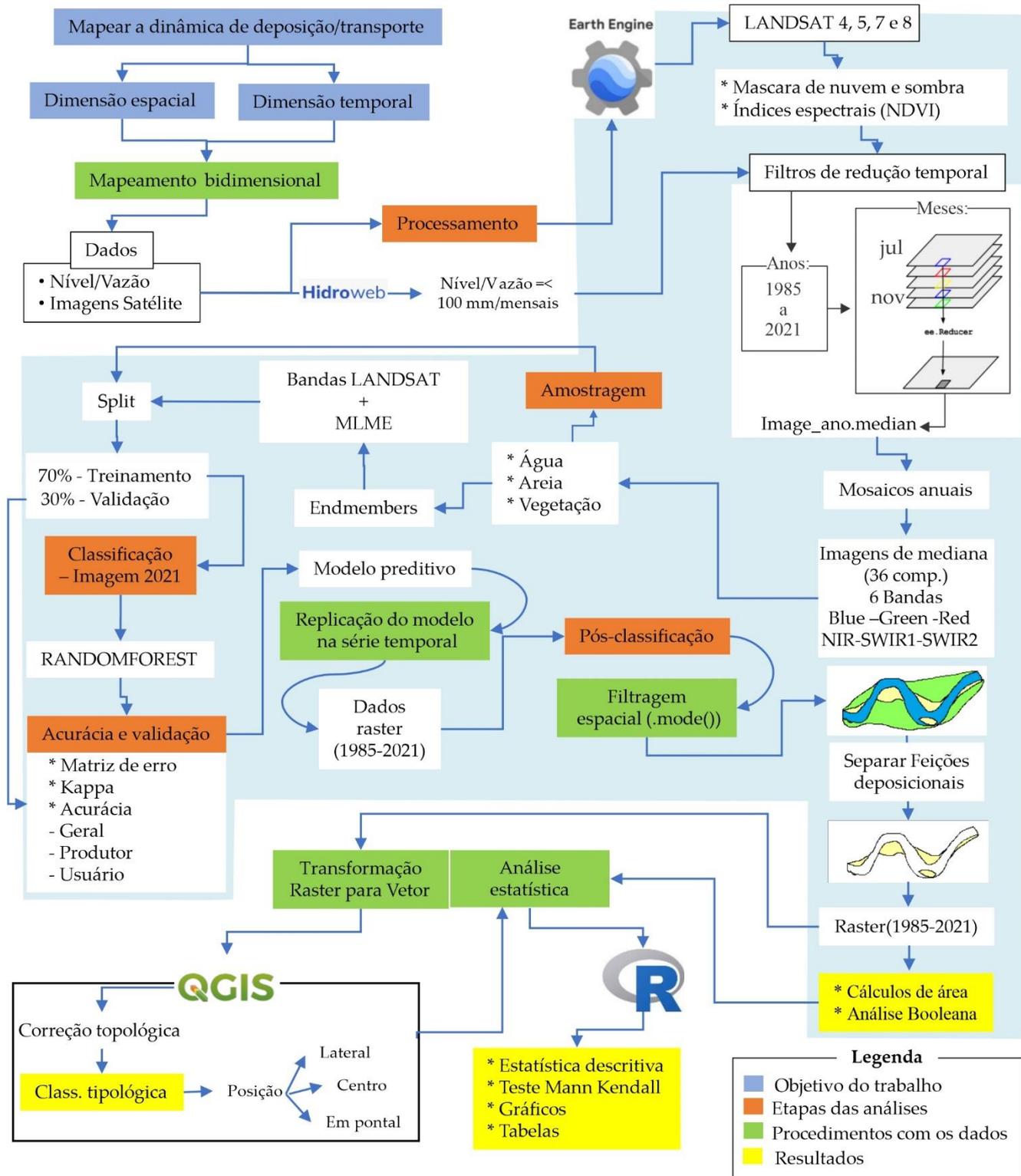


Figura 2. Fluxo de trabalho para identificação de série temporal.

Os vetores das cartas topográficas correspondentes às classes de massas de água, barras arenosas e ilhas foram extraídos manualmente no software de sistema de informação geográfica (SIG) QGIS (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2022). Desta forma, foi criada uma camada a partir da mesclagem dos dados, gerando um arquivo correspondente ao ano de 1968. Para os dados orbitais, um código em linguagem de programação *JavaScript* foi gradativamente desenvolvido na plataforma de processamento de dados espaciais em nuvem *Google Earth Engine* (GEE) (Figura 2), que oferece uma interface *web* interativa em nuvem (GORELICK et al., 2017). Na plataforma GEE foi possível acessar e utilizar imagens da coleção 2 da série de satélites LANDSAT, disponibilizadas pela *United States Geological Survey* (USGS). Em 2020, a USGS finalizou o reprocessamento dos dados brutos das séries de imagens, aplicando novos ajustes nos pontos de controle e georreferenciamento (PINTO; JING; LEIGH, 2020; WULDER et al., 2022). As imagens do sensor *Thematic Mapper* (TM) e do *Enhanced Thematic Mapper Plus* (ETM+) foram processadas por meio do algoritmo *Landsat Ecosystem Disturbance Adaptive Processing System* (LEDAPS) enquanto as imagens do sensor *Operational Terra Imager* (OLI) foram processadas pelo algoritmo *Land Surface Reflectance Code* (LaSRC), gerando produtos calibrados de reflectância de superfície, possibilitando harmonizações coesas entre produtos.

Em estudos comparativos temporais de processos fluviais em grandes rios, idealmente, são utilizadas imagens de sensoriamento com a menor variação de cota hidrométrica possível (e.g., PEIXOTO; NELSON; WITTMANN, 2009; FRAGAL; CREMON, 2012; ROZO; NOGUEIRA; CASTRO, 2014). No entanto, para a área de estudo em questão, não havia disponibilidade de um banco de dados com imagens da série Landsat regularmente espaçadas no tempo, cuja cena coincidissem com a mesma cota hidrométrica, ou amplitude de valores de cota próximos. Isso ocorreu devido à resolução temporal da série LANDSAT e cenas com cobertura de nuvens ou sombra de nuvens.

Nesse contexto, buscou-se trabalhar com imagens no período em que o rio Javaés tivesse a menor variabilidade de nível hidrométrico possível. Em uma análise prévia dos dados hidrológicos de cota da estação Barreira da Cruz, no rio Javaés, revelou-se que o período de menor variabilidade de cota é entre os meses de julho e novembro (Figura 3). Santos e Cherem (2021) observaram séries hidrológicas e identificaram que, anualmente, nesse mesmo período de meses, o rio Javaés apresenta uma fase de estiagem com vazão inferior a $100 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ e menor cobertura de nuvens.

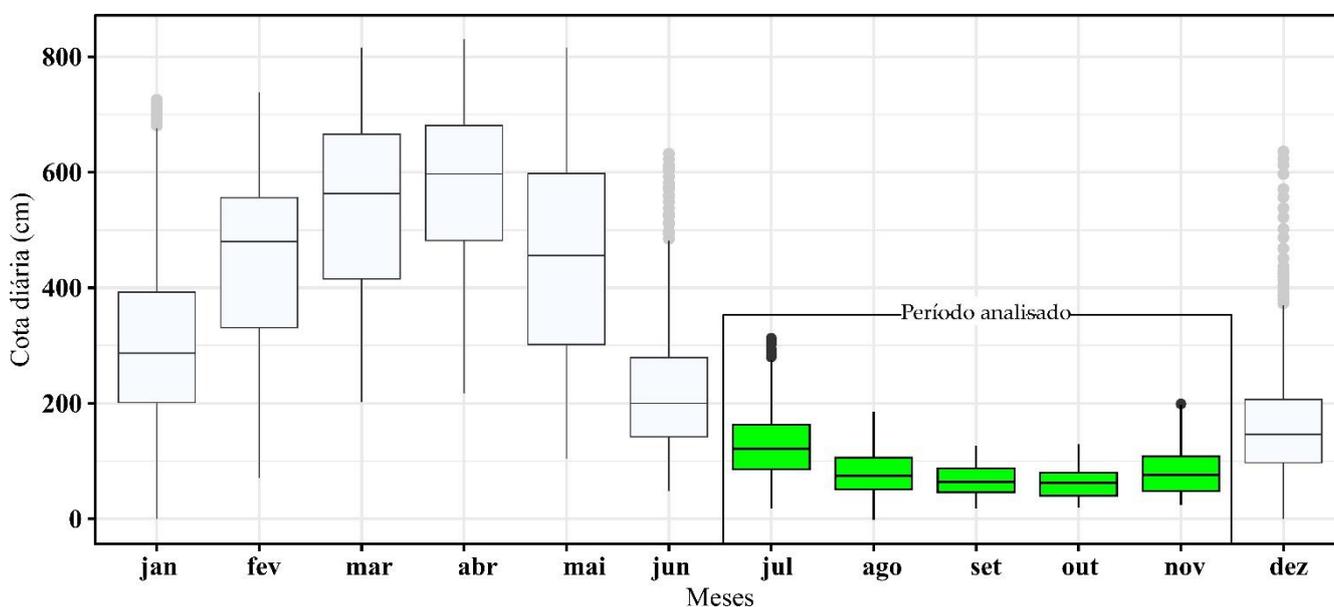


Figura 3. Boxplots com a série histórica de cota média diária (em cm) da estação Barreira da Cruz. Fonte dos dados: ANA (2023).

Sendo assim, a partir da filtragem espacial e temporal, foram selecionadas 2.547 imagens LANDSAT geradas entre 1985 e 2021, restringindo a busca entre os meses de julho e novembro. Foi aplicada uma máscara de pixels para isolar nuvens e sombras, utilizando a banda de qualidade de pixel elaborada pela USGS e agregada em cada conjunto de cenas (LI et al., 2019). A aplicação de um filtro redutor temporal de mediana buscou reduzir as imagens, gerando mosaicos anuais para cada banda espectral e ano (TOBÓN-MARÍN; CAÑÓN BARRIGA, 2020).

Com essa estratégia, foi possível obter imagens medianas anuais da área de estudo, com reduzida cobertura de nuvens e em períodos regulares, além de permitir obter uma linha de base para comparação.

Para mapear as feições deposicionais, optou-se pela classificação supervisionada das imagens orbitais, diferenciando esses alvos das classes barra arenosa, água e vegetação. Para isso foi utilizado o algoritmo *Random Forest*, que usa uma abordagem que combina várias árvores de decisão aleatórias para se obter a melhor acurácia na divisão entre classes, gerando um modelo preditivo com os melhores resultados por abordagem *ensemble* de aprendizado de máquina (BORRA; THANKI; DEY, 2019; BREIMAN, 2001).

Foram utilizadas as bandas multiespectrais da série LANDSAT da faixa do visível (BLUE, GREEN e RED) e infravermelho (NIR, SWIR1 e SWIR2) e o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) para cada mosaico anual de imagens gerado. Adicionalmente, com base no Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME) foi possível obter imagens frações para cada ano dos *endmembers*: areia, água e vegetação (SHIMABUKURO; DUTRA; ARAI, 2020; SHIMABUKURO; SMITH, 1991). Os *endmembers* foram selecionados por interpretação visual na definição de pixels puros para a aplicação do MLME pela função *unmix* no GEE.

No processo de amostragem para classificação, foram selecionados 1.047 pontos nas imagens conforme as três classes especificadas (barra arenosa, água, vegetação). As amostras foram divididas em dois grupos, sendo 70% utilizadas no treinamento e 30% para teste (validação com amostras independentes ao treinamento) (BORRA; THANKI; DEY, 2019; NGUYEN et al., 2021).

Os resultados das imagens classificadas em formato matricial foram pós-processados com filtro de mediana 3x3 e em seguida convertidos em vetores do tipo polígonos na plataforma do GEE. Posteriormente os dados foram inseridos no QGIS para a limpeza dos polígonos e correções de topologia em modo manual, reduzindo inconsistências como sobreposições e vazios entre fronteiras. Foram selecionados anos específicos para o detalhamento vetorial, sendo 1968 relacionados aos vetores das cartas topográficas, 1985, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015 e 2021 derivados da classificação dos mosaicos LANDSAT.

2.3. Tipologias das feições deposicionais

Foi utilizado definições geomorfológicas de macroformas do relevo de leito dos rios que consideram principalmente a posição no leito e processos de formação (CHARLTON, 2008; CHRISTOFOLETTI, 1981; STEVAUX; LATRUBESSE, 2017), observando as propostas adaptadas para o mapeamento de rios tropicais como o Araguaia (MORAIS, 2006; SUIZU et al., 2022). Partindo desses referenciais, foram identificadas cinco tipologias de barras na área de estudo: barra em pontal (Figura 4A), barra lateral (Figura 4B), barra em junção ou em bifurcação de canais (Figura 4C), barra central (Figura 4D), ilhas e barras acrescidas (Figura 4E).

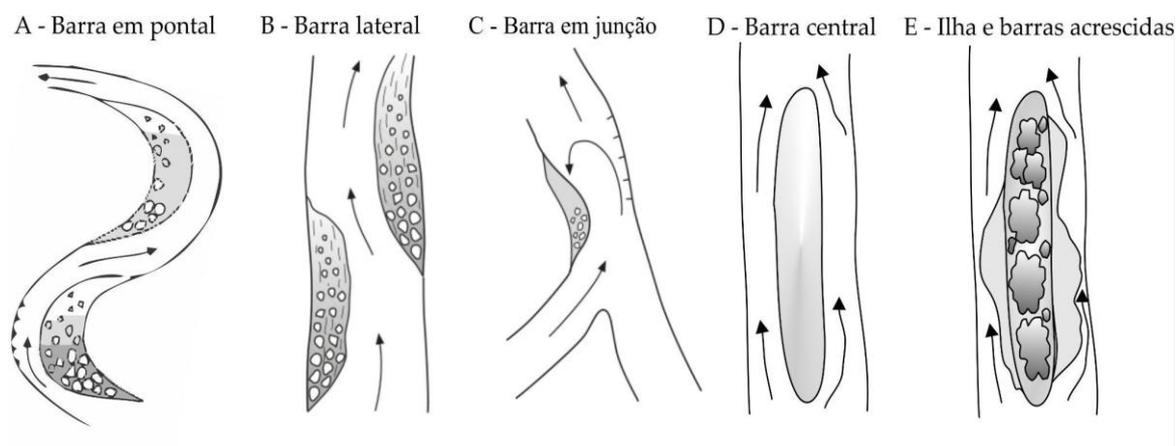


Figura 4. Representações de padrões de barras e ilhas fluviais mapeadas. Fonte: Adaptado de Brierley e Fryirs (2005) e Suizu et al. (2022). Diagramas disponíveis em: <https://riverstyles.com/geomorphic-unit-quick-reference-guide/page/2/E>

As ilhas também foram mapeadas, porém sua identificação ocorreu de forma manual, com a individualização de polígonos associados a presença da vegetação entre canais fluviais (Figura 4), com ajustes pontuais entre fronteiras entre massas de água e barras arenosas. A Figura 5 exemplifica essa identificação e as tipologias observadas no rio Javaés, com base em imagens do MLME.

