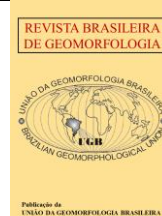




<https://rbgeomorfologia.org.br>  
ISSN 2236-5664



Artigo de Pesquisa

# Resposta da morfologia do médio-curso superior do Rio Araguaia às mudanças no regime hidrossedimentar no período 2001-2018

*Planform geometry response of the upper-middle Araguaia River to changes in the hydro-sedimentary regime from 2001 to 2018*

Tainá Medeiros Suizu <sup>1</sup>, Edgardo Manuel Latrubesse <sup>2</sup>, José Cândido Stevaux <sup>3</sup> e Maximiliano Bayer <sup>4</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Goiás (UFG), Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (CIAMB), Goiânia, Brasil. taina.suizu@gmail.com.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5019-1739>

<sup>2</sup> Universidade Federal de Goiás (UFG), Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (CIAMB), Goiânia, Brasil. latrubesse23@gmail.com.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5592-302X>

<sup>3</sup> Universidade Estadual de Maringá (UEM), Programa de Pós-Graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais (PEA), Maringá, Brasil. josecstevaux@gmail.com.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6136-2556>

<sup>4</sup> Universidade Federal de Goiás (UFG), Instituto de Estudos Socioambientais (IESA), Goiânia, Brasil. maxbayer@ufg.br.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0873-0564>

Recebido: 29/01/2021; Aceito: 20/07/2021; Publicado: 06/04/2022

**Resumo:** O Rio Araguaia se caracteriza pela rápida resposta geomórfica à degradação pelas atividades antrópicas em sua bacia hidrográfica. A morfologia bidimensional do médio-curso superior do Rio Araguaia foi avaliada durante o período 2001-2018, ampliando para 53 anos a série temporal preexistente na bibliografia da análise quali-quantitativa das macroformas desse rio e de suas respostas às mudanças no uso e cobertura da terra. Com base no processamento de imagens multitemporais de sensoriamento remoto, realizou-se a quantificação dos parâmetros morfométricos de ilhas e barras arenosas e a estimativa areal dos processos erosivos e deposicionais no sistema fluvial atual. Entre 1965 e 1998, o rio alterou parcialmente o seu padrão anabranching, ampliando a tendência ao entrelaçamento. No período 2001-2018, foram identificadas mudanças na morfologia que denotam a uma fase transicional de contração da zona ativa do canal e perda parcial das características de entrelaçamento devido à ampliação da representatividade das ilhas. Tal conjuntura responde às alterações no regime hidrossedimentar nas últimas duas décadas. Diante do avanço da fronteira agrícola e das propostas de construção de quatro grandes barragens ao longo de seu curso, o atual estado de ajuste do sistema canal-planície aluvial deve ser considerado no manejo deste grande rio do Cerrado.

**Palavras-chave:** Rios multicanaís; Resposta geomórfica; Morfometria do canal; Bioma Cerrado.

**Abstract:** The Araguaia River is characterized by a rapid geomorphic response to the degradation of the basin induced by land-use changes. The planform geometry in the upper middle-course of the Araguaia River was assessed over the 2001-2018 period. Thus, we extended to 53 years the pre-existing published time series data on the river's morphology and its response to land use changes. Based on the analysis of multi-temporal remotely sensing images we quantified the morphometric parameters on islands and sandy bars and estimated erosive and depositional areas in the actual river system. From 1965 to 1998, the river partially changed its anabranching pattern, increasing the tendency toward braiding. The morphological changes from 2001 to 2018 reveal a new transitional phase of contraction of the channel's active zone and a partial loss of

braiding due to higher representativeness of the islands. This scenario responds to changes in the hydro-sedimentary regime over the last two decades. Given the expansion of the agricultural frontier and the proposals for the construction of four large dams along its main stem, the current state of adjustment of the channel-floodplain system must be considered in the management plans of this large river of the Cerrado biome.

**Keywords:** Anabranching rivers; Geomorphic response; Channel morphometry; Cerrado biome.

---

## 1. Introdução

O Rio Araguaia é o principal sistema fluvial do Brasil Central. A sua bacia hidrográfica, com 377.000 km<sup>2</sup>, está majoritariamente inserida no Cerrado. Esse bioma, considerado a savana tropical mais diversa do globo com um elevado grau de endemismo, contém a Planície do Bananal, uma das mais importantes áreas úmidas da América do Sul (COLLI; VIEIRA; DIANESE, 2020; LENTHALL; BRIDGEWATER; FURLEY, 1999; VALENTE; LATRUBESSE, 2012).

A ascensão do Brasil como maior exportador de soja e carne bovina no mercado mundial levou à eliminação de extensas áreas de vegetação do Cerrado, estimulada pela demanda global, tecnologias agrônomicas e políticas governamentais favoráveis (BRANNSTROM et al., 2008). Com a ocupação de ~50% de sua extensão original por atividades agropecuárias (LAPOLA et al., 2014), a planície do Rio Araguaia e a Planície do Bananal, detentoras de grande diversidade fitofisionômica em razão da constata disponibilidade hídrica (FURLEY, 1999), atuam como a última fronteira ambiental do bioma (LATRUBESSE et al., 2009; LATRUBESSE et al., 2019).

Em resposta ao acelerado desmatamento na bacia hidrográfica a partir da década de 1970, o Rio Araguaia tem apresentado mudanças geomorfológicas, hidrológicas e sedimentares (LATRUBESSE et al., 2009; COE et al., 2011). Com base na análise morfossedimentar integrada (descrições morfométricas, balanço entre os processos erosivos e deposicionais em área e volume, e estimativas do transporte sedimentar), Latrubesse et al. (2009) verificaram, ao longo de 570 km do médio curso do Rio Araguaia, um aumento substancial no balanço positivo de sedimentação na planície aluvial, o incremento do transporte de sedimentos de fundo e a metamorfose na morfologia do canal entre os anos 1965 e 1998.