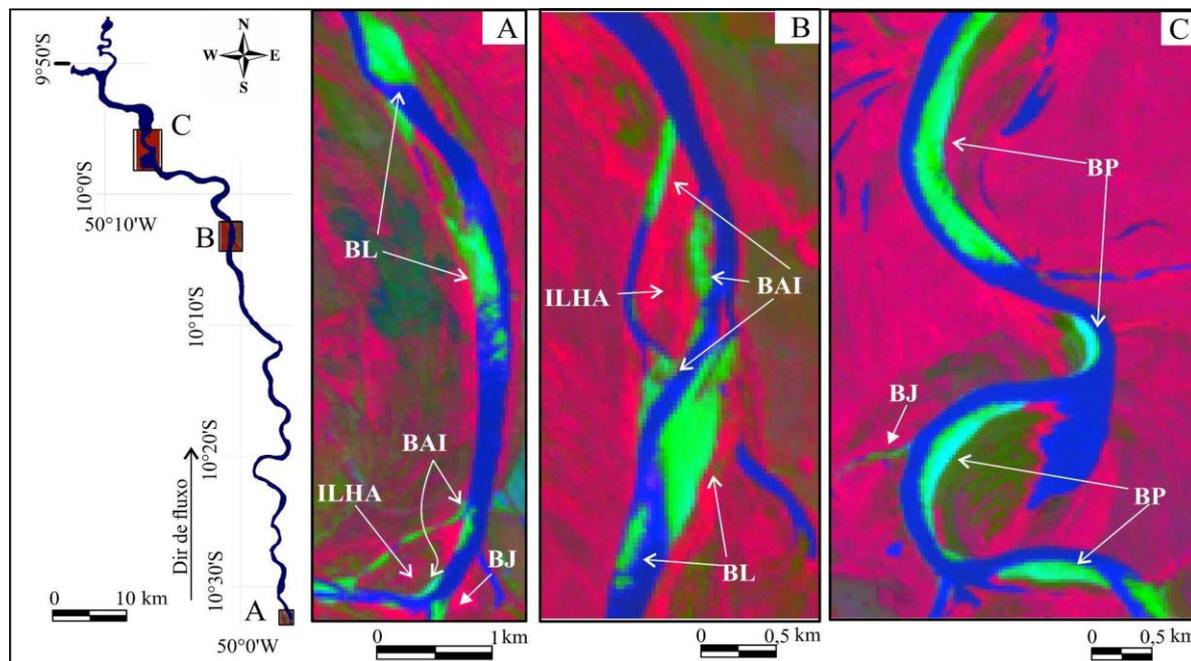


Figura 5. Localização de área de controle no mapeamento de barras arenosas e ilhas no rio Javaés. Os símbolos correspondem: BL - Barra Lateral; BAI - Barras acrescidas às ilhas; BP - Barra em Pontal; BJ - Barra em Junção de canais. Imagem do MLME em composição colorida: R(imagem fração vegetação), G(imagem fração barras arenosas), e B(imagem fração água). As massas de água estão na cor azul, barras arenosas (em verde claro) e vegetação em tons variados, magenta para padrão arbóreo e verde oliva para padrão arbustivo.

2.4. Análises da série temporal e tendência

A análise das séries temporais foi feita para toda a área estudada com os dados contínuos entre 1985 e 2021, por meio de testes estatísticos, análise gráfica e álgebra de mapas. No software QGIS foram definidos ainda 14 segmentos de 5 km de extensão ao longo do canal, nomeados de A (montante) a N (Jusante), com o cálculo de área, orientação azimutal e a sinuosidade por trechos. A análise de estatística descritiva foi realizada no software de estatística R (R CORE TEAM, 2020), com a geração de tabelas e gráficos.

Por meio do pacote *Trend*, foi utilizado a função *mk.test* que aplica o teste não paramétrico de Mann Kendall (MCLEOD; MCLEOD, 2015), comumente utilizado para identificar presença ou ausência de tendência em séries temporais (FIENER; NEUHAUS; BOTSCHKEK, 2013; SANG; WANG; LIU, 2014; SANTOS; CHEREM, 2021), e o estimador *Sen` Slope* que quantifica a magnitude dessas mudanças (HAGHTALAB et al., 2020; MU; JONES, 2022; SEN, 1968). Também foi calculado a média móvel das séries temporais por 3 anos consecutivos, para a identificação de sub tendências. Ainda no software R, calculou-se a relação entre o desenvolvimento de área das barras arenosas e de massas de água com base em um teste de regressão linear simples.

No GEE foram analisados ainda a evolução espacial das massas de água e sedimentação ao longo do tempo e entre trechos, por meio de álgebra simples dos rasters gerados na classificação, considerando a diferença de posição dos pixels entre dois períodos, com a quantificação das áreas removidas, estáveis ou acrescidas (GUIMARÃES; NARVAES; GALO, 2017). Para os 14 trechos definidos, foram analisados o balanço sedimentar, além da tendência estatística (MK) para a área de massas d'água e barras arenosas.

3. Resultados

3.1 Análise multitemporal da distribuição e tendência das áreas das barras arenosas e massas de água

Na identificação dos alvos, o modelo treinado com o classificador Random Forest apresentou acurácia global e índice Kappa de 0,99. Os valores de área das classificações de massas de águas do canal e barras arenosas foram organizados em séries temporais conforme a Figura 6. Entre 1985 e 2021, as barras variaram com área mínima de 9,5 km² em 1995 e máxima de 20,8 km² em 2017. As massas de água apresentaram amplitude de 16,8 km², com área mínima de 21,7 km² em 2016 e máxima de 38,6 km² em 1985. As barras arenosas apresentaram acréscimo de área entre 1985 e 2021 de 57% (6,5 km²), enquanto a área de massas de água reduziu em 39% (15,2 km²).

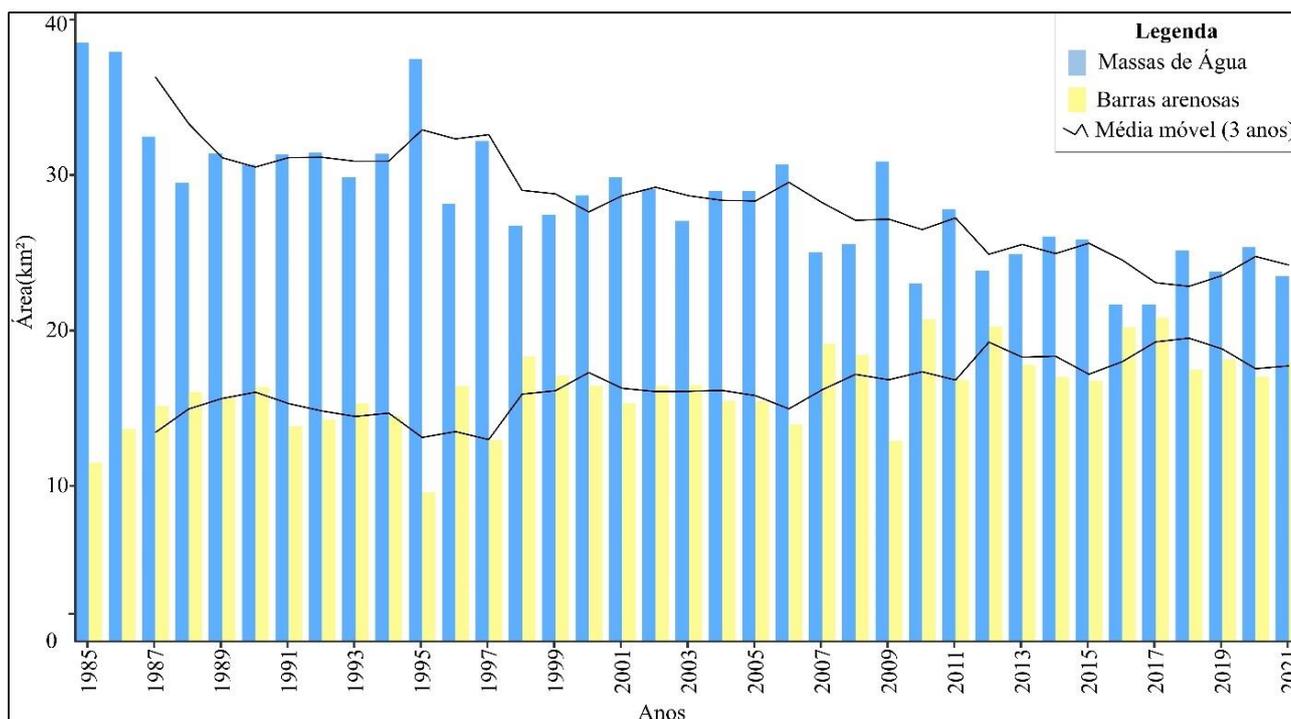


Figura 6. Somatório anual de áreas mapeadas de barras arenosas e massas de água entre 1985 e 2021 no baixo curso do rio Javaés.

O teste não paramétrico de Mann Kendall (MK) aplicado sobre os dados de barras arenosas indicou evidência estatística significativa para presença de tendência na série temporal ($t=0,48$, $p\text{-valor}<0,05$), com aumento da área de barras arenosas ($sen's\ slope = 0,12\ km^2.ano^{-1}$, $p\text{-valor}<0,05$). A mesma análise aplicada a série de massas de água também indica a presença de tendência ($tau = -0,63$, $p\text{-valor}<0,05$), porém com a redução de área ($sen's\ slope = -0,28\ km^2.ano^{-1}$, $p\text{-valor}<0,05$). O teste de regressão linear indicou uma relação significativa com correlação positiva entre os valores de área das barras arenosas e áreas de massas de água, indicando que o aumento nas taxas de deposição pode ser condicionado pela redução na área de massas de água ($R^2 = 0,84$, $p\text{-value} = 0,01$).

Os valores de média móvel de área ajustados para períodos de 3 anos permitiram identificar fases oscilatórias nos dados, com aumentos graduais e reduções que indicam sub-tendências em ambos os grupos (Figura 6). As barras arenosas apresentaram elevação de 40% entre 1985 e 1990, atingindo o pico em 1990 e, posteriormente, uma fase de redução que culminou na mínima da série histórica em 1995. As feições deposicionais retomaram o crescimento entre 1997 e 2000, mantendo-se em um patamar com valores próximos a 15 km² até uma queda em 2006 (14 km²). Entre 2006 e 2011, a área de barras elevou-se próximo a 18 km², seguida por uma redução de área até o ano de 2015. Nos anos 2016 e 2017, ocorreu um aumento de área acima de 20 km² novamente, com redução e estabilização próximo a 18,5 km².

As massas de água apresentaram oscilações mais suaves na área anual, com alternância entre sequências de redução de área, picos e períodos de estabilidade. Em 1985 e 1986, os valores foram os mais elevados da série, seguidos por uma redução em 1988 de 24%. Um patamar manteve-se até 1995, com valores entre 30 e 32 km² nos anos seguintes, atingindo um pico em 1995 (37,5 km²), com uma elevação isolada com nível similar a 1985. A partir

de 1996 e até 2005, ocorreu uma fase de estabilidade. A partir de 2006, as áreas das massas de água apresentaram uma redução de 7,1 km² (-23%) até 2021. Os anos 2015 e 2016 representam um período de menor área nas massas de água do canal, seguido por uma retomada na expansão em área das barras arenosas. Ao analisar os dados entre 2015 e 2021, é possível observar que a área de barras arenosas aumentou 7,6%, enquanto a área de água diminuiu 11,5%.

A álgebra de mapas entre períodos regulares (Tabela 1) indicou que as massas de água possuem o maior acréscimo de área do canal entre 1990 e 1995 (10 km²) em uma taxa de 2,5 km².ano⁻¹. Proporcionalmente ocorreu maior mobilidade das barras arenosas nesse mesmo período (8,1 km²), em uma taxa de 1,7 km².ano⁻¹. Posteriormente, entre 1995 e 2000 ocorreu a redução na área de massas de água em proporção similar ao período anterior, com aumento na deposição de barras em uma taxa de 1,5 km².ano⁻¹. Entre 1985 e 2000, as áreas estáveis apresentaram valores regulares, com redução gradativa nos períodos posteriores. As barras arenosas apresentam valores oscilatórios entre os períodos nas taxas de mobilidade e acréscimo de áreas e aumento gradativo das áreas de estabilidade.

Tabela 1. Resultados da análise booleana do balanço de área entre períodos no rio Javaés.

Períodos	A - Área de massas de água			B - Área de barras arenosas		
	Acréção	Estável	Mobilidade	Acréção	Estável	Mobilidade
1985-1990	2,4	27,6	-7,2	6,1	10,2	-1,3
1990-1995	10	27,4	-2,5	1,3	8,3	-8,1
1995-2000	1,3	27,4	-10,0	8,0	8,5	-1,1
2000-2005	2,3	26,7	-2,0	1,7	13,8	-2,7
2005-2010	0,5	22,5	-6,5	5,8	14,9	-0,6
2010-2015	3,9	22,0	-1,1	0,9	15,9	-4,8
2015-2021	1,2	22,3	-3,6	3,1	14,9	-1,8

3.2 Análise por trechos do balanço sedimentar e tendência das áreas das barras arenosas e massas de água

Os 14 trechos definidos estão representados na Figura 7A. O trecho A é um canal gerado a partir da confluência do rio Javaés com o Rio Formoso (Figura 7A), seu principal tributário que detém a maior parte dos canais a montante. Esse setor juntamente com o trecho B, apresenta: canal unitário com barras laterais alternadas, recorrência de segmentos multicanal com ilhas de grande porte (Figura 7A), largura média de 144 m, baixa sinuosidade e controle de direção no sentido NNW e N. A sinuosidade aumenta nos trechos C e D, com largura média entre 124 m e 137 m, apresentando alternâncias na orientação das curvas de meandros entre NE e NW. O trecho F muda sua direção após receber fluxo do rio Pium na margem direita, com reorientação do rio Javaés para NNW até o trecho H. Os trechos entre I e L apresentam mudanças na orientação do rio Javaés para W, alternando a direção com segmentos em NW até a confluência principal com o rio Araguaia. A largura média dos trechos nessa seção variou de 139 m no trecho I, com características sinuosas e deposição em barras em pontal, até 208 m no trecho K, que concentra ilhas e lagos integrados ao leito de vazante. A sinuosidade é superior a 1,5 até a bifurcação do braço principal. Os trechos M e N representam esse tronco secundário, o rio Javaezinho, um canal com característica de avulsão regional em atividade, com orientação perpendicular ao rio Araguaia (variando a direção entre NE e NW); possuem as taxas de sinuosidade mais elevadas entre os trechos (1,8) e menores taxas de largura (76 e 101 m).

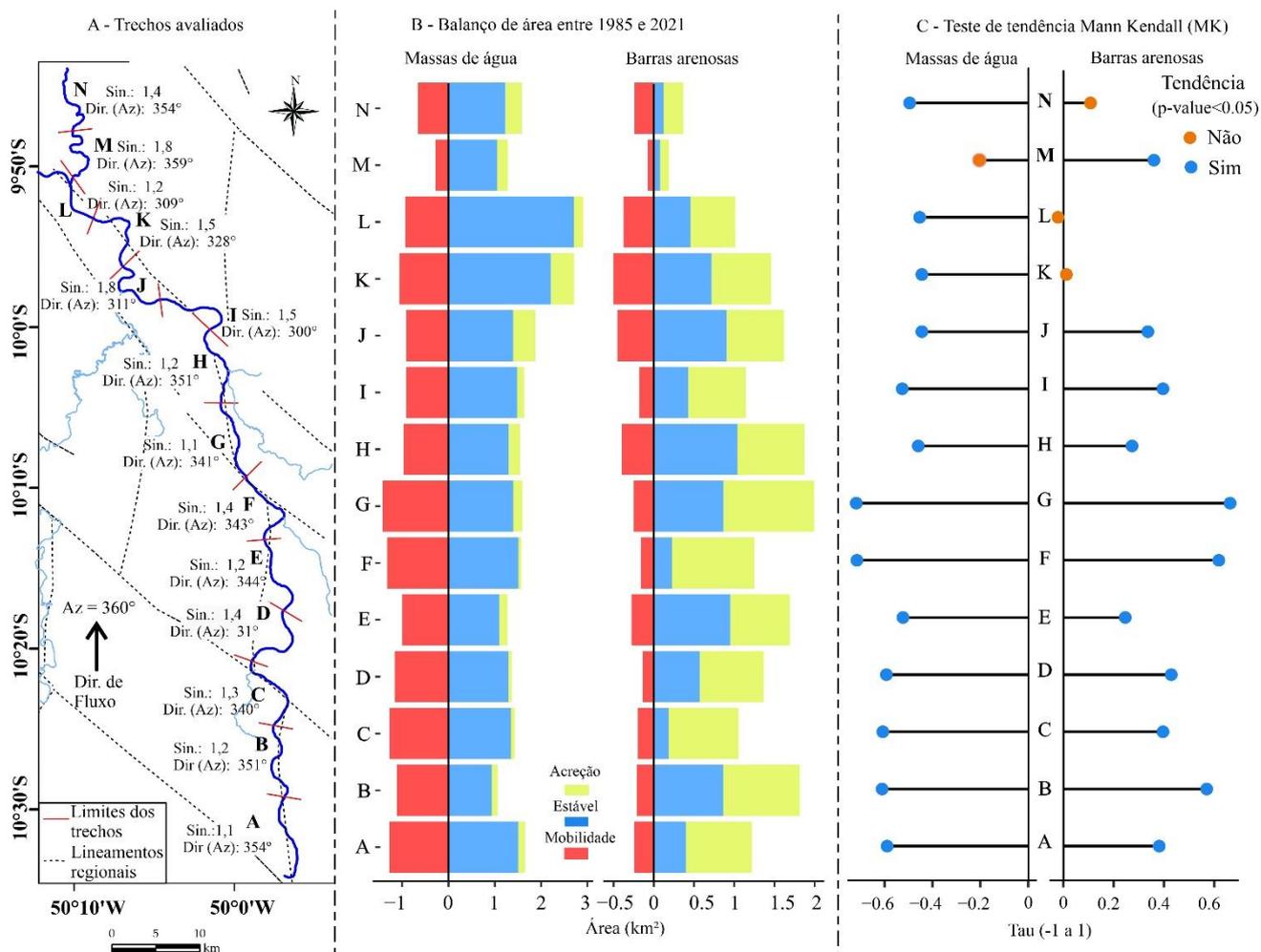


Figura 7. Segmentos analisados na área de estudo e tendências ao longo do tempo. (A) Localização dos segmentos definidos para a área de estudo com orientação (Az) e sinuosidade (Sin) e lineamentos regionais (IBGE, 2008). (B) Balanço de área: Acreção, Estabilidade e Mobilidade de massas de água e barras arenosas. (C) resultados por trecho dos testes de Tendência Mann Kendall (MK).

A análise booleana da diferença de área entre anos de 1985 e 2021 reforçou a identificação de mudanças no balanço de área no rio Javaés. As fases nas áreas das massas de água foram de 14,2 km² de redução (Figura 7B), 3 km² em acréscimo e 20 km² de área estável. Em média, cada trecho perdeu aproximadamente 1,4 km² de massas de água, com maiores valores nos trechos G (1,4 km²), F (1,3 km²) e A (1,3 km²). A acreção de novas áreas de canal foi progressiva entre os trechos de montante para jusante, variando de 0,06 km² (trecho F) até 0,5 km² (trecho K). As áreas estáveis foram mais elevadas nos trechos a jusante, em seções diretamente associadas à presença de ilhas de grande porte e trechos multicanais, como o caso dos trechos L (2,7 km²), K (2,2 km²) e A (1,5 km²). As barras arenosas apresentaram acréscimo de 10 km², redução de 3,7 km², e área estável de 7,7 km². Em 37 anos, os setores G e F foram os que mais acrescentaram áreas de barras arenosas. Os setores A, B, C, I, J, K, M e N têm uma taxa de acreção mais elevada do que as áreas estáveis. Também destacamos o setor H com a maior área estável de barras (1,03 km²).

Os resultados do teste de MK sobre a distribuição temporal das massas de água indicou presença de tendência (p-valor < 0,05), com inclinação negativa em 13 trechos mapeados (Figura 7C). O teste MK da distribuição temporal das áreas de barras arenosas identificou que em 11 dos 14 segmentos ocorreu presença de tendência com significância estatística (p-valor < 0,05), com variação positiva nos indicadores estatísticos do índice tau entre 0,25 (trecho E) e 0,67 (trecho G). Os resultados do índice *sen's slope* confirmam o domínio da inclinação positiva com valores que variaram entre 0,001 e 0,02 (p-valor < 0,05). Os trechos F e G, na seção central, apresentam diferença superior em todos os anos nas taxas de acumulação quando comparado com os demais trechos e também os maiores valores dos índices tau e *sen's slope*, indicando que essas zonas no canal têm apresentado maior capacidade

de acúmulo de sedimentos. Entre os setores H e J, os valores do índice tau são estabelecidos em níveis similares aos trechos a montante, entre A e D.

Os resultados de teste MK dos trechos L, K e N indicam estabilidade no balanço de deposição nesse trecho. A análise de diferença entre período indicou que a área perdida de sedimentação é proporcional à área gerada nesse setor. Apesar do resultado do trecho N não apresentar tendência para mudanças no aporte sedimentar anual, observou-se nas sequências do mapeamento mudanças morfológicas entre 1985 e 1990, com a ocorrência de corte de meandro, com formação de ilhas e conexões secundárias junto ao rio Araguaia e redução da área de foz. Nota-se também que a partir da análise visual do MLME é possível observar a vegetação secundária (VS) em tons de verde oliva (Figura 8), colonizando os canais abandonados e as feições deposicionais.

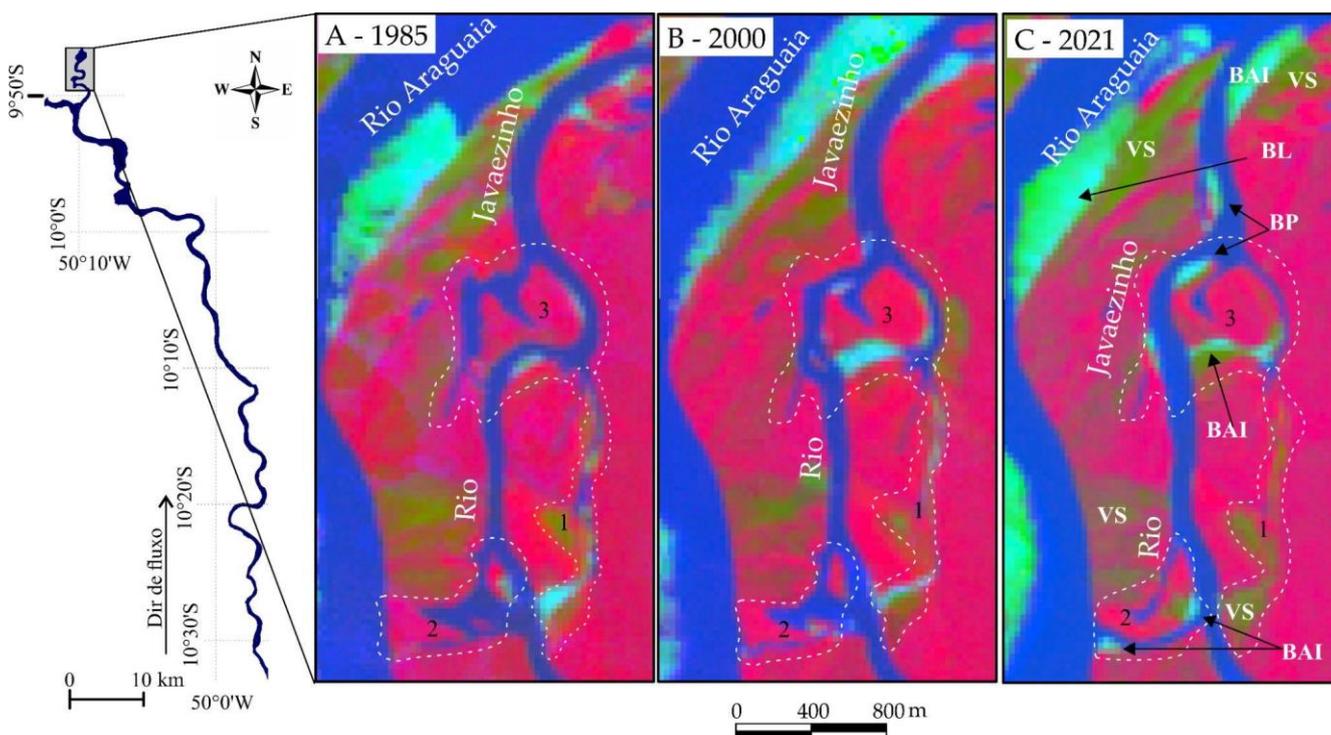


Figura 8. Imagem em composição colorida R (imagem fração vegetação), G (imagem fração barras arenosas), B (imagem fração água) do MLME, com indicações de mudanças na morfologia de canal do trecho N e na foz do rio Javaezinho junto ao rio Araguaia. Em destaque (linhas pontilhadas), a vegetação secundária (VS), incorporando o canal abandonado a planície de inundação (1), encurtamento de curva sinuosa com formação de paleocanal (2); instalação de furo, conectando os dois rios (2); Soldamento de ilha (3).

3.3. Classificação e análise morfométrica das feições deposicionais e ilhas

A análise dos dados da tabela 2 no baixo curso do rio Javaés revela uma tendência de aumento de frequência e área por feições ao longo dos anos selecionados para vetorização. É interessante destacar que a quantidade de feições indica crescimento de 107% entre 1968 e 2021, em uma taxa anual de 2%, sendo um aumento não linear. O aumento de frequência mais expressivo ocorreu entre 1968 e 1985 de 110%, em uma taxa anual média de 6,4%. Por outro lado, entre 1995 e 1990 houve menor crescimento (4,07%) na frequência das feições, enquanto entre 2000 e 2005 ocorreu uma redução de -4,8%.

Em relação à distribuição temporal da frequência barras arenosas por tipos feições, em 1968 o grupo predominante era Barra em Pontal, representando 41% do total, seguido dos conjuntos de barra lateral (14) e Ilhas (13), respectivamente 21% e 19% das feições. Esses três grupos citados mantêm hegemonia entre as tipologias mapeadas no rio Javaés, representando em 2021 84% do total de feições mapeadas. Nota-se que esse percentual de predomínio é modificado com a redução gradativa das Ilhas e um aumento expressivo de barras laterais.

Entre 1968 e 1985, o número de barras em pontal aumentou em 75%. No entanto, nos períodos seguintes, apresentou taxas variáveis, com uma queda sequencial entre 1985 e 1990 (-14%) e outra entre 1990 e 1985 (-7%), seguidas por um aumento entre 1995 e 2000 (23%). Entre 1968 e 2021, as barras laterais apresentaram o maior

aumento absoluto entre os grupos, com acréscimo de 39 barras. Já entre 1985 e 2021, esse grupo sustentou uma tendência de aumento, com uma diferença relativa de 179%. Entre 1968 e 1985, as ilhas indicam aumento expressivo (107%), entretanto apresentaram uma tendência de redução até 2021.

Tabela 2. Frequência de tipos de barras arenosas e ilhas no baixo curso do rio Javaés. NA = sem registro.

Anos	Barras acrescidas às ilhas		Barra central		Barra em junção de canais		Barra em pontal		Barra lateral		Ilhas		Total	
	Freq.	Área (km ²)	Freq.	Área (km ²)	Freq.	Área (km ²)	Freq.	Área (km ²)	Freq.	Área (km ²)	Freq.	Área (km ²)	Freq.	Área (km ²)
1968	10	1,3	1	0,04	2	0,06	28	7,9	14	2,1	13	3,7	68	15
1985	18	1,3	6	0,05	6	0,17	49	8,2	38	2	26	2,7	143	14,4
1990	27	1,8	9	0,28	8	0,17	42	10,4	40	3,8	23	2,4	149	19,0
1995	22	1,1	6	0,10	9	0,16	39	6,5	41	1,5	27	3,0	144	12,4
2000	26	1,9	5	0,12	8	0,16	48	11,1	41	3,2	23	3,3	151	19,8
2005	31	1,9	NA	NA	9	0,24	40	10,3	41	2,9	23	2,5	144	17,9
2010	23	2,5	5	0,03	13	0,34	52	14	45	3,9	22	3,2	160	24
2015	16	1,3	1	0,01	7	0,19	44	11,3	37	3,0	20	2,2	125	18
2021	13	1,2	4	0,02	6	0,28	48	13,1	53	3,9	17	2,6	141	21,1

A partir de 1985, a frequência das barras em pontal apresentou comportamento semelhante à frequência total das feições mapeadas, assim como o grupo de barra lateral que apresentou contínuo aumento de feições até 2021 (Tabela 2). Em contrapartida, as ilhas e barras acrescidas às ilhas apresentaram reduções a cada período, com maior frequência em 1995 (27) chegando a 17 feições em 2021. As barras acrescidas às ilhas correspondiam a um percentual de 14% das feições em 1968, chegando a 31 feições em 2005. Barra central apresentou baixa frequência em toda série, sem registro em 2005. A barra em junção apresentou tendência similar com o grupo de barras acrescidas, com aumento gradativo da frequência até um pico em 2010 e redução de 46% em 2015.