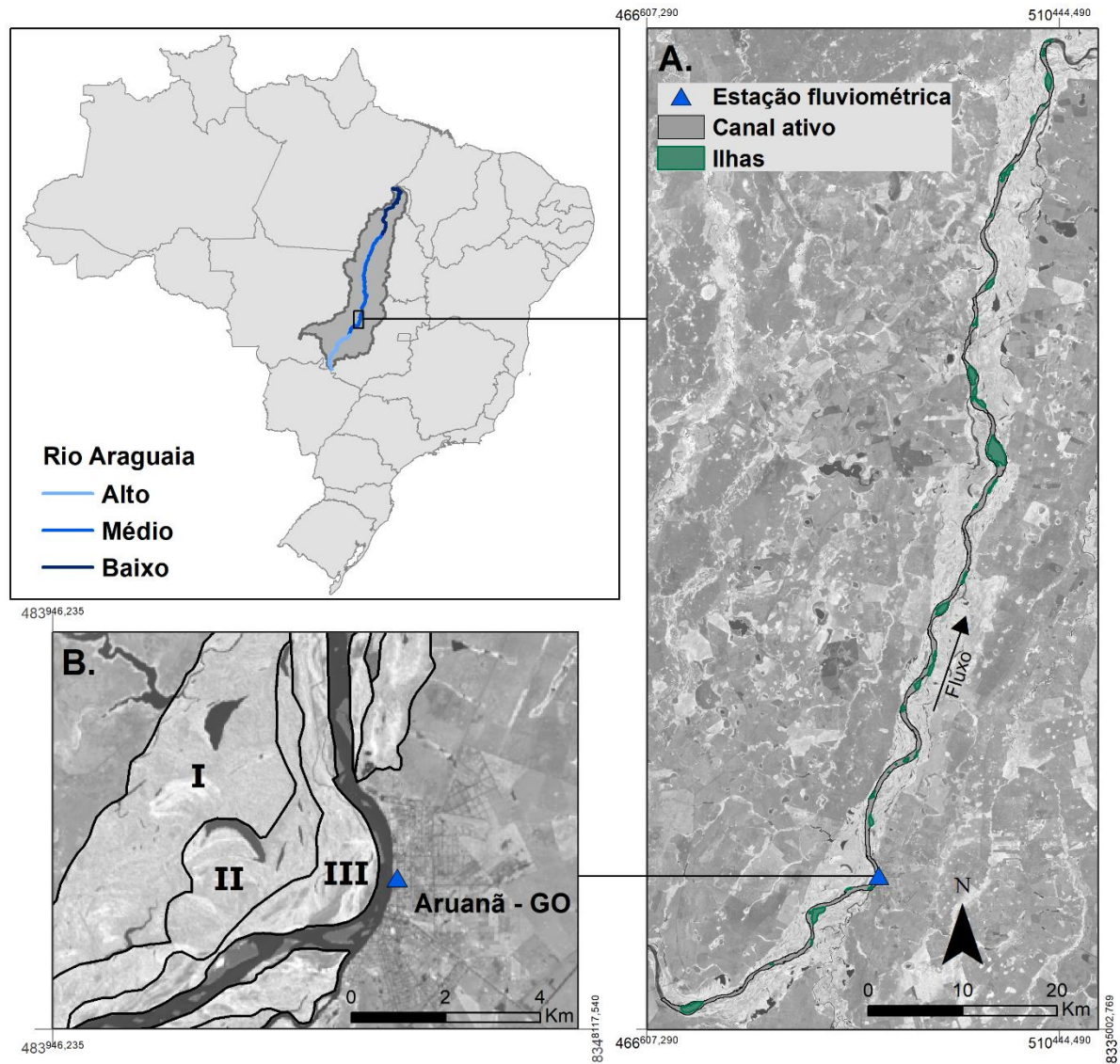
O estudo de Latrubesse et al. (2009) revelou: (i) a elevada sensibilidade geomórfica do Rio Araguaia às perturbações antrópicas e; (ii) o reduzido período de reação (da ordem de uma década) após a perturbação, de modo bastante similar ao esperado para bacias hidrográficas de pequeno e médio porte. A relevância dessas constatações diante do atual quadro de modificações antropogênicas (expansão da agricultura e captação de água para irrigação) e das ações adicionais propostas (construção de barragens) para o sistema fluvial (LATRUBESSE et al., 2019) resulta na necessidade da produção de novos dados documentando as respostas morfossedimentares do Rio Araguaia nas últimas duas décadas.

Assim, o presente estudo objetiva avaliar as mudanças na morfologia bidimensional do médio-curso superior do Rio Araguaia ao longo do período 2001-2018 com base no uso de imagens multitemporais de sensoriamento remoto e na aplicação de parâmetros morfométricos. A execução dessa proposição permite ampliar a escala temporal das caracterizações morfológicas conduzidas por Latrubesse et al. (2009), e fornece subsídios à gestão ambiental desse sistema fluvial de grande importância para o Cerrado.

## 2. Área de Estudo

A área sob investigação compreende um segmento de 132,8 km no médio-curso superior do Rio Araguaia (Figura 1A). Diversas razões justificam a seleção desse segmento fluvial. A partir dos anos 2000, pesquisas (AQUINO; LATRUBESSE; BAYER, 2009; BAYER, 2002, 2010; COE et al., 2011; LININGER; LATRUBESSE, 2016; MORAIS, 2006) foram desenvolvidas nessa região, que atua como sistema coletor de água e sedimentos aportados pela alta bacia (centro da expansão agropecuária do estado de Goiás) e que são transferidos para o médio curso (FERREIRA et al., 2013). Além disso, a área abrange a primeira estação hidrométrica (estação Aruanã – Figura 1A) operada pela CPRM-ANA no Rio Araguaia, a qual registra a contribuição do alto para o médio curso do rio desde a década de 1970. O Rio Araguaia também desempenha um papel central para o setor econômico do município de Aruanã-GO (Figura 1B) por meio de uma consolidada atividade turística fluvial (pesca esportiva e uso recreativo).

A declividade do vale no segmento corresponde a 0,00017 m m<sup>-1</sup>. O segmento é marcado pela presença de uma ampla planície aluvial holocênica incidida nos depósitos Quaternários da Formação Araguaia (VALENTE; LATRUBESSE, 2012).



**Figura 1.** Localização da área de estudo. A. Configuração multicanal (anabranching) da área de estudo no médio-curso superior do Rio Araguaia; B. Detalhamento das unidades morfossedimentares (I, II e III) da planície aluvial próximas ao município de Aruanã – GO (BAYER, 2010). Imagens de fundo: Landsat 8 (25 jul. 2018).

Bayer (2002) e Latrubesse e Stevaux (2002) realizaram a distinção dessa planície aluvial em três grandes unidades morfossedimentares (Figura 1B). A Unidade I é a mais antiga entre as unidades e se constitui de áreas de escoamento impedido que ocupam as porções mais distais e topograficamente inferiores da planície. A Unidade II é a unidade predominante e de maior elevação em relação às demais. Essa unidade, geralmente situada entre as unidades I e III, se caracteriza pela presença de paleomeandros e lagos em meia-lua (*oxbow lakes*). A Unidade III corresponde a um complexo de barras e ilhas derivadas dos processos morfodinâmicos que distinguem o sistema aluvial atual.