A tabela 2 também apresenta valores de área total por ano, incorporando as medidas das ilhas mapeadas. As feições vetorizadas mostram uma distribuição assimétrica de área, com média de 0,13 km², mediana de 0,05 km², e uma amplitude que varia de 4.352 m² a 1,2 km². Em termos absolutos, as barras em pontal somam maior percentual de área ao longo da série temporal, seguindo a tendência oscilatória de queda mais expressiva em 1995. Esse grupo possui as médias e medianas mais elevadas, respectivamente 0,2 km² e 0,1 km², seguido do grupo de Ilha (0,1 km² e 0,03 km²). As barras centrais apresentaram maior expansão mediana de área entre 1968 e 1995, com queda entre 1990 e 2021 (0,26 km²). Entre 1990 e 1995 as barras em pontal, barras laterais e barras centrais reduziram suas áreas respectivamente em -38%, -60% e -61%, e apenas o grupo de Ilhas não apresentou redução (22%). O Período entre 1995 e 2000 foi o mais positivo em crescimento de área, alavancado pelas barras em pontal (Tabela 1). Entre 2010 e 2015 predominou redução em área, com destaque para as barras centrais (-81%).

As barras em junção de canais indicam um aumento de área entre 2015 e 2021, o que sugere maior dinâmica entre conexões de sistemas conectados como a foz dos rios Formoso (Figura 5), Pium, Riozinho e bifurcações nos setores como do canal do rio Javaezinho.

Ao considerar os indicadores de tendência central, o grupo de barra central possui a menor amplitude de área, com concentração unimodal em torno da mediana de 616 m² (Figura 9). A redução na quantidade barras centrais afetou diretamente a área desse grupo entre 2015 e 2021. Com exceção das barras central e barras em junção, os demais valores de área por grupo indicam tendência de queda entre 1985 e 1995, seguido de aumento em 2000 e tendência de elevação até 2021. A área mediana das barras acrescidas foi reduzida entre 1968 e 1995, com valores oscilantes entre 0,01 km² e 0,11 km². Apesar da redução de quantidade e área total, nota-se aumento mediano no tamanho destas feições (Figura 9). Entre 1985 e 2021, o tamanho médio das ilhas oscilou entre 0,10

km² a 0,15 km² e o máximo entre 0,5 e 0,6 km². A área das ilhas no quartil ficou próxima ou inferior a 0,01 km², enquanto a área mediana oscilou sem tendência linear, com maior dispersão e tendência de aumento em 2021.

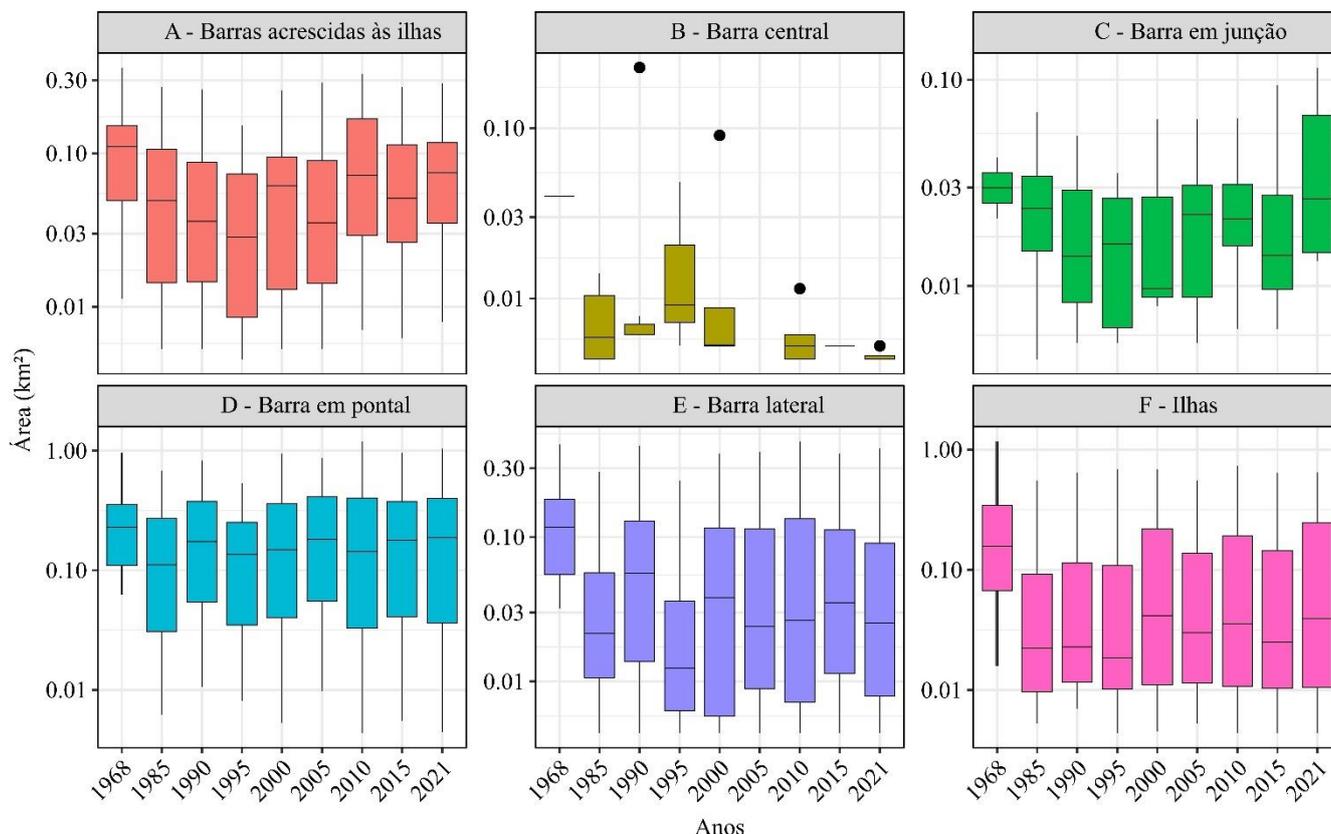


Figura 9. Área de feições mapeadas no rio Javaés conforme grupos de: (A) barras acrescidas às ilhas (B) barra central; (C) barra em junção de canais, (D) barra em pontal, (E) barra lateral, (F) ilhas.

4. Discussão

4.1 Variáveis que controlam e influenciam a dinâmica de canal

O mapeamento do rio Javaés ao longo de 53 anos revelou mudanças significativas no balanço morfossedimentar, com redução de área das massas de água e aumento do aporte sedimentar. É essencial entender os fatores internos e externos que condicionam a formação das macroformas para compreender os ajustamentos observados (FRYIRS; BRIERLEY, 2012). Quando esses fatores estão em equilíbrio, os rios tendem a apresentar taxas de sedimentação e descarga em um estado de equilíbrio (MAGALHÃES JÚNIOR; BARROS, 2020; SEAR; NEWSON, 2010). No entanto, alterações na descarga líquida, coesão das margens, aumento transversal do canal e bloqueios nos leitos podem desequilibrar os processos de escoamento e deposição (STEVAUX; LATRUBESSE, 2017).

Estudos sobre a dinâmica climática do Bioma Cerrado e na região de transição sudeste da Amazônia com o Cerrado mostram mudanças na distribuição e frequência das chuvas (AGUDELO et al., 2019; ARVOR et al., 2017; FUNATSU et al., 2021; NETO et al., 2021; SANTOS; LUCIO; SILVA, 2015; HOFMANN et al., 2023). Análise de dados de estações meteorológicas (ANA) e grid de interpolação (CHIRPS; PERSIANN-CDR) entre 1977 e 2010, indicam que as anomalias do oceano Atlântico e do Pacífico (*El Niño* e *La Nina*) têm influência significativa sobre o regime de chuvas, com tendência geral de queda nas médias mensais no Cerrado (-8,4%), destacando uma redução na série até 1998, seguido de estabilidade até 2010 (CAMPOS; CHAVES, 2020). Observações entre 1977 a 2006 (MARCUIZZO; ROMERO, 2013) e entre 1982 e 2019 (GOMES et al. 2022) mostram que esses fenômenos anômalos têm influência moderada sobre a variabilidade espaço-temporal da precipitação da região.

Gomes et al. (2019; 2022) indicaram que a bacia do rio Araguaia apresenta alta variabilidade anual na precipitação e vazão média ao longo do curso, com picos de cheia e prolongamentos de secas associadas à intensidade de episódios *El Niño* e *La Nina*. Arvor et al. (2017) identificaram, por meio de dados do projeto

PERSIANN-CDR, uma tendência de encurtamento da estação chuvosa na porção sul da Amazônia legal nos domínios da bacia do Araguaia entre 1983 e 2014. Highlab et al. (2020) confirmam essa tendência ao analisar dados diários do programa CHIRPS entre 1982 a 2018, indicando também que para a mesma região tem o maior quantitativo de dias secos, e maiores tendências a extremos de estiagem.

Marengo et al. (2022) identificaram tendências negativas na dinâmica de precipitação na zona de transição entre biomas na Amazônia Oriental e Cerrado, associadas a períodos de seca mais prolongados e aumento do estresse hídrico. Os dados de Bettiol (2021) também mostram uma tendência negativa na precipitação em grande parte da bacia do rio Javaés e na ilha do Bananal entre 2000 e 2019, principalmente com episódios de estiagem em dezembro.

Essas pesquisas estão relacionadas com estudos no rio Javaés por Santos e Cherem (2021), que avaliaram a precipitação e vazão desse rio em relação ao comportamento médio mensal do rio Araguaia entre 1984 e 2020. Essa pesquisa identificou tendências de redução da precipitação acumulada mensal nos dois rios entre janeiro e junho, corroborando com um comportamento regional de intensificação dos períodos de estiagem, com redução na vazão nos meses de junho, julho, agosto, outubro e novembro, período analisado no mapeamento de barras.

4.2 Influências das atividades antrópicas nos sistemas fluviais

A América do Sul passou por uma intensa conversão de áreas naturais em ambientes antrópicos, totalizando cerca de 60% entre 1985 e 2020 (ZALLES et al., 2021). Esta região possui algumas das maiores bacias hidrográficas do mundo, que drenam diferentes ambientes geomorfológicos e abrigam uma grande diversidade ambiental e endemismo (LATRUBESSE; STEVAUX; SINHA, 2005; PELICICE et al., 2021). No centro-oeste brasileiro, em contato com o sudoeste da Amazônia legal, a dinâmica do uso e ocupação da terra tem gerado impactos significativos nos sistemas fluviais. Fatores como desmatamento (BAYER et al., 2020; CASTRO, 2005; HUNKE et al., 2015; SANTANA et al., 2007), expansão de pastagens, agricultura extensiva e a construção de barragens têm sido apontados como estressores ambientais nessa região (LATRUBESSE et al., 2019; GOMES et al., 2021; PELICICE et al., 2021; MARTINS et al., 2021).

Na bacia do rio Araguaia, mapeamentos têm quantificado a dinâmica geomorfológica e identificado associações entre atividades antrópicas e mudanças no canal fluvial (BAYER, 2002; FERREIRA et al., 2016; LATRUBESSE et al., 2009; LATRUBESSE; STEVAUX, 2002; MORAIS, 2006). Entre 1960 e 2000, houve aumento no aporte de sedimentos relacionado ao desmatamento na bacia, levando a um regime de entrelaçamento de canais e aumento de ilhas (MORAIS, 2006; FERREIRA et al., 2008; LATRUBESSE et al., 2009; COE et al., 2011; BAYER et al., 2020). Suizu et al. (2022; 2023) destacam uma mudança nessa tendência de entrelaçamento do canal, indicando que, entre 2001 e 2018, ocorreu redução de barras arenosas e um aumento de ilhas vegetadas.

As mudanças na margem oeste do rio Javaés resultam da dinâmica econômica do país, tornando a região estrategicamente importante para a modernização agrícola (RADAMBRASIL, 1981; SILVA, 2000). Grandes polos de irrigação foram implementados por programas governamentais, como o Programa de Cooperação Nipo-Brasileira para o Desenvolvimento dos Cerrados (PRODECER), o Programa de Desenvolvimento do Sudoeste do Estado do Tocantins (Prodoeste), e a inclusão da área na região de interesse agroindustrial MATOPIBA (ALVES, 2020; BLANCO et al., 2022; MORAIS; JÚNIOR; MENEZES MARTINS, 2017). Esses fatores econômicos permitiram expandir ao longo do tempo a produção de *commodities* agrícolas, controlando as dinâmicas de inundação natural e da vazão dos rios da região. A construção de barragens, canais artificiais e captação intensiva de água para irrigação durante estação seca possibilitaram o cultivo intenso, mas também resultaram em déficit hídrico, redução da conectividade longitudinal e lateral entre as planícies e os rios da região (SANTOS; CHEREM, 2021).

A escassez hídrica na região tem sido relatada pela mídia, com atividades agrícolas intensificadas durante as secas anuais, levantando a possibilidade de que o uso agrícola intenso durante os períodos críticos possa reduzir a disponibilidade de água e causar mudanças irreversíveis nos sistemas fluviais da região da ilha do Bananal (FLEISCHMANN et al., 2017). Análises sobre o uso da água nos tributários do rio Javaés indicam que 72% dos empreendimentos de irrigação utilizam a água do sistema durante o período de maior criticidade hidrológica e climática (FAGUNDES, 2021).

Os dados históricos de mapeamento do uso e cobertura da terra do projeto MAPBIOMAS (coleção 7) (SOUZA et al., 2020) revelam as mudanças ambientais na região do rio Javaés. Uma consulta aos dados dessa base é apresentada nos gráficos da Figura 10, com recorte de área para a zona de influência do rio Javaés (29.775 km²) definida por Santos e Cherem (2021). A área desmatada teve uma redução no final da década de 1980 e um

aumento significativo na década de 1990, atingindo o pico em 2004 (Figura 10A). O desmatamento secundário continuou a crescer até 2013, enquanto o desmatamento total atingiu seu pico em 2013, seguido por uma tendência de queda nos últimos anos. A APA Ilha do Bananal foi identificada como a unidade de conservação da região com o maior aumento de desmatamento na última década no Brasil (BLANCO et al., 2022).

A série histórica de áreas úmidas entre 1985 e 2021 (Figura 10B) mostra variações, com uma tendência de redução, fases de estabilidade e um aumento em 2011. Essas áreas correspondem aos planos de inundações com fluxo impedido, ou com drenagem deficitária (BRAZIL, 1981; IBGE, 2007a; IRON et al., 2016). Durante a estação chuvosa, elas são sazonalmente inundadas ou saturadas (SANTOS; CHEREM, 2021) e apresentam fitofisionomias herbáceas associadas a áreas úmidas e vegetação arbórea associada ao Parque Cerrado e Palmeiral (DURIGAN et al., 2022). As ipucas são feições típicas entre essas áreas úmidas do médio Araguaia, e possuem uma topografia distinta dos planos de inundações com posição deprimida e forma semicircular (MANCHOLA; MORAIS, 2023). As ipucas são ocupadas por fragmentos florestais de vegetação hidrófila e de porte herbáceo higrófila (MARTINS et al., 2006). Concentram os excedentes da inundações naturais, podendo conectar os fluxos das planícies com sistemas fluviais intermitentes ou a superfície com a subsuperfícies através de sumidouros (IRON et al., 2016).