As vazões média anual e média anual de inundações nesse segmento (estação Aruanã – Figura 1A) são, respectivamente, 1202,56 e 4777,92 m<sup>3</sup>/s para a série histórica 1971-2018. A expressiva sazonalidade do clima Tropical Savânico (Aw) (DUBREUIL et al., 2017) reflete na variabilidade dos fluxos, tendo em vista que as descargas máximas podem ser até 13 vezes superiores em relação às mínimas no médio curso do rio (AQUINO; STEVAUX; LATRUBESSE, 2005). As chuvas na região concentram-se entre outubro e abril, com índices pluviométricos que variam de 1850 a 1000 mm no sentido oeste-leste. A estação seca, por sua vez, se estende de maio a setembro (AQUINO; STEVAUX; LATRUBESSE, 2005; LATRUBESSE; STEVAUX, 2002).

O Rio Araguaia possui padrão anabranching (multicanal aluvial) de baixa sinuosidade com tendência ao entrelaçamento (LATRUBESSE, 2008). A ocorrência de canais múltiplos está vinculada às particularidades de seu transporte sedimentar. Estimativas do transporte de sedimento na estação fluviométrica Aruanã (Figura 1A)

indicam que os sedimentos arenosos representam até cerca de 57% da carga total transportada pelo rio. A proporção de areia transportada em suspensão, em relação aos sedimentos finos, é muito alta (~55 a 43% da carga suspensa total) (AQUINO; LATRUBESSE; BAYER, 2009) e estima-se que cerca de 93% da carga arenosa do rio seja transportada em suspensão (LATRUBESSE et al., 2009).

### 3. Materiais e Métodos

Distintos procedimentos em SIG (Sistema de Informação Geográfica) foram conduzidos visando a quantificação dos elementos morfológicos do sistema fluvial e a análise multitemporal das mudanças do Rio Araguaia nas últimas décadas. Imagens dos sensores TM e OLI dos satélites Landsat 5 e 8 (Tabela 1), disponibilizadas gratuitamente pela USGS (<http://glovis.usgs.gov>), foram utilizadas para a definição das morfologias e o cálculo de suas áreas de superfície (km<sup>2</sup>). Tais imagens foram selecionadas levando em consideração a similaridade do nível d'água (129-160 cm) na estação Aruanã (Figura 1A) na data de sua aquisição durante o período de vazante (junho a outubro) para capturar, com o maior rigor possível, a exposição das morfologias fluviais relacionadas à carga de fundo (barras arenosas).

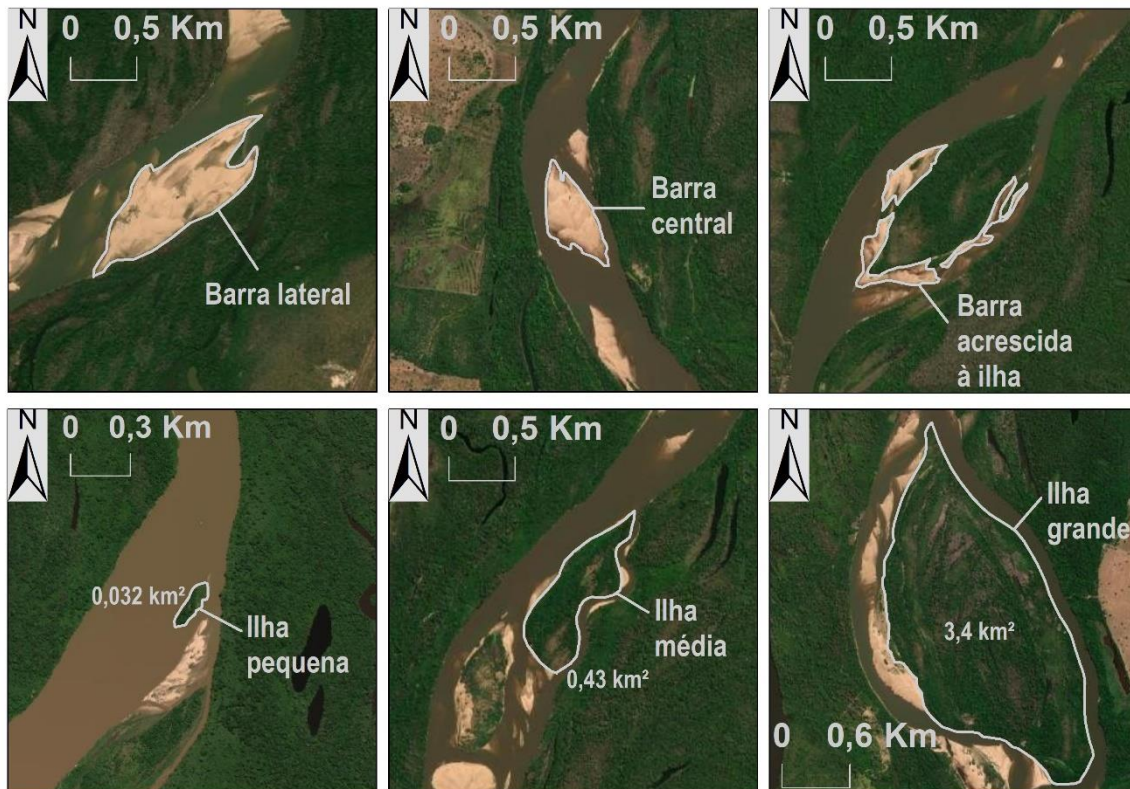
**Tabela 1.** Descrição das imagens de satélite selecionadas para o estudo.

Órbita	Ponto	Data de aquisição	Sensor	Resolução Espacial (m)	Nº de bandas espectrais
223	70	10/07/2001	TM	30	7
223	70	04/09/2004	TM	30	7
223	70	17/08/2009	TM	30	7
223	70	15/08/2014	OLI	30	9
223	70	25/07/2018	OLI	30	9

Após a calibração radiométrica dos dados (conversão para reflectância no topo da atmosfera), seguiu-se a derivação do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) no software ENVI 5.3. A fim de automatizar o processo de identificação consistente das feições de canal, foram estabelecidos os seguintes intervalos no âmbito dos valores (-1 a +1) desse índice: máscara d'água (-1 a 0); barras arenosas (0 a 0,2) e; ilhas e planície aluvial (0,2 a 0,8). Regiões de interesse (ROI) das imagens foram determinadas segundo esses limiares dos pixels e convertidas em dados vetoriais (formato shapefile). Por meio da seleção automática do software ArcGIS 10.2.2 e de pequenas correções manuais, realizou-se a qualificação das morfologias em conformidade com as categorias definidas por Morais (2006). Esse autor apresentou em detalhes os valores dos parâmetros morfométricos utilizados por Latrubesse et al. (2009), permitindo o estabelecimento de uma análise comparativa entre os dados obtidos no presente estudo e aqueles referentes aos anos 1965, 1975 e 1998. Dessa forma, as barras arenosas foram classificadas considerando a sua posição no canal – barras laterais, centrais e acrescidas às ilhas e; as ilhas foram definidas com base em sua dimensão areal – ilhas pequenas (0,01 a 0,1 km<sup>2</sup>), médias (0,11 a 1 km<sup>2</sup>) e grandes (1,1 a 5 km<sup>2</sup>) (Figura 2).

As alterações ocorridas no canal entre os anos 2001 e 2018 foram estimadas com a adoção dos procedimentos em SIG descritos por Jana (2019). A autora determinou as novas áreas de erosão e deposição do canal entre cenários subsequentes mediante: (i) a conversão dos referidos dados vetoriais em arquivos raster e; (ii) o cômputo das diferenças entre tais arquivos através do uso da Calculadora Raster do ArcGIS. Tais procedimentos também foram utilizados para avaliar as mudanças a curto prazo (2001-2018) que ocorreram na posição das margens do canal. As áreas das margens erodidas e construídas no cenário mais recente (2018) foram divididas pelo número de anos sob investigação para a definição de uma taxa anual de retrabalhamento das margens (m<sup>2</sup>y<sup>-1</sup>) (KIDOVÁ; LEHOTSKÝ; RUSNÁK, 2016), a qual foi obtida ao longo de 27 segmentos equidistantes (5 km) que abarcaram toda a extensão da área de estudo.

Os dados hidrológicos da estação fluviométrica Aruanã (#25200000) foram adquiridos no Portal HidroWeb (<http://www.snirh.gov.br/hidroweb>) da Agência Nacional de Águas (ANA). As descargas médias diárias disponíveis para o período 1971-2018 foram avaliadas mensalmente na escala multi-decadal, visando identificar os grandes padrões de mudança dos fluxos nas estações seca e chuvosa.



**Figura 2.** Exemplos das macroformas identificadas na área de estudo segundo as categorias definidas por Morais (2006). Imagens de fundo: Esri® World Imagery Map.

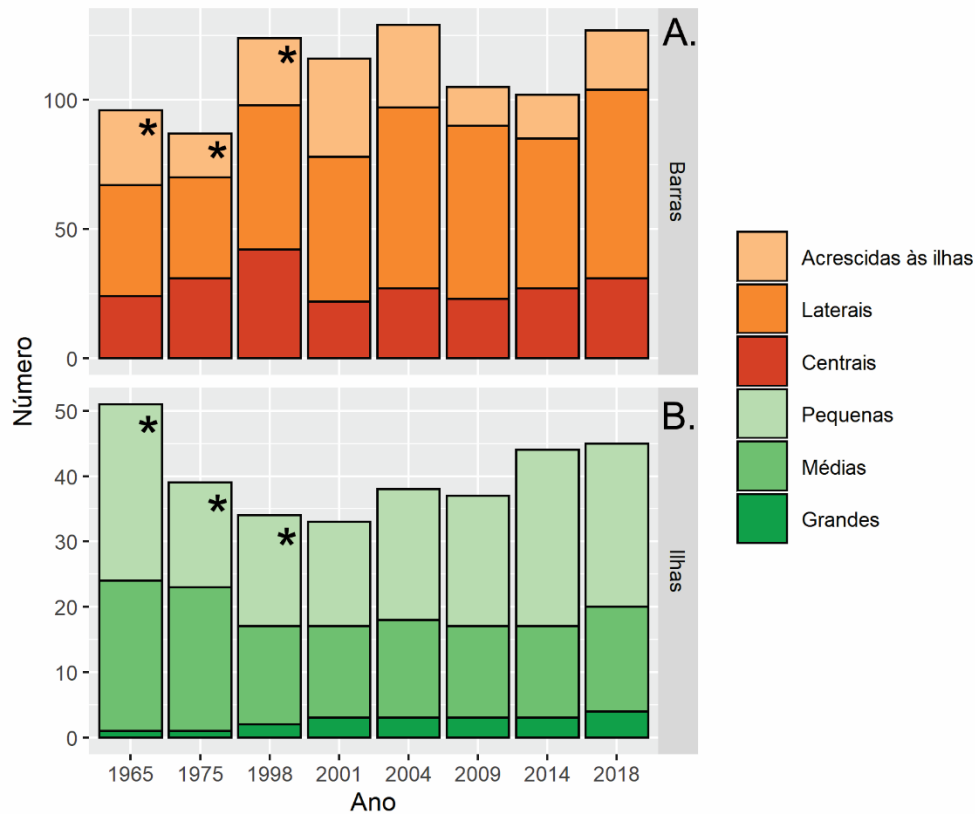
#### 4. Resultados

As barras arenosas são morfologias características do Rio Araguaia derivadas dos processos de erosão, transporte e deposição do material de fundo do canal. Ao longo dos 53 anos da série temporal, as barras do médio-curso superior do Rio Araguaia apresentaram, em geral, um aumento em número (Figura 3A). Porém, os distintos tipos de barras se comportaram de forma diferenciada.

As barras centrais contabilizavam 24 em 1965 e 42 em 1998. A partir de 2001, elas reduziram em média 38%, totalizando 31 feições no ano de 2018. O número de barras laterais passou de 43 para 56 entre 1965 e 1998. Durante o período recente (2001-2018), essas barras apresentaram novo acréscimo, variando de 56 (2001) a 73 (2018). O número de barras acrescidas às ilhas aumentou 35% no período 2001-2004 em relação aos cenários do século XX. Os últimos anos (2009-2018) foram marcados por um decréscimo na quantidade dessas morfologias, atingindo um valor (23), em 2018, próximo daquele verificado (26) em 1998.