Conforme as Figuras 10A e 10C, a expansão das áreas de irrigação ocorre pela redução progressiva das áreas úmidas. De 1985 a 2020, as áreas de irrigação aumentaram 13 vezes, com uma taxa média anual de crescimento de 6,64%. Essa expansão apresenta duas tendências distintas: um aumento até 2000, com pico em 347 km², seguido por uma queda em 2002 e um novo aumento a partir de 2003, alcançando um novo pico em 2019, com 877 km². Além disso, a vazão média anual da estação Barreira da Cruz apresentou uma tendência de redução ao longo dos anos, apesar de flutuações anuais. Essa redução pode ser atribuída ao aumento da área de irrigação, que afeta a disponibilidade de água nos rios, mas também pode ser resultado de mudanças na dinâmica das chuvas e do aumento do aporte sedimentar que reduz a profundidade do canal.

Os anos de 2016 e 2017 apresentam os menores indicadores médios de vazão ao longo da série histórica do rio Javaés, com uma redução de áreas de massas de água e aumento na área de sedimentação. A seca hidrológica foi agravada pela demanda aumentada durante os períodos secos, levando à suspensão temporária da captação de água dos afluentes e do rio Javaés, e à instalação do primeiro sistema de monitoramento em tempo real da captação de água em um rio para irrigação no Brasil (FLEISCHMANN et al., 2017). Análises hidrológicas indicam que os sistemas de irrigação na região têm um impacto significativo no balanço hídrico dos tributários do rio Javaés e mostram que os sistemas de captação e distribuição nas planícies são ineficientes, resultando em desperdício de água e maior pressão sobre os rios (VOLKEN et al., 2022). Esses modelos sugerem que uma redução de 35% no volume de água utilizado nas lavouras seria necessária para evitar uma ampliação da intermitência devido às atividades humanas.

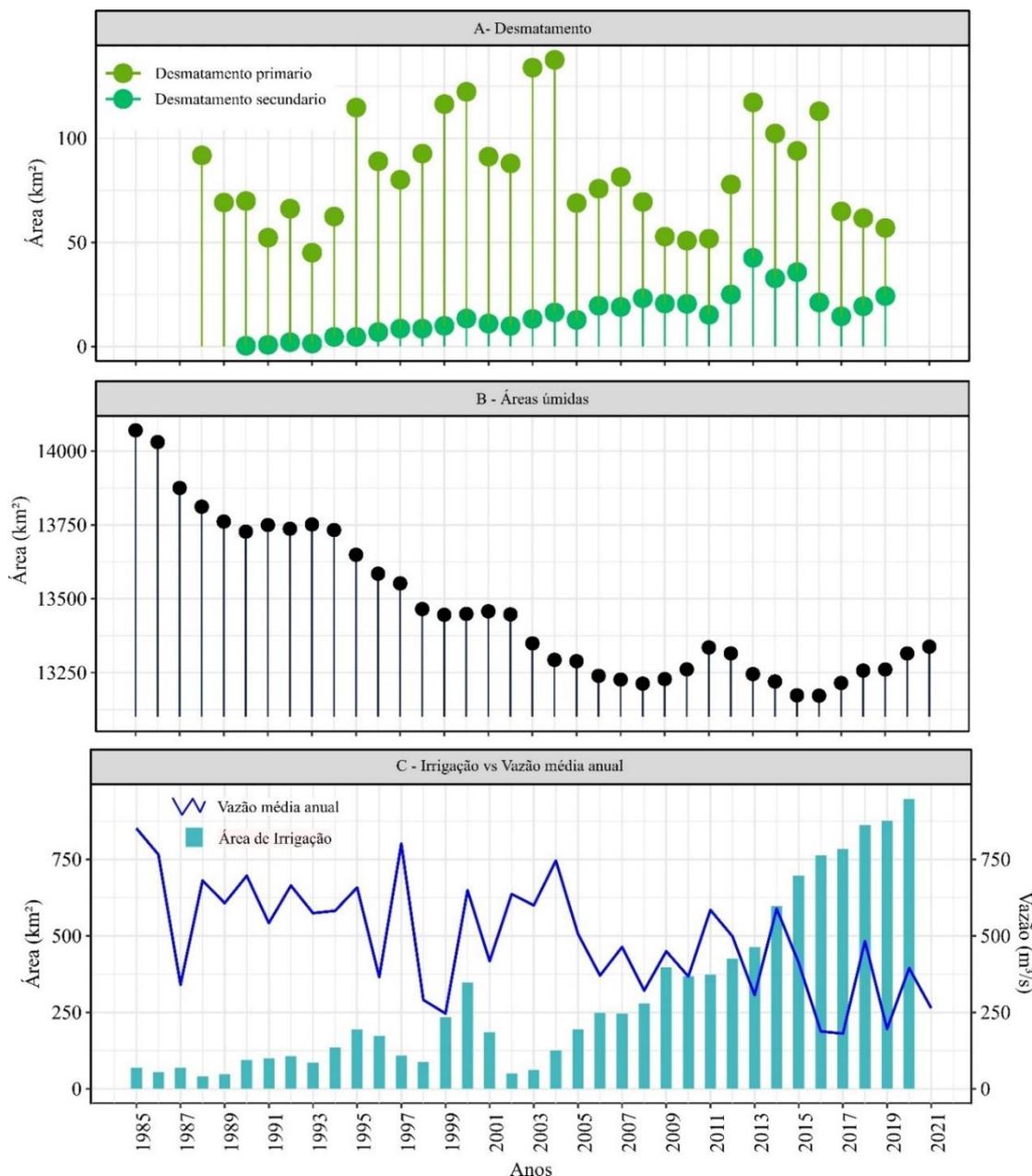


Figura 10. Séries históricas com classes de uso e cobertura da Terra na zona deposicional do rio Javaés, além da vazão média anual. A) Área de desmatamento B) Área úmida; C) Área de irrigação e vazão média anual da estação Barreira da Cruz. Fonte: Dados de vazão da estação Barreira da Cruz no rio Javaés (ANA, 2023) e dados de desmatamento, áreas úmidas e irrigação do MapBiomas (SOUZA et al., 2020).

4.3 Controle estrutural sobre a migração lateral

O rio Javaés, principal afluente do médio Araguaia, possui trechos de canal meandrante simples e trechos multicanais com ilhas vegetadas (AQUINO; LATRUBESSE; SOUZA FILHO, 2008; VALENTE; LATRUBESSE; FERREIRA, 2013). Desenvolvido na zona deposicional a partir da reativação de paleocanais, o rio Javaés foi influenciado pelas fases deposicionais da Bacia Sedimentar do Bananal (VALENTE; LATRUBESSE; FERREIRA, 2013). A rede de drenagem também é afetada por falhas normais e de rejeito, que resultam em curvas abruptas entre rios que atravessam a bacia sedimentar de S para N (SANTOS; MORAIS, 2017; VALENTE; LATRUBESSE; FERREIRA, 2013). Esse paralelismo é observado na mudança de direção dos trechos os B, C, F, I (Figura 7), com correspondência espacial em outros rios desenvolvidos na ilha do Bananal (SUIZU; LATRUBESSE; BAYER, 2023).

Os dados do balanço de área do canal indicaram baixas taxas na migração lateral em 37 anos, apesar do aumento do aporte sedimentar. A planície de inundação do rio Javaés é bem desenvolvida e apresenta registros

morfosedimentares, como paleocanais e paleodiques, que aglutinados e conectados formam um eixo longitudinal com alta conectividade lateral com o rio Javaés (IRON et al., 2016; SANTOS; CHEREM, 2021). Entre os trechos I e M, foram identificados sistemas de canais secundários que conectam o rio à planície, atenuando as cheias e promovendo intercâmbio entre lagos da região do Cantão e da ponta norte da ilha do Bananal (Figuras 1, 11A e 12C).

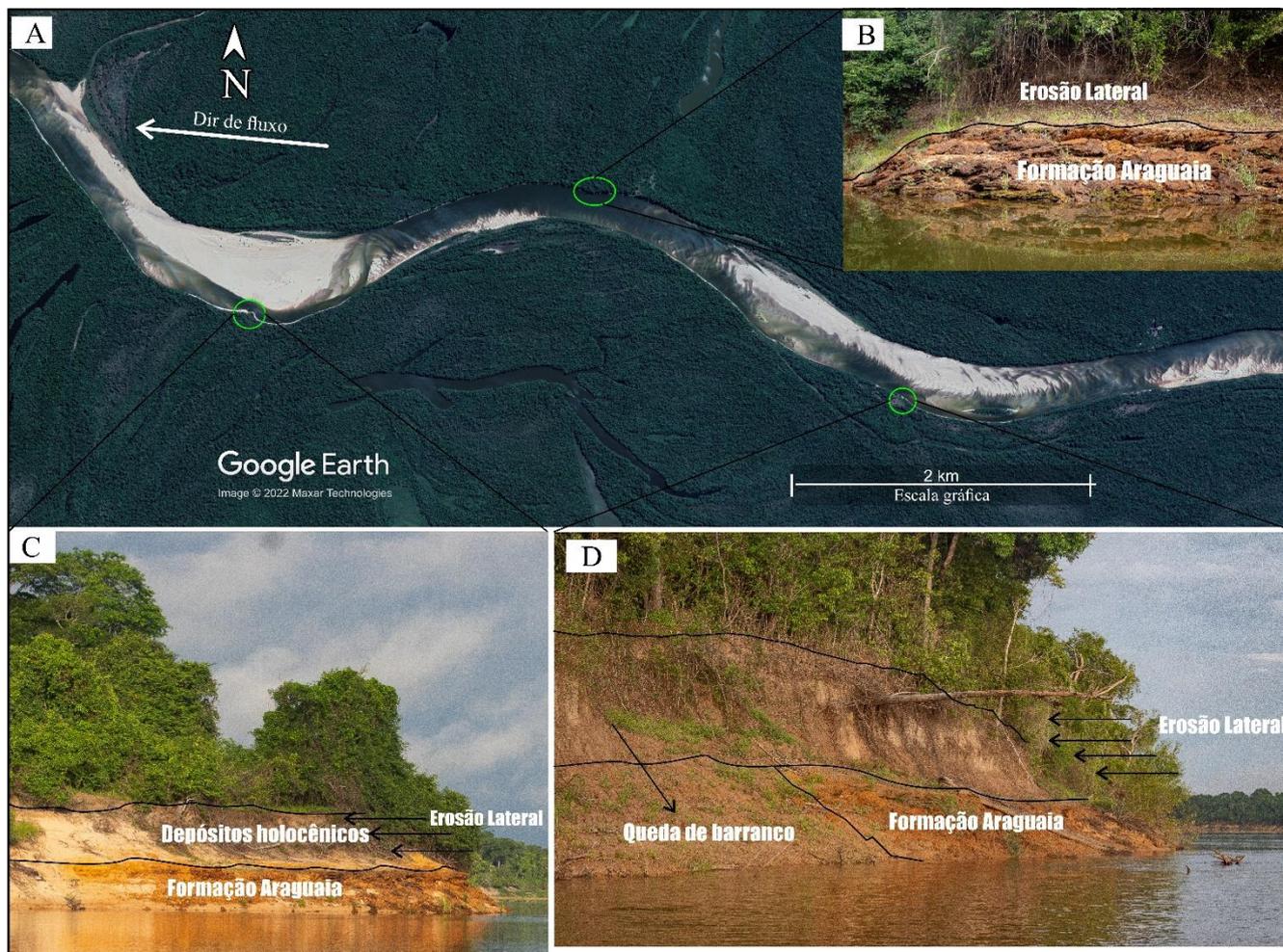


Figura 11. Localização de pontos que indicam controle das fácies deposicionais da Formação Araguaia sobre o recuo lateral das margens e orientação do rio Javaés. Fonte: imagem de satélite de 07 jun de 2017 (GOOGLE EARTH PRO, 2022) e imagens de campo (SANTOS, 2023).

A partir da análise Mendes et al. (2015), que coletaram testemunhos de sedimentos e pólenes em um lago do rio Javaés no trecho I, observa-se que em 950 anos as taxas de deposição oscilaram entre condições lacustres e de regime de canal. Autores como Suizu, Latrubesse e Bayer (2023) destacam o papel da formação Araguaia/Banal na redução das taxas de migração lateral dos rios na região do médio Araguaia. A análise dos depósitos no rio Formoso, principal tributário do Javaés, revela um confinamento e modelamento dos padrões canais, impondo menor sinuosidade (SANTOS, 2016).

A Figura 11 mostra o semi-confinamento de trechos dos canais do rio Javaés observado em campo. Os barrancos apresentam fácies de deposição plesitocênica, com depósitos arenosos lateríticos (Qag1), constituídos por material siltico-argiloso com estratificação cruzada e níveis de laterização, e os depósitos arenosos (Qag2), com variação de tons entre amarelo, branco e cinza, associada a dinâmica fluvio-lacuste. A fácies Qag1 ocorre na margem direita do Javaés (IBGE, 2007b), confinando partes do canal entre os trechos A e I, enquanto a fácies Qag2 compõem os planos de inundação da ilha do Bananal e margeia a porção esquerda do rio Javaés entre os trechos A e D. Os trechos I, K e L apresentam ruptura do controle de paleodiques, gerando um sistema de maior sinuosidade devido às linhas de falhas de rejeito (IBGE, 2007b; STROPPER; MARTINS; FRASCA, 2014).

Conforme a Figura 11 e 12B, nota-se que “pontais” são morfologias residuais associadas à formação Araguaia, que segmentam a linha da margem de erosão e podem reduzir a eficiência do fluxo do canal. Durante a temporada de chuva, os barrancos são erodidos pelos fluxos iniciais que se deslocam em direção ao canal (SANTOS; CHEREM, 2021), formando sulcos e ravinas (Figura 12A). Com a elevação do nível das águas, os “pontais” da formação Araguaia/Bananal são exumados nas margens de erosão, são expostos nas margens de erosão, com a remoção anual dos estratos superiores (Figuras 11C e 12B e 12D). A erosão lateral dos depósitos holocênicos desestabiliza as raízes das árvores, resultando em queda de bloco (Figura 11D e 12D). A base lateralizada mantém as dimensões do leito menor, conferindo aos barrancos um aspecto prismático (MENDES, 2019).

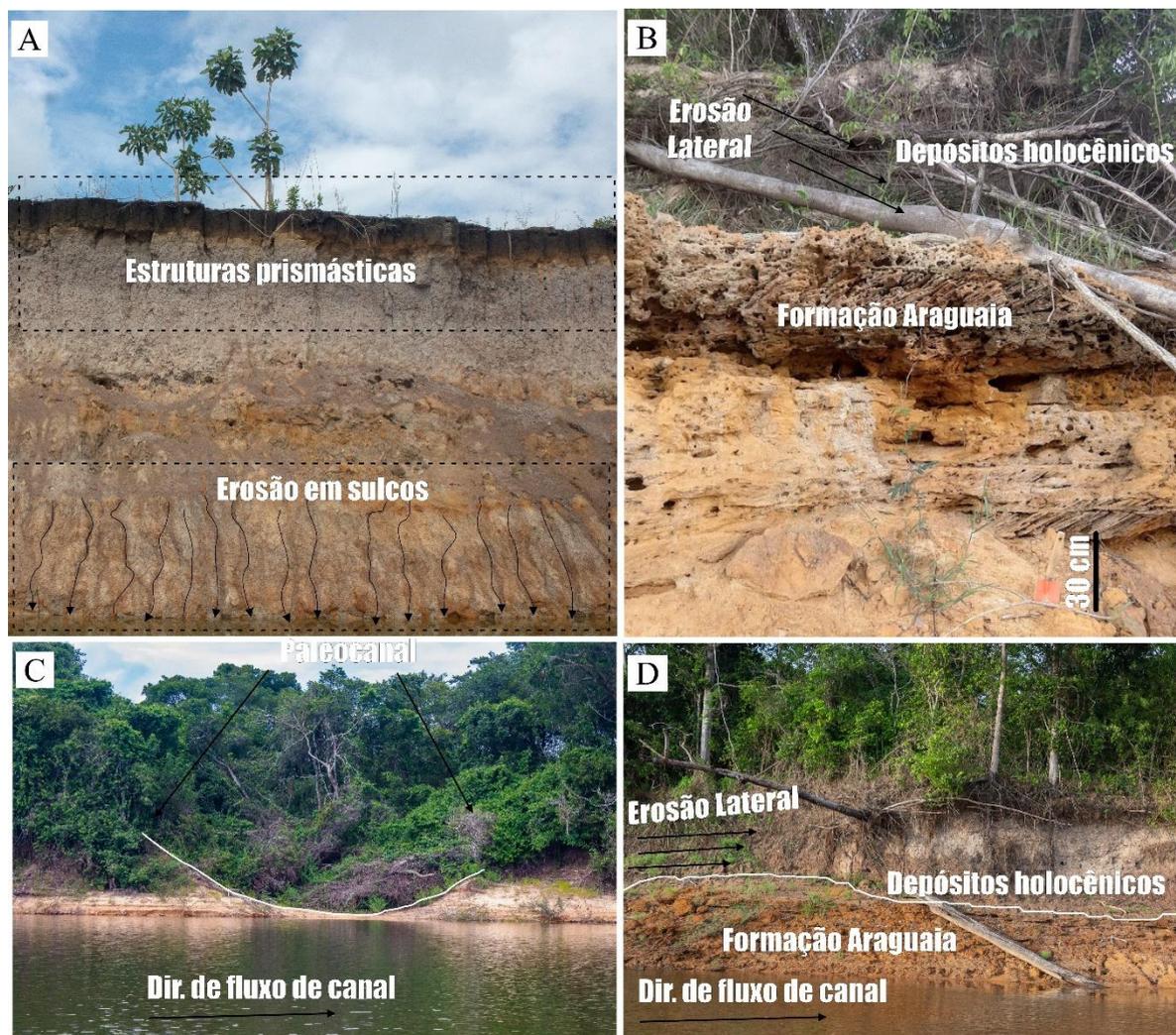


Figura 12. Registros de campo de processos fluviais no rio Javaés. A) Barranco do rio Javaés no trecho K, com estruturas prismáticas e erosão vertical da margem. B) Afloramento da Formação Araguaia devido à erosão lateral. C) Conexão de um paleocanal com o rio Javaés. D) Erosão lateral com retirada de depósitos holocênicos e desestabilização de árvores nas margens. Fonte: Santos (2023).

A análise dos resultados de feições do rio Javaés revela comportamentos diversificados ao longo do tempo. As barras em pontal e barras laterais representam os maiores percentuais anuais de área deposicional no canal (Tabela 2 e Figura 9). Nota-se que esse percentual é inversamente relacionado à tendência de área e frequência das ilhas.

As barras laterais estão posicionadas paralelamente às margens do canal, concentradas nos trechos A, B, D, F, G e H (Figura 7). Esses trechos também apresentam diferenças espaciais significativas de área depositada entre 1985 e 2021 (Figuras 5, 7 e 8), bem como os menores valores de sinuosidade (entre 1,1 e 1,3). A sinuosidade é considerada uma característica condicionante dos padrões de canais e das feições deposicionais correlatas (CHRISTOFOLETTI, 1981; SCHUMM, 1963). Uma maior sinuosidade pode reduzir a velocidade das correntes de

água, aumentar a área transversal e favorecer a deposição e erosão das margens (SCHUMM, 1985). Entretanto, também é observado que a permanência da alternância de barras laterais pode aumentar a sinuosidade do talvegue do canal e modificar o padrão de barras (STEVAUX, LATRUBESSE, 2017).

Por outro lado, as barras em pontal estão correlacionadas com trechos mais sinuosos (Figuras 7 e 8). Também é possível destacar que nestas sessões o controle estrutural pode ser inferido pelo arranjo regional de lineamentos (SANTOS; MORAIS, 2017), que impõe mudanças abruptas da direção dos trechos C, F, I e K (Figura 7). Nestas seções, as barras em pontal apresentam gradientes suaves e podem ser incorporadas mais facilmente à planície de inundação, devido a uma menor diferença entre as margens e maior presença de material silte-argiloso, geralmente associadas às espiras de meandros (MONEGAGLIA et al., 2018).

As barras centrais são mais recorrentes nos segmentos a sul do canal, com dimensões médias e medianas de área inferiores aos outros grupos, apresentando alta variabilidade temporal na frequência anual. Essas feições são comumente observadas em sistemas de rios entrelaçados (SCHUMM, 1963), e podem ser originadas por processos que combinam fases de erosão e deposição, como o escoamento do leito com escavação de poços e posterior deposição perdendo competência, ou erosão de margem em barras laterais ou barras em pontal durante cheias, desconectando o material da margem (STEVAUX; LATRUBESSE, 2017). As tendências desse grupo no rio Javaés divergem do comportamento observado no rio Araguaia, em mapeamentos também baseados em imagens da série LANDSAT, onde identificou-se acréscimos lineares na frequência desses grupos entre 2009 e 2018 (SUIZU et al., 2022; 2023).

4.4 Influências na conectividade fluvial e dinâmica ecogeomorfológica

O aumento da área de barras arenosas pode afetar a conectividade dos sistemas fluviais e a dinâmica ecogeomorfológica de espécies adaptadas a regimes hidroclimáticos e hidrogemorfológicos (LENHART; NABER; NIEBER, 2013). Quando as barras aumentam em tamanho, podem obstruir o fluxo de água, reduzir a profundidade do canal e impedir a circulação de peixes e outros organismos aquáticos (FERREIRA JÚNIOR; CASTRO, 2003; SIMONCINI et al., 2022). Além disso, o aumento das barras indica maior erosão a montante, alterações na dinâmica das cheias e secas e impactos na qualidade da água, prejudicando a saúde dos ecossistemas aquáticos e a conservação da biodiversidade (RESTREPO; KETTNER; SYVITSKI, 2015).

Neste sentido, a mobilidade das barras arenosas, medidas neste estudo, pode ser um importante indicador ambiental, considerando também a dinâmica ecológica. Estudos ecogeomorfológicos na região amazônica e no entorno da Ilha do Bananal destacam a importância dessas feições na reprodução de tartarugas. Por exemplo, Tracajás (*Podocnemis unifilis*) ocupam partes inferiores das praias, em regiões de dunas de pequeno e médio porte, onde a textura sedimentar é grosseira devido às vazões elevadas durante os períodos de chuva (ALHO; PÁDUA, 1982; CASTRO; FERREIRA JUNIOR, 2022). Já a Tartaruga da Amazônia (*Podocnemis expansa*) prefere as seções mais elevadas das barras, protegidas de cheias e com granulometria fina.

Ferreira Junior e Castro (2003, 2010) mapearam as barras arenosas entre os trechos I e M e analisaram a nidificação de tartarugas entre 2000 e 2001. Os resultados mostraram que o sucesso de eclosão dos ovos está relacionado à granulometria da areia, com maiores taxas de sucesso em praias com granulometria fina. No entanto, as taxas de nidificação e eclosão foram afetadas de forma diferente pelo nível do rio nos dois anos analisados. Em 2000, houve uma seca prolongada que se aproximou da média histórica (1977-2000), mas ocorreu uma elevação intensa e rápida do nível de água durante cerca de 30 dias. Em 2001, a cota 0 foi atingida mais cedo do que o previsto na média histórica, e o nível do rio subiu precocemente. Estes estudos também observaram que variações na vazão podem afetar a umidade e a temperatura das barras arenosas, o que pode impactar as populações desses animais ectotérmicos. Esse cenário é ainda mais preocupante em um contexto de mudanças climáticas, pois eventos climáticos extremos podem se tornar mais frequentes e afetar a sobrevivência dessas espécies, além da acentuação do déficit hídrico pelas atividades humanas.

5. Conclusões

O trabalho avaliou as configurações morfológicas bidimensionais de um rio multicanal no contexto marginal da maior ilha fluvial do mundo, a Ilha do Bananal. A estratégia de compor mosaicos anuais pela mediana das imagens no período de menor variação da cota hidrométrica foi útil para o mapeamento anual e cálculo das áreas de barras arenosas e massas d'água entre 1985 e 2021. Foi observado um aumento significativo no aporte sedimentar por barras arenosas, o que resultou em uma maior deposição de sedimentos ao longo da calha fluvial.

A análise das áreas de barras anuais por segmentos ao longo da área de estudo revelou comportamentos distintos. Houve maior deposição e variação da área de barras arenosas à montante, em setores com maior uso antrópico da terra, e estabilidade a jusante, que correspondem às áreas mais bem preservadas. Por outro lado, embora a taxa anual de acréscimo das barras arenosas tenha aumentado ao longo dos anos, a taxa anual de mobilidade dessas barras está diminuindo. Isso indica que o equilíbrio de área está consolidando barras arenosas com maior área, sobretudo barras laterais, o que pode resultar em maior sinuosidade nos trechos do rio Javaés analisado.

É constatada a redução das massas de água no período analisado, e conseqüentemente da vazão, do rio Javaés. Essa redução é atribuída a um conjunto de fatores, incluindo mudanças na distribuição espacial e volume da precipitação regional no sudoeste da Amazônia e no Cerrado, que resultam em reduções anuais significativas na vazão do rio. Além do aumento intenso de atividades antrópicas na região durante o mesmo período analisado. Isso é acentuado pelo uso intenso de irrigação. A transferência de água para as áreas agrícolas modificadas pela irrigação intensiva contribui para o déficit hídrico na região, desencadeando um efeito cascata negativo que resulta em aumento da sedimentação no rio e degradação dos ecossistemas aquáticos. Portanto, as mudanças nos padrões de precipitação, juntamente com a expansão da ocupação das áreas úmidas convertidas em pastagens e áreas de irrigação, são os principais fatores ambientais que afetam a região do médio Araguaia e têm impacto direto sobre a dinâmica do rio Javaés, afetando seu equilíbrio morfossedimentar e conectividade fluvial.

Contribuições dos Autores: Concepção, D.A.R.S.; metodologia, D.A.R.S. e É.H.C.; software, D.A.R.S. e É.H.C.; validação, D.A.R.S. e É.H.C.; análise formal, D.A.R.S., É.H.C. e L.F.S.C.; pesquisa, D.A.R.S., É.H.C. e L.F.S.C.; recursos, É.H.C. e L.F.S.C.; preparação de dados, D.A.R.S.; escrita do artigo, D.A.R.S., É.H.C. e L.F.S.C.; revisão, É.H.C. e L.F.S.C.; supervisão, É.H.C. e L.F.S.C. Todos os autores leram e concordaram com a versão publicada do manuscrito

Financiamento: É.H.C. é pesquisador do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq (#310198/2022-4).

Agradecimentos: Os autores agradecem à “Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil” (CAPES) pela bolsa de doutorado concedida ao primeiro.

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

Referências

1. AGNIHOTRI, A. K.; OHRI, A.; MISHRA, S. Channel planform dynamics of lower Ramganga River, Ganga basin, GIS and remote sensing analyses. **Geocarto International**, v. 35, n. 9, p. 934–953, 2020. DOI: 10.1080/10106049.2018.1552323
2. AGUDELO, J.; ARIAS, P.A.; VIEIRA, S.C.; MARTÍNEZ, A. Influence of longer dry seasons in the Southern Amazon on patterns of water vapor transport over northern South America and the Caribbean. **Climate Dynamics**, v. 52, n. 5, p. 2647–2665, 2019. DOI: 10.1007/s00382-018-4285-1
3. ALHO, C. J. R.; PÁDUA, L. F. M. Sincronia entre o regime de vazante do rio e o comportamento de nidificação da tartaruga da Amazônia Podocnemis expansa (Testudinata: Pelomedusidae). **Acta Amazonica**, v. 12, n. 2, p. 323–326, 1982. DOI: 10.1590/1809-43921982122323
4. ALVES, V. E. L. Expansão do Agronegócio e os Impactos Socioambientais na Região de Cerrados do Centro-Norte do Brasil (MATOPIBA). **Confins**, n. 45, 2020. DOI: 10.4000/confins.28049
5. ANACHE, J. A. A.; WENDLAND, E.; ROSALEM, L. M. P.; YOULTON, C.; OLIVEIRA, P. T. S. Hydrological trade-offs due to different land covers and land uses in the Brazilian Cerrado. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 23, n. 3, p. 1263–1279, 2019. DOI: 10.5194/hess-23-1263-2019
6. AQUINO, S.; LATRUBESSE, E. M.; SOUZA FILHO, E. E. Relações entre o regime hidrológico e os ecossistemas aquáticos da planície aluvial do rio Araguaia. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, v. 30, n. 4, p. 361–369, 2008. DOI: 10.4025/actascibiolsci.v30i4.5866