O ano de 1965 se destacou pela elevada ocorrência de ilhas (51), principalmente aquelas classificadas como pequenas (27) (Figura 3B). Todavia, nos cenários subsequentes – 1975 e 1998, houve uma redução considerável no número de feições dessa classe (-37%), acompanhada pela queda no número de ilhas de médio porte (-35%). As ilhas grandes se caracterizam por sua natureza relictas e pela reduzida frequência neste setor do médio curso do Rio Araguaia. Em 1965 e 1975, havia apenas 1 ilha grande; em 1998, haviam 2 e; entre 2001 e 2014, elas eram 3.

O surgimento de uma ilha grande em 2018 foi decorrente da ampliação de morfologia classificada como média nos anos anteriores. O número de ilhas médias não apresentou grandes alterações desde 1998. Em 2001, elas somavam 14, em 2018, 16. A reduzida variação desses valores denota ao equilíbrio entre os processos de eliminação das ilhas médias no sistema, por meio de sua acreção à planície aluvial, e de constituição de novas ilhas nessa classe mediante a expansão e o amalgamento de ilhas de pequeno porte. Nos últimos anos, houve o incremento no número de ilhas pequenas, que alcançaram, em 2018, um número (25) similar ao constatado no cenário inicial de análise – 1965.

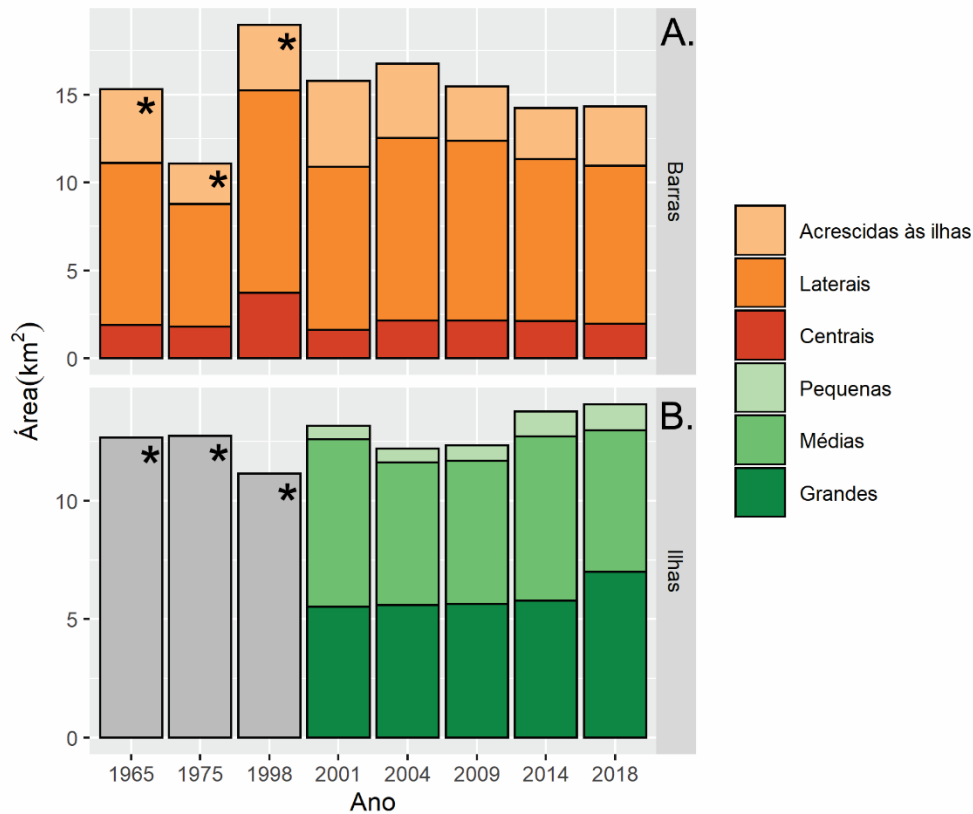


**Figura 3.** Mudanças no número de morfologias deposicionais ao longo do período 1965-2018. A. Barras. B. Ilhas. \*Dados compilados de Morais (2006).

Entre 1975 e 1998, as barras passaram por uma fase de grande expansão (+71%) (Figura 4A), equivalente ao aumento de 7,88 km<sup>2</sup> em sua área total no canal (Tabela 2). No período 1998-2018, verificou-se uma tendência de redução (-19%) dessas morfologias. A taxa anual dos decréscimos em área correspondeu a 0,23 km<sup>2</sup>, sendo as maiores perdas registradas nos intervalos 1998-2001 e 2004-2009 (Tabela 2). As barras acrescidas às ilhas apresentaram um aumento (+23%) entre 2001 e 2004, que foi sucedido por uma diminuição (-31%) no intervalo 2009-2018. A área das barras laterais (11,54 km<sup>2</sup>) e das barras centrais (3,71 km<sup>2</sup>) em 1998 reduziram 17% e 46%, respectivamente, entre 2001 e 2018 (Figura 4A).

A área correspondente às ilhas (Figura 4B) exibiu comportamento inverso ao descrito para as barras entre 1965 e 2018. No intervalo 1975-1998 houve a redução (-13%) da área ocupada por essas feições, que sofreram um decréscimo total de 1,6 km<sup>2</sup> (Tabela 2). O período mais recente (2001-2018) se caracterizou pela tendência de aumento da área insular no canal. Os anos que apresentaram acréscimos são prevalentes (Tabela 2), com uma taxa anual de expansão de 0,15 km<sup>2</sup>. Destaca-se a ampliação da área das ilhas classificadas como pequenas e grandes (Figura 4B), as quais passaram de 5,52 km<sup>2</sup> e 0,56 km<sup>2</sup> em 2001 para 7 km<sup>2</sup> e 1,09 km<sup>2</sup> em 2018, respectivamente.

As mudanças na morfologia do sistema aluvial atual também foram evidenciadas pela quantificação das áreas de atuação dos processos erosivos e deposicionais entre os anos 2001 e 2018 (Figura 5). Assim como reportado por Latrubesse et al. (2009), a erosão lateral ainda se constitui no principal mecanismo de erosão do canal, representando 81,4% da área total erodida no período 2001-2018, enquanto que a erosão de ilhas, e a erosão da planície pelo desenvolvimento lateral de ilhas e seus respectivos canais secundários corresponderam a 15,5% e 3,1%, respectivamente. Contudo, tais áreas, em seu conjunto, não superaram o desenvolvimento da planície aluvial, o qual compreendeu 43,2% das áreas de deposição, seguido da formação ou ampliação de barras (23,5%), ilhas (23%) e do processo de acreção de ilhas à planície aluvial (10,2%).



**Figura 4.** Mudanças na área total (km<sup>2</sup>) de morfologias deposicionais ao longo do período 1965-2018. A. Barras. B. Ilhas. \*Dados compilados de Morais (2006). As barras em cinza correspondem aos dados não discriminados pelo autor.

**Tabela 2.** Redução (-) ou aumento (+) em área total (km<sup>2</sup>) das morfologias deposicionais entre os sucessivos anos.

Intervalo	Barras	Ilhas
1965 - 1975	-4,24	+0,08
1975 -1998	+7,88	-1,60
1998 - 2001	-3,18	+2,02
2001 - 2004	+0,97	-0,97
2004 - 2009	-1,28	+0,15
2009 - 2014	-1,22	+1,41
2014 - 2018	+0,09	+0,31

A morfodinâmica mostrou-se bastante elevada nas duas margens da área de estudo entre 2001 e 2018 (Figura 6). A margem direita apresentou taxas anuais de erosão que, em seu conjunto (310.228,61 m<sup>2</sup>y<sup>-1</sup>), superaram as taxas de deposição (249.931,31 m<sup>2</sup>y<sup>-1</sup>). Esse processo de retração da margem direita se torna evidente a partir do segmento 7. Em contrapartida, a margem esquerda se caracterizou pela construção e o avanço lateral. A somatória das taxas anuais de deposição (422.865,82 m<sup>2</sup>y<sup>-1</sup>) ao longo da margem esquerda foi 4,5 vezes superior às taxas de erosão (93.006,01 m<sup>2</sup>y<sup>-1</sup>). As amplas e novas áreas que se estabeleceram à margem direita dos segmentos 2, 6 e 20 e à margem esquerda dos segmentos 7 e 25 foram decorrentes do processo de acreção de ilhas de médio porte à planície aluvial. De modo geral, as margens na área de estudo não estão sendo construídas e erodidas a uma taxa equivalente. Dessa forma, verificou-se a redução da largura média do canal, que passou de 453,33 para 406,16 m entre 2001 e 2018.

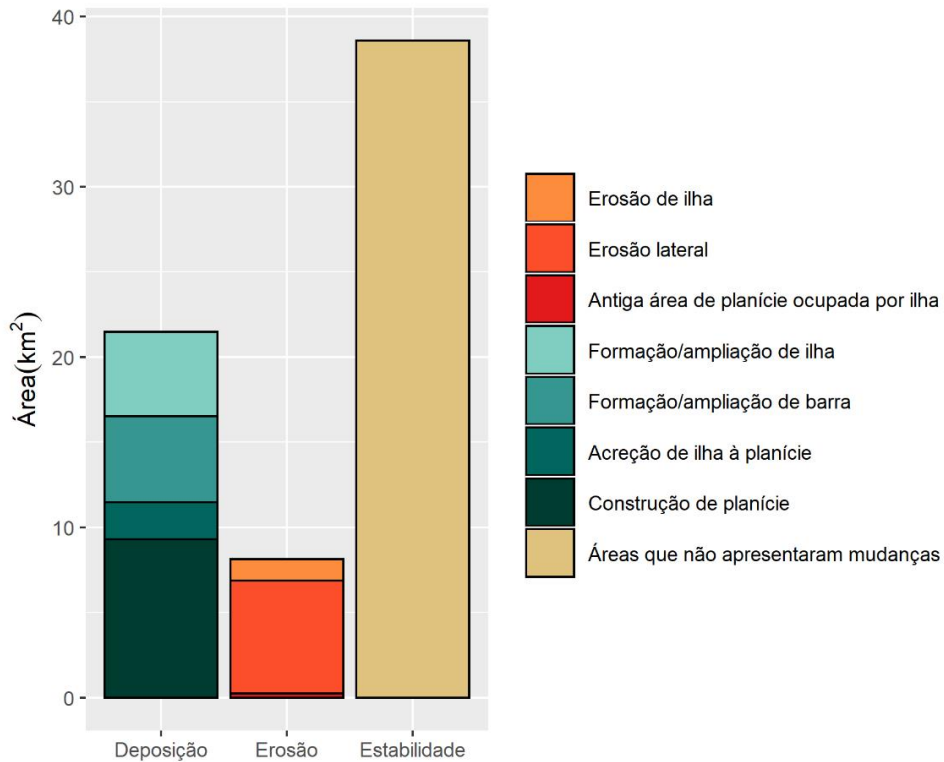


Figura 5. Áreas de deposição, erosão e estabilidade definidas entre 2001 e 2018.