7. ARVOR, D.; FUNATSU, B.M.; MICHOT, V.; DUBREUIL, V. Monitoring Rainfall Patterns in the Southern Amazon with PERSIANN-CDR Data: Long-Term Characteristics and Trends. **Remote Sensing**, v. 9, n. 9, p. 889, 2017. DOI: 10.3390/rs9090889
8. BARROS, L. F. DE P.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. P.; COTA, G. E. M. Morfogênese fluvial. Em: **Hidrogeomorfologia: Formas, processos e registros sedimentares fluviais**. Rio de Janeiro: Antônio Pereira Magalhães Júnior; Luiz Fernando de Paula Barros, v. 1p. 121–161, 2020.
9. BAYER, M. **Diagnóstico dos processos de erosão/assoreamento na planície aluvial do rio Araguaia: entre Barra do Garças e Cocalinho**. 2002. p.138. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Estudos Sócio-Ambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia.2002.
10. BAYER, M.; ASSIS, P.C.; SUIZU, T. M.; GOMES, M. C. Mudança no uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio Araguaia e seus reflexos nos recursos hídricos, o trecho médio do rio Araguaia em Goiás. **Confins**, n. 48, 2020. DOI: 10.4000/confins.33972
11. BETTIOL, G. M. **Conformidade entre dados biofísicos orbitais e terrestres para o zoneamento agroclimático, identificação espaço-temporal de tendências de precipitação e suas relações com uso e cobertura da terra no bioma cerrado**. 2021. 199 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2021.
12. BLANCO, L. S.; PORTELLA, D. A. P. DA C.; SANTOS, J. L. A.; BARBOSA, S. C. O.; DIAS, J. L. R. O projeto de modernização brasileira e suas consequências socioambientais no Matopiba. **Boletim Paulista de Geografia**, v. 1, n. 107, p. 121–136, 2022.
13. BOOTHROYD, R. J.; WILLIAMS, R. D.; HOEY, T. B.; BARRETT, B.; PRASOJO, O. A. Applications of Google Earth Engine in fluvial geomorphology for detecting river channel change. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Water**, v. 8, n. 1, p. e21496, 2021. DOI: 10.1002/wat2.1496
14. BORMA, L. S. et al. Atmosphere and hydrological controls of the evapotranspiration over a floodplain forest in the Bananal Island region, Amazonia. **Journal of Geophysical Research: Biogeosciences**, v. 114, n. G1, p. 1003, 2009. DOI: 10.1029/2007JG000641
15. BORRA, S.; THANKI, R.; DEY, N. **Satellite Image Analysis: Clustering and Classification**. Singapore: Springer Singapore, 2019.
16. BREIMAN, L. Random forests. **Machine Learning**, v. 45, n. 1, p. 5–32, 2001. DOI: 10.1023/A:1010933404324
17. BRIERLEY, G.; FRYIRS, K. A. **Geomorphology and River Management. Applications of the River Styles Framework**. 1. ed. Oxford: Blackwell Science, 2005.
18. CAMPOS, J. O.; CHAVES, H. M. L. Tendências e Variabilidades nas Séries Históricas de Precipitação Mensal e Anual no Bioma Cerrado no Período 1977-2010. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, n. 1, p. 157–169, 2020. DOI: 10.1590/0102-7786351019
19. CARLING, P. A. et al. Are equilibrium multichannel networks predictable? The case of the regulated Indus River, Pakistan. **Geomorphology**, v. 302, p. 20–34, 2018. DOI: 10.1016/j.geomorph.2017.09.021
20. CASTRO, P. de T. A.; FERREIRA JÚNIOR, P. D. Caracterização ecogeomorfológica das áreas de desova de quelônios de água doce (gênero podocnemis) no entorno da Ilha do Bananal, Rio Araguaia. **Revista Geografias**, v. 4, n. 2, p. 15–22, 2022. DOI: 10.35699/2237-549X.13247.
21. CASTRO, S. S. Erosão hídrica na alta bacia do rio Araguaia: distribuição, condicionantes, origem e dinâmica atual. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 17, p. 38–60, 2005. DOI: 10.7154/RDG.2005.0017.0004
22. CASTRO, W. S.; CAMPOS, A. B.; ZANCOPÉ, M. H. C. A influência dos materiais das margens e da vegetação ciliar na erosão de meandros: o caso do rio Claro, afluente do rio Araguaia. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 20, n. 3, p. 623–640, 2019. DOI: 10.20502/rbg.v20i3.1584
23. CHARLTON, R. **Fundamentals of fluvial geomorphology**. 1. ed. London: Routledge, 2008.
24. CHEN, C.-N.; TFWALA, S. S.; TSAI, C.-H. Climate Change Impacts on Soil Erosion and Sediment Yield in a Watershed. **Water**, v. 12, n. 8, p. 2247, 2020. DOI: 10.3390/w12082247
25. CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia fluvial**. São Paulo: E. Blücher, 1981. v. 1
26. COE, M. T.; BRANDO, P.M.; DEEGAN, L.A.; MACEDO, M.N.; NEILL, C.; SILVÉRIO, D.V. The Forests of the Amazon and Cerrado Moderate Regional Climate and Are the Key to the Future. **Tropical Conservation Science**, v. 10, 2017. DOI: 10.1177/1940082917720671
27. COE, M. T.; LATRUBESSE, E.M.; FERREIRA, M.E.; AMSLER, M. L. The effects of deforestation and climate variability on the streamflow of the Araguaia River, Brazil. **Biogeochemistry**, v. 105, n. 1, p. 119–131, 2011. DOI: 10.1007/s10533-011-9582-2
28. DE HIPT, F. O. et al. Modeling the impact of climate change on water resources and soil erosion in a tropical catchment in Burkina Faso, West Africa. **Catena**, v. 163, p. 63–77, 2018. DOI: 10.1016/j.catena.2017.11.023

29. DIAS, C. M. et al. Modelling and numerical simulation of the velocity field in the Parque Estadual do Cantão (TO), Brazil. **Mathematical and Computer Modelling**, v. 53, n. 7–8, p. 1575–1581, 2011. DOI: 10.1016/j.mcm.2010.06.021
30. DIODATO, N. et al. The Rise of Climate-Driven Sediment Discharge in the Amazonian River Basin. **Atmosphere**, v. 11, n. 2, p. 208, 2020. DOI: 10.3390/atmos11020208
31. DURIGAN, G. et al. Cerrado wetlands: multiple ecosystems deserving legal protection as a unique and irreplaceable treasure. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 20, n. 3, p. 185–196, 2022. DOI: 10.1016/j.pecon.2022.06.002
32. FAGUNDES, F. **Análise do uso da água para irrigação na bacia hidrográfica do Rio Formoso**. 2021. 83f. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Palmas, 2021.
33. FERREIRA JÚNIOR, P. D.; CASTRO, P. DE T. A. Geological control of *Podocnemis expansa* and *Podocnemis unifilis* nesting areas in Rio Javaés, Bananal Island, Brazil. **Acta Amazonica**, v. 33, n. 3, p. 445–468, 2003. DOI: 10.1590/S0044-59672003000300010
34. FERREIRA JÚNIOR, P. D.; CASTRO, P. DE T. A. Nesting ecology of *Podocnemis expansa* (Schweigger, 1812) and *Podocnemis unifilis* (Troschel, 1848) (Testudines, Podocnemididae) in the Javaés River, Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 70, p. 85–94, 2010. DOI: 10.1590/S1519-69842010000100012
35. FERREIRA, M. E.; FERREIRA, L. G.; LATRUBESSE, E. M.; MIZIARA, F. High resolution remote sensing based quantification of the remnant vegetation cover in the Araguaia river basin, central Brazil. **International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)**, v. 4, n. 1, 2008. DOI: 10.1109/IGARSS.2008.4779828
36. FERREIRA, M. E.; FERREIRA, L. G.; LATRUBESSE, E. M.; MIZIARA, F. Considerations about the land use and conversion trends in the savanna environments of Central Brazil under a geomorphological perspective. **Journal of Land Use Science**, v. 11, n. 1, p. 33–47, 2016. DOI: 10.1080/1747423X.2013.845613
37. FIENER, P.; NEUHAUS, P.; BOTSCHKE, J. Long-term trends in rainfall erosivity—analysis of high resolution precipitation time series (1937–2007) from Western Germany. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 171–172, p. 115–123, 2013. DOI: 10.1016/j.agrformet.2012.11.011
38. FLEISCHMANN, A. S. et al. Avaliação da seca de 2016 do Rio Javaés (bacia do Rio Araguaia) com uso de dados de múltiplos satélites. **Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, p. 5033–5040, 2017.
39. FRAGAL, E.H.; CREMON, É. H. Catalogação de imagens orbitais a partir da cobertura de nuvem e nível fluviométrico do Alto rio Paraná. **Boletim de Geografia**, v. 30, n. 3, p. 173-179, 2012. DOI: <https://doi.org/10.4025/bolgeogr.v30i3.17415>
40. FRYIRS, K. A.; BRIERLEY, G. J. **Geomorphologic Analysis of River Systems**. Chichester, UK: Wiley-Blackwell, 2012.
41. FUNATSU, B. M. et al. Assessing precipitation extremes (1981–2018) and deep convective activity (2002–2018) in the Amazon region with CHIRPS and AMSU data. **Climate Dynamics**, v. 57, n. 3, p. 827–849, 2021. DOI: 10.1007/s00382-021-05742-8
42. GILVEAR, D. J.; WINTERBOTTOM, S. J. Channel change and flood events since 1783 on the regulated river tay, Scotland: Implications for flood hazard management. **Regulated Rivers: Research & Management**, v. 7, n. 3, p. 247–260, 1992. DOI: 10.1002/rrr.3450070304
43. GOMES, D. J. C. et al. Flow variability in the Araguaia River Hydrographic Basin influenced by precipitation in extreme years and deforestation. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, v. 57, n. 3, p. 451–466, 2022. DOI: 10.5327/Z2176-94781358
44. GOMES, D. J. C. et al. Vulnerabilidade à erosão hídrica do solo, bacia hidrográfica do rio Araguaia. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 2, p. 816–833, 2021. DOI: 10.26848/rbgf.v14.2.p816-833.
45. GOMES, D. J. C.; FERREIRA, N. S.; LIMA, A. M. M. Tendências de variabilidade espaço-temporal pluviométrica na bacia hidrográfica do rio Araguaia. **Enciclopédia Biosfera**, v. 16, n. 29, p. 1421–1433, 30 jun. 2019. DOI: 10.18677/EnciBio_2019A126
46. GOOGLE EARTH PRO. Imagem de satélite do rio Javaés. Captura de tela do Google Earth Pro]. Earth, versão 7.3.6. Disponível em: <https://earth.google.com/web/@-9.9787813,-50.04801066,177.2026793a,2966.85861877d,35y,359.04479747h,0t,0r/data=OgMKATA> Acesso em: 12/12/2022
47. GORELICK, N. et al. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. **Remote Sensing of Environment**, v. 202, p. 18–27, 1 dez. 2017. DOI: 10.1016/j.rse.2017.06.031
48. GRILL, G.; LEHNER, B.; THIEME, M. et al. Mapping the world’s free-flowing rivers. **Nature**, v. 569, n. 7755, p. 215–221, 2019. DOI: 10.1038/s41586-019-1111-9
49. GUIMARÃES, U. S.; NARVAES, I. D. S.; GALO, M. DE L. B. T. Aplicação de dados ERS, Envisat e Sentinel para detecção de mudanças nos ambientes costeiros amazônicos. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 18, n. 2, p. 257–278, 2017. DOI: 10.20502/rbg.v18i2.998

50. GURNELL, A. M.; DOWNWARD, S. R.; JONES, R. Channel planform change on the river dee meanders, 1876–1992. **Regulated Rivers: Research & Management**, v. 9, n. 4, p. 187–204, 1994. DOI: 10.1002/rrr.3450090402
51. HAGHTALAB, N.; MOORE, N., HEERSPINK, B.P. et al. Evaluating spatial patterns in precipitation trends across the Amazon basin driven by land cover and global scale forcings. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 140, n. 1–2, p. 411–427, 2020. DOI: 10.1007/s00704-019-03085-3
52. HOFMANN, G. S. et al. Changes in atmospheric circulation and evapotranspiration are reducing rainfall in the Brazilian Cerrado. **Scientific Reports**, v. 13, n. 1, p. 11236, 2023. DOI: 10.1038/s41598-023-38174-x
53. HOOKE, J. M. An analysis of the processes of river bank erosion. **Journal of Hydrology**, v. 42, n. 1–2, p. 39–62, 1 jun. 1979. DOI: 10.1016/0022-1694(79)90005-2
54. HOOKE, J. M. Magnitude and distribution of rates of river bank erosion. **Earth Surface Processes**, v. 5, n. 2, p. 143–157, 1980. DOI: 10.1002/esp.3760050205
55. HUNKE, P. et al. The Brazilian Cerrado: assessment of water and soil degradation in catchments under intensive agricultural use. **Ecohydrology**, v. 8, n. 6, p. 1154–1180, 2015. DOI: 10.1002/eco.1573
56. IBGE. **Estado do Tocantins: Geologia**. Rio de Janeiro, IBGE: Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 2007b.
57. IBGE. **Estado do Tocantins: Geomorfologia**. Rio de Janeiro, IBGE - Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 2007a.
58. IELPI, A. et al. The impact of vegetation on meandering rivers. **Nature Reviews Earth & Environment**, v. 3, n. 3, p. 165–178, 2022. DOI: 10.1038/s43017-021-00249-6
59. IRION, G.; NUNES, G.M.; NUNES-DA-CUNHA, C. et al. Araguaia river floodplain: size, age, and mineral composition of a large tropical savanna wetland. **Wetlands**, v. 36, p. 945–956, 2016. DOI: 10.1007/s13157-016-0807-y
60. ISIKDOGAN, F.; BOVIK, A.; PASSALACQUA, P. RivaMap: An automated river analysis and mapping engine. **Remote Sensing of Environment**, v. 202, p. 88–97, 2017. DOI: 10.1016/j.rse.2017.03.044
61. LANGHORST, T.; PAVELSKY, T. Global Observations of Riverbank Erosion and Accretion From Landsat Imagery. **Journal of Geophysical Research: Earth Surface**, v. 128, n. 2, e2022JF006774, 2023. DOI: 10.1029/2022JF006774
62. LATRUBESSE, E. M. et al. Fostering water resource governance and conservation in the Brazilian Cerrado biome. **Conservation Science and Practice**, v. 1, n. 9, p. e77, 2019. DOI: 10.1111/csp2.77
63. LATRUBESSE, E. M. et al. The geomorphologic response of a large pristine alluvial river to tremendous deforestation in the South American tropics: The case of the Araguaia River. **Geomorphology**, v. 113, n. 3–4, p. 239–252, 2009. DOI: 10.1016/j.geomorph.2009.03.014
64. LATRUBESSE, E. M. Patterns of anabranching channels: The ultimate end-member adjustment of mega rivers. **Geomorphology**, v. 101, n. 1–2, p. 130–145, 2008. DOI: 10.1016/j.geomorph.2008.05.035
65. LATRUBESSE, E. M.; STEVAUX, J. C. Geomorphology and environmental aspects of the Araguaia Fluvial Basin, Brazil. **Zeitschrift für Geomorphologie**, Supplement Issues, p. 109–127, 2002.
66. LATRUBESSE, E. M.; STEVAUX, J. C.; SINHA, R. Tropical rivers. **Geomorphology**, v. 70, n. 3–4, p. 187–206, 2005. DOI: 10.1016/j.geomorph.2005.02.005
67. LAWLER, D. M. The measurement of river bank erosion and lateral channel change: A review. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 18, n. 9, p. 777–821, 1993. DOI: 10.1002/esp.3290180905
68. LENHART, C.; NABER, J.; NIEBER, J. Impacts of Hydrologic Change on Sandbar Nesting Availability for Riverine Turtles in Eastern Minnesota, USA. **Water**, v. 5, n. 3, p. 1243–1261, 2013. DOI: 10.3390/w5031243
69. LI, H. et al. A Google Earth Engine-enabled software for efficiently generating high-quality user-ready Landsat mosaic images. **Environmental Modelling & Software**, v. 112, p. 16–22, 2019. DOI: 10.1016/j.envsoft.2018.11.004
70. MACHADO, C. A.; DOS SANTOS, D. A. R. Influências do controle estrutural na formação de ilhas e planícies de inundação na represa da Usina Hidrelétrica do Estreito no rio Tocantins, Filadélfia (TO). **Sociedade e Território**, v. 32, n. 2, p. 26–46, 2020. DOI: 10.21680/2177-8396.2020v32n2ID20484
71. MAGALHÃES JÚNIOR, A. P.; BARROS, L. F. DE P. Depósitos fluviais e feições deposicionais. In: **Hidrogeomorfologia: Formas, processos e registros sedimentares fluviais**. Rio de Janeiro: Antônio Pereira Magalhães Júnior; Luiz Fernando de Paula Barros, 2020. v. 1p. 259–278.
72. MANCHOLA, O. E. P.; MORAIS, F. DE. Caracterização morfométrica de feições doliniformes na Planície do Araguaia. **Sociedade & Natureza**, v. 35, n. 1, 2023. DOI: 10.14393/SN-v35-2023-67351
73. MARCUZZO, F. F. ORONHA; ROMERO, V. Influência do El Niño e La Niña na precipitação máxima diária do estado de Goiás. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, p. 429–440, 2013. DOI: 10.1590/S0102-77862013000400009