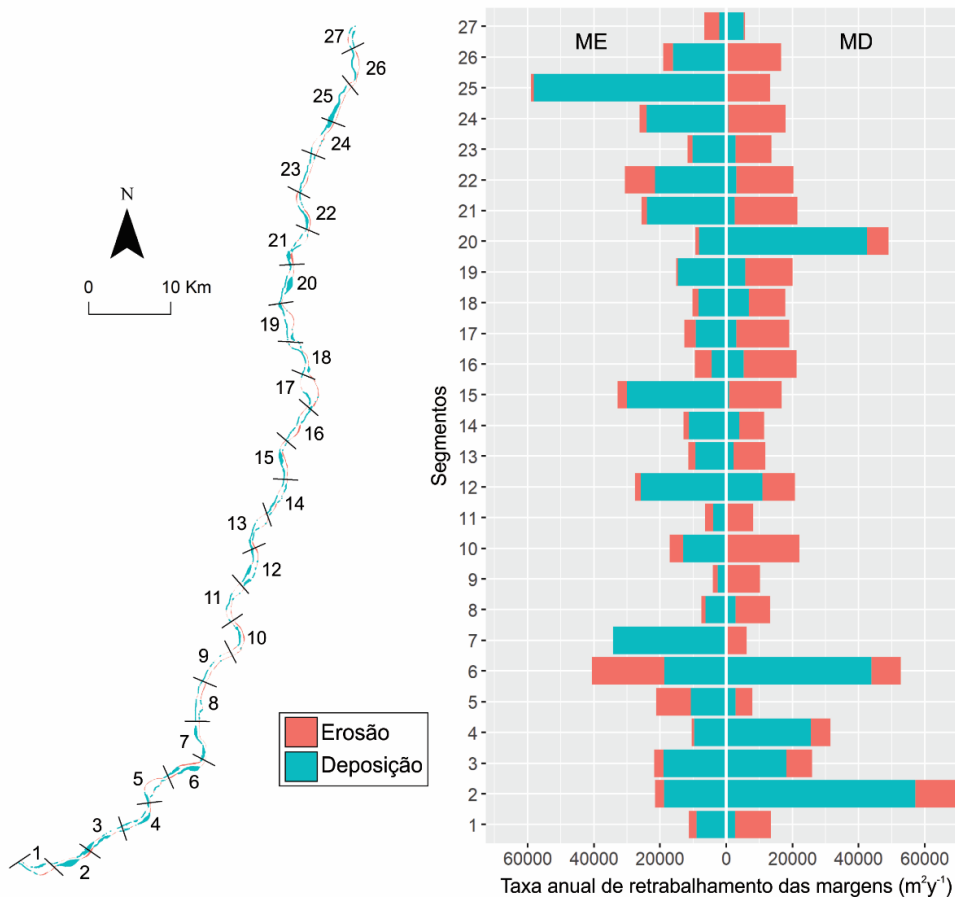


Figura 6. Variabilidade espacial das áreas de erosão e deposição resultantes da migração das margens esquerda (ME) e direita (MD) do canal entre 2001 e 2018. Valores obtidos para 27 segmentos de 5 km de extensão distribuídos ao longo da área de estudo.



Os dados de vazão observados na escala decadal para o período 1971-2018 (Figura 7) revelam o aumento de 21% nas descargas médias mensais do período de inundação (novembro a maio) entre as décadas de 1980 e 2000. Os últimos anos (2010-2018) foram caracterizados pelo decréscimo (-18%) dessas vazões de pico. Após o estágio de elevação (+29%) nos anos 1980, as descargas médias mensais registradas no período de estiagem (junho a setembro) também apresentaram uma redução progressiva que se estendeu até o último intervalo das mensurações. Ao lado disso, constataram-se alterações nos meses de pico do hidrograma. As vazões máximas, usualmente registradas em fevereiro, foram antecipadas em um mês na década de 1990, enquanto no último período houve um atraso em sua ocorrência, sendo identificadas no mês de março.

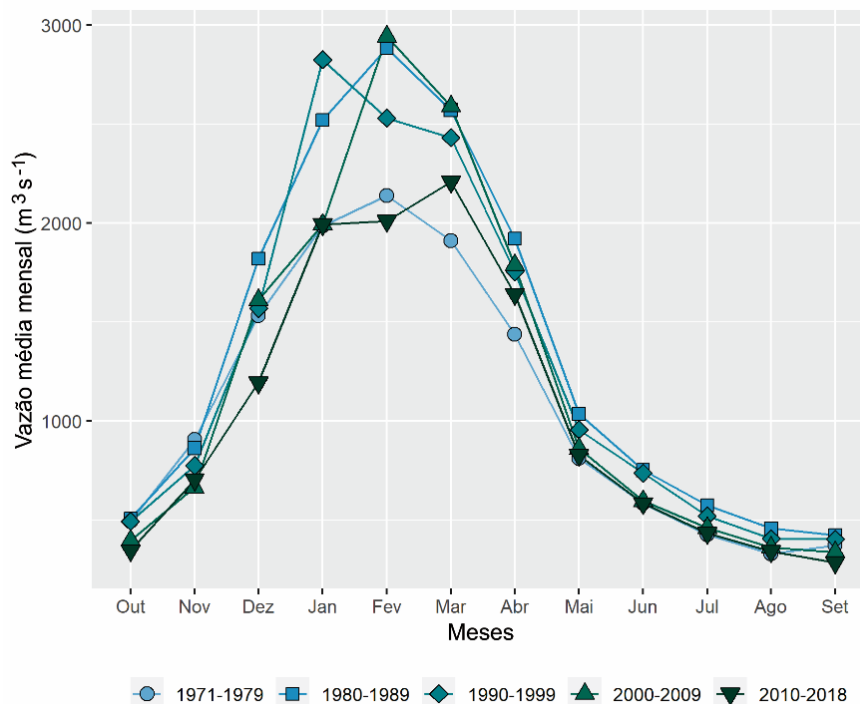


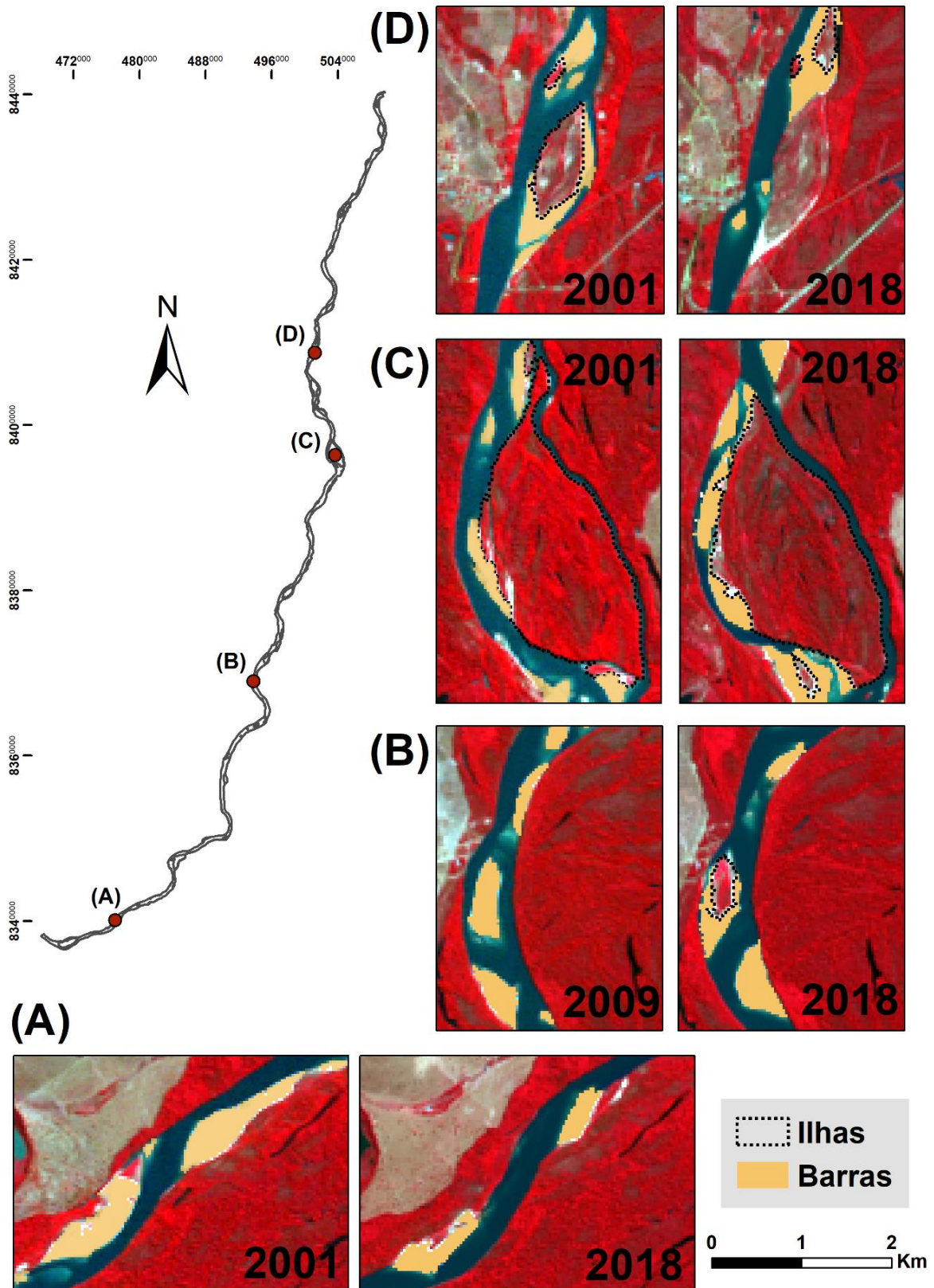
Figura 7. Vazão média mensal do Rio Araguaia na estação Aruanã (#25200000).