74. MARENGO, J. A.; JIMENEZ, J. C.; ESPINOZA, J. C. et al. Increased climate pressure on the agricultural frontier in the Eastern Amazonia–Cerrado transition zone. **Scientific Reports**, v. 12, n. 1, p. 457, 2022. DOI: 10.1038/s41598-021-04241-4
75. MARTINS, A. K. E. et al. Relações solo-geoambiente em áreas de ocorrências de Ipucas na planície do Médio Araguaia - Estado de Tocantins. **Revista Árvore**, v. 30, n. 2, p. 297–310, abr. 2006. DOI: 10.1590/S0100-67622006000200017
76. MARTINS, P. R. et al. Terrain units, land use and land cover, and gross primary productivity of the largest fluvial basin in the Brazilian Amazonia/Cerrado ecotone: The Araguaia River basin. **Applied Geography**, v. 127, p. 102379, 2021. DOI: 10.1016/j.apgeog.2020.102379
77. MCLEOD, A. I.; MAINTAINER, A. I. **Package ‘Kendall’**. R Software. London, UK, 2015.
78. MENDES, L. A. DA S. et al. Vegetational changes during the last millennium inferred from a palynological record from the Bananal Island, Tocantins, Brazil. **Acta Amazonica**, v. 45, n. 2, p. 215–230, 2015. DOI: 10.1590/1809-4392201402265
79. MENDES, L. A. S. **Dinâmica da paisagem na porção norte da Ilha do Bananal-TO e adjacências ao longo do Quaternário tardio**. 2019. 130 f. tese (Doutorado em Geologia e Geoquímica) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2019.
80. MONEGAGLIA, F. et al. Automated extraction of meandering river morphodynamics from multitemporal remotely sensed data. **Environmental Modelling & Software**, v. 105, p. 171–186, 2018. DOI: 10.1016/j.envsoft.2018.03.028
81. MORAIS, R. P. **A planície aluvial do médio rio Araguaia: processos geomorfológicos e suas implicações ambientais**. 2006. 178 f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2006. MORAIS, P. B.; JÚNIOR, S. N.; MENEZES MARTINS, I. C. Análise de sustentabilidade do projeto hidroagrícola Javaés/Lagoa, no Estado do Tocantins. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 34, n. 1, p. 83–111, 2017. DOI: 10.35977/0104-1096.cct2017.v34.26297
82. MU, Y.; JONES, C. An observational analysis of precipitation and deforestation age in the Brazilian Legal Amazon. **Atmospheric Research**, v. 271, p. 106122, 2022. DOI: 10.1016/j.atmosres.2022.106122
83. NASCIMENTO, D. T. F.; NOVAIS, G. T. Clima do Cerrado: dinâmica atmosférica e características, variabilidades e tipologias climáticas. **Eliséé**, v. 9, n. 2, p. e922021, 2020.
84. NGUYEN, Q. H. et al. Influence of data splitting on performance of machine learning models in prediction of shear strength of soil. **Mathematical Problems in Engineering**, v. 2021, n. Special Issue, p. 1–15, 2021. DOI: 10.1155/2021/4832864
85. NYBERG, B. et al. Geometric attribute and shape characterization of modern depositional elements: A quantitative GIS method for empirical analysis. **Computers & Geosciences**, v. 82, p. 191–204, 2015. DOI: 10.1016/j.cageo.2015.06.003
86. PEIXOTO, J. M. A.; NELSON, B. W.; WITTMANN, F. Spatial and temporal dynamics of river channel migration and vegetation in central Amazonian white-water floodplains by remote-sensing techniques. **Remote Sensing of Environment**, v. 113, n. 10, p. 2258–2266, 2009. DOI: 10.1016/j.rse.2009.06.015
87. PELICICE, F. M. et al. Large-scale Degradation of the Tocantins-Araguaia River Basin. **Environmental Management**, v. 68, n. 4, p. 445–452, 2021. DOI: 10.1007/s00267-021-01513-7
88. PINTO, C. T.; JING, X.; LEIGH, L. Evaluation Analysis of Landsat Level-1 and Level-2 Data Products Using In Situ Measurements. **Remote Sensing**, vol. 12, n. 16, 2597, 2020. DOI: 10.3390/rs12162597
89. QGIS Development Team. **QGIS Geographic Information System (versão 3.18)**. 2022. Disponível em: <https://qgis.org/pt_BR/site/>.
90. R Core Team. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. Vienna, Áustria, 2020. Disponível em: <<https://www.r-project.org/>>.
91. RADAMBRASIL, M. DAS M. E ENERGIA. S. G. **Folha SC. 22. Tocantins: Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra**. Rio de Janeiro: Ministério das Minas e Energia, Secretaria Geral, 1981.
92. RESTREPO, J. D.; KETTNER, A. J.; SYVITSKI, J. P. M. Recent deforestation causes rapid increase in river sediment load in the Colombian Andes. **Anthropocene**, v. 10, p. 13–28, 2015. DOI: 10.1016/j.ancene.2015.09.001
93. ROY, S. Role of transportation infrastructures on the alteration of hillslope and fluvial geomorphology. **The Anthropocene Review**, v. 9, n. 3, p. 344–378, 2022. DOI: 10.1177/2053019622112837
94. ROZO, M. G.; NOGUEIRA, A. C.; CASTRO, C. S. Remote sensing-based analysis of the planform changes in the upper Amazon River over the period 1986–2006. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 51, p. 28–44, 2014. DOI: 10.1016/j.jsames.2013.12.004
95. SANG, Y. F.; WANG, Z.; LIU, C. Comparison of the MK test and EMD method for trend identification in hydrological time series. **Journal of Hydrology**, v. 510, p. 293–298, 2014. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2013.12.039
96. SANTANA, N. M. P. et al. Chuvas, erosividade, erodibilidade, uso do solo e suas relações com focos erosivos lineares na alta bacia do rio Araguaia. **Sociedade & Natureza**, v. 19, p. 103–121, 2007. DOI: 10.1590/S1982-45132007000200007

97. SANTOS, D. A. R. **A rede de drenagem e seu significado geomorfológico: anomalias de drenagens e tectônica recente na bacia do rio Formoso, Tocantins**. Mestrado em Geografia—Porto Nacional: Universidade Federal do Tocantins, 2016.
98. SANTOS, D. A. R. **Javaés Expedition: Field Photographs of a Brazilian River**, 2023. DOI: 10.5281/zenodo.7994827
99. SANTOS, D. A. R. S.; CHEREM, L. F. S. Análise de dados de Sensoriamento Remoto nas estimativas de variabilidade espacial e temporal de superfícies de inundação na planície fluvial do rio Javaés, TO. **Caderno de Geografia**, v. 31, n. 67, p. 1169–1169, 2021. DOI: 10.5752/P.2318-2962.2021v31n67p1169
100. SANTOS, D. A. R.; MORAIS, F. A. Assimetria de bacias hidrográficas e influências litoestruturais na geomorfologia do rio Formoso, TO. **Caminhos de Geografia**, v. 18, n. 61, p. 180–199, 2017. DOI: 10.14393/RCG186112
101. SANTOS, E. B.; LUCIO, P. S.; SILVA, C. M. S. Precipitation regionalization of the Brazilian Amazon. **Atmospheric Science Letters**, v. 16, n. 3, p. 185–192, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1002/asl2.535>
102. SCHUMM, S. A. Patterns of alluvial rivers. **Annual Review of Earth and Planetary Sciences**, v. 13, n. 1, p. 5–27, 1985. DOI: 10.1146/annurev.ea.13.050185.000253
103. SCHUMM, S. A. Sinuosity of alluvial rivers on the Great Plains. **Geological Society of America Bulletin**, v. 74, n. 9, p. 1089–1100, 1963. DOI: 10.1130/0016-7606(1963)74[1089:SOAROT]2.0.CO;2
104. SEAR, D.; NEWSON, M. Fluvial geomorphology: its basis and methods. In: SEAR, D. A.; NEWSON, M. D.; THORNE, C. R. (Eds.). **Guidebook of applied fluvial geomorphology**. London: Thomas Telford Ltd, 2010. p. 1–31.
105. SEN, P. K. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. **Journal of the American statistical association**, v. 63, n. 324, p. 1379–1389, 1968. DOI: 10.2307/2285891
106. SHIMABUKURO, Y. E.; DUTRA, A. C.; ARAI, E. Modelo Linear de Mistura Espectral: Conceitos Teóricos, Algoritmos e Aplicações em Estudos na Amazônia Legal. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 72, p. 1140–1169, 30 dez. 2020. DOI: 10.14393/rbcv72nespecial50anos-56559
107. SHIMABUKURO, Y. E.; SMITH, J. A. The Least-Squares Mixing Models to Generate Fraction Images Derived From Remote Sensing Multispectral Data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 29, n. 1, p. 16–20, 1991. DOI: 10.1109/36.103288
108. SILVA, A.; SOUZA FILHO, E. E.; NEVES, S. M. A. S. Erosão marginal e sedimentação no rio Paraguai no município de Cáceres (MT). **Brazilian Journal of Geology**, v. 41, n. 1, p. 76–84, 2011. DOI: 10.25249/0375-7536.20114117684
109. SILVA, L. L. O papel do estado no processo de ocupação das áreas de cerrado entre as décadas de 60 e 80. **Caminhos de Geografia**, v. 1, n. 2, p. 24–36, 2000. DOI: 10.14393/RCG2215251
110. SIMONCINI, M. S. et al. Hydrological Effects on the Reproduction of the Giant South American River Turtle *Podocnemis expansa* (Testudines: Podocnemididae). **Ichthyology & Herpetology**, v. 110, n. 3, p. 547–560, 2022. DOI: 10.1643/h2020152
111. SOUZA, C. M. et al. Reconstructing Three Decades of Land Use and Land Cover Changes in Brazilian Biomes with Landsat Archive and Earth Engine. **Remote Sensing**, v. 12, n. 17, p. 2735, 2020. DOI: 10.3390/rs12172735
112. STEVAUX, J. C.; LATRUBESSE, E. M. **Geomorfologia fluvial**. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.
113. STROPPER, J. L.; MARTINS, E. G.; FRASCA, A. A. S. **Carta geológica: folha Santa Teresinha, SC. 22-ZA**. CPRM, , 2014.
114. SUIZU, T. M. et al. Resposta da morfologia do médio-curso superior do Rio Araguaia às mudanças no regime hidrossedimentar no período 2001-2018. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 23, n. 2, p. 1420–1434, 2022. DOI: 10.20502/rbg.v23i2.2088
115. SUIZU, T. M.; LATRUBESSE, E. M.; BAYER, M. Geomorphic diversity of the middle Araguaia River, Brazil: A segment-scale classification to support river management. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 121, p. 104166, 2023. DOI: 10.1016/j.jsames.2022.104166
116. TOBÓN-MARÍN, A.; CAÑÓN BARRIGA, J. Analysis of changes in rivers planforms using Google Earth Engine. **International Journal of Remote Sensing**, v. 41, n. 22, p. 8654–8681, 2020. DOI: 10.1080/01431161.2020.1792575
117. VALENTE, C. R.; LATRUBESSE, E. M. Fluvial archive of peculiar avulsive fluvial patterns in the largest Quaternary intracratonic basin of tropical South America: the Bananal Basin, Central-Brazil. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 356, p. 62–74, 2012. DOI: 10.1016/j.palaeo.2011.10.002
118. VALENTE, C. R.; LATRUBESSE, E. M.; FERREIRA, L. G. Relationships among vegetation, geomorphology and hydrology in the Bananal Island tropical wetlands, Araguaia River basin, Central Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 46, p. 150–160, 2013. DOI: 10.1016/j.jsames.2012.12.003
119. VERCRUYSSSE, K.; GRABOWSKI, R. C. Human impact on river planform within the context of multi-timescale river channel dynamics in a Himalayan river system. **Geomorphology**, v. 381, p. 107659, 2021. DOI: 10.1016/j.geomorph.2021.107659
120. VOLKEN, N. J. et al. Analyzing the impact of agricultural water-demand management on water availability in the Urubu River basin – Tocantins, Brazil. **Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 17, n. 4, p. 1–23, 2022. DOI: 10.4136/ambi-agua.2847

121. WANG, C. et al. Channel bar feature extraction for a mining-contaminated river using high-spatial multispectral remote-sensing imagery. **GIScience & Remote Sensing**, v. 53, n. 3, p. 283–302, 2016. DOI: 10.1080/15481603.2016.1148229
122. WULDER, M. A. et al. Fifty years of Landsat science and impacts. **Remote Sensing of Environment**, v. 280, p. 113195, 2022. DOI: 10.1016/j.rse.2022.113195
123. ZALLES, V. et al. Rapid expansion of human impact on natural land in South America since 1985. **Science Advances**, v. 7, n. 14, 2021. DOI: 10.1126/sciadv.abg1620



Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) – CC BY. Esta licença permite que outros distribuam, remixem, adaptem e criem a partir do seu trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que lhe atribuam o devido crédito pela criação original.