## 5. Discussão

Latrubesse et al. (2009) identificaram profundas alterações na carga sedimentar e no padrão de canal do Rio Araguaia em resposta ao intenso desmatamento do Bioma Cerrado entre as décadas de 1970 e 1990. Ao longo desse período, cerca de 232 Mt de sedimentos foram armazenados no canal principal e nas porções proximais da planície aluvial. Ao lado disso, o transporte da carga de fundo aumentou 31% de 1970 (6,7 Mt) para 2000 (8,8 Mt). Como resultado, o rio alterou parcialmente o seu padrão anabranching, ampliando a tendência ao entrelaçamento por meio de: (i) sedimentação de canais secundários; (ii) eliminação de ilhas de menor porte; (iii) ampliação de barras laterais e; (iv) proliferação de barras centrais de caráter transiente.

No entanto, os resultados da análise de imagens de satélite datadas do período 2001-2018 revelam algumas alterações nos mecanismos de ajuste da morfologia do canal nos últimos anos. De modo condizente com o intervalo anterior de análise (1965-1998), as barras laterais ainda possuem grande representatividade no sistema em termos de quantidade (Figura 3A). Todavia, a redução de sua área total a partir de 2001 (Figura 4A) está relacionada à progressiva colonização da vegetação ripária sobre esses depósitos (Figura 8A), levando à conversão de amplas áreas do canal ativo em planície aluvial (Figura 5).

A vegetação ripária relacionada à colonização de ilhas e barras fluviais se enquadra na unidade de vegetação pioneira herbácea definida por Morais (2006). Essa associação vegetal sob influência direta da dinâmica hidrológica do Rio Araguaia caracteriza-se por apresentar plantas de pequeno porte espaçadas entre si, sendo os maiores representantes as gramíneas e ciperáceas, além de ervas (representantes herbáceos) como as amarantáceas, euforbiáceas e onagraceas (ARAÚJO, 2002).



**Figura 8.** Imagens Landsat 5 e 8 ilustrando exemplos dos principais ajustes da morfologia do canal identificados entre 2001 e 2018. (A) Invasão progressiva da vegetação ripária sobre barras laterais; (B) Formação de ilha pela estabilização de barra central; (C) Expansão de ilha pela anexação de barras laterais e frontais; (D) Anexação de ilha à planície aluvial.

Em relação às barras centrais, uma resposta distinta foi verificada para essas morfologias. Latrubesse et al. (2009) identificaram um crescimento em quantidade (+75%) e área (+95%) das barras centrais entre 1965 e 1998. Porém, houve uma queda nesses valores no período 2001-2018 (Figuras 3A e 4A). O decréscimo das barras centrais ocorreu de forma concomitante ao aumento do número de ilhas, principalmente daquelas de pequeno porte (Figura 3B). Dessa forma, admite-se que tais mudanças estão vinculadas à ampliação da estabilidade geomórfica dessas barras sedimentares, viabilizando o estabelecimento da vegetação pioneira herbácea sobre essas feições (Figura 8B).

A presença de núcleos mais estáveis promove alterações nos padrões de fluxo do canal, culminando na formação de barras que se acrescem lateralmente às ilhas (LATRUBESSE; FRANZINELLI, 2002; LELI; STEVAUX; ASSINE, 2020). Em conjunto com os processos de agradação vertical (LATRUBESSE et al., 2009), tais barras favoreceram a expansão da área das ilhas nos últimos anos (Figura 4B) mediante a colonização da vegetação pioneira herbácea sobre esses depósitos arenosos (Figura 8C).

É importante evidenciar que o desenvolvimento dessas barras no interior de canais subordinados auxilia na aceleração de seu preenchimento e abandono, ocasionando a anexação de ilhas à planície aluvial (Figuras 5 e 8D). A vinculação de amplas barras ao assoreamento de canais secundários, principalmente a partir de 2009, corrobora o decréscimo dessas morfologias nos últimos cenários (Figuras 3A e 4A).

O referido processo de anexação de ilhas (Figura 8D) promove a retenção de amplos depósitos de canal na planície aluvial em ambas as margens (Figura 6) e, juntamente com a expansão da vegetação ripária sobre as barras laterais (Figura 8A), produzem taxas de construção das margens superiores às taxas de erosão (Figura 6). Como resultado, verifica-se uma tendência atual de decréscimo da área da zona ativa do rio.

Um dos controles primários do regime de transporte sedimentar e das características dos depósitos aluviais é o regime de fluxo do rio. Coe et al. (2011) realizaram uma análise dos aspectos hidrológicos da Bacia do Rio Araguaia a montante da área de estudo. Os autores constataram um aumento de 25% na vazão do rio na estação Aruanã (Figura 1A) entre as décadas de 1970 e 1990, sendo que 2/3 da mudança hidrológica foram atribuídos às mudanças no uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica e não às mudanças climáticas, já que as alterações na precipitação foram de apenas 2,5% no mesmo período. Dessa forma, além do impacto direto do desmatamento como fonte de erosão e transporte de sedimentos no sistema, as respostas na morfologia do canal identificadas por Latrubesse et al. (2009) estariam também relacionadas às modificações hidrológicas na bacia hidrográfica derivadas das ações antrópicas.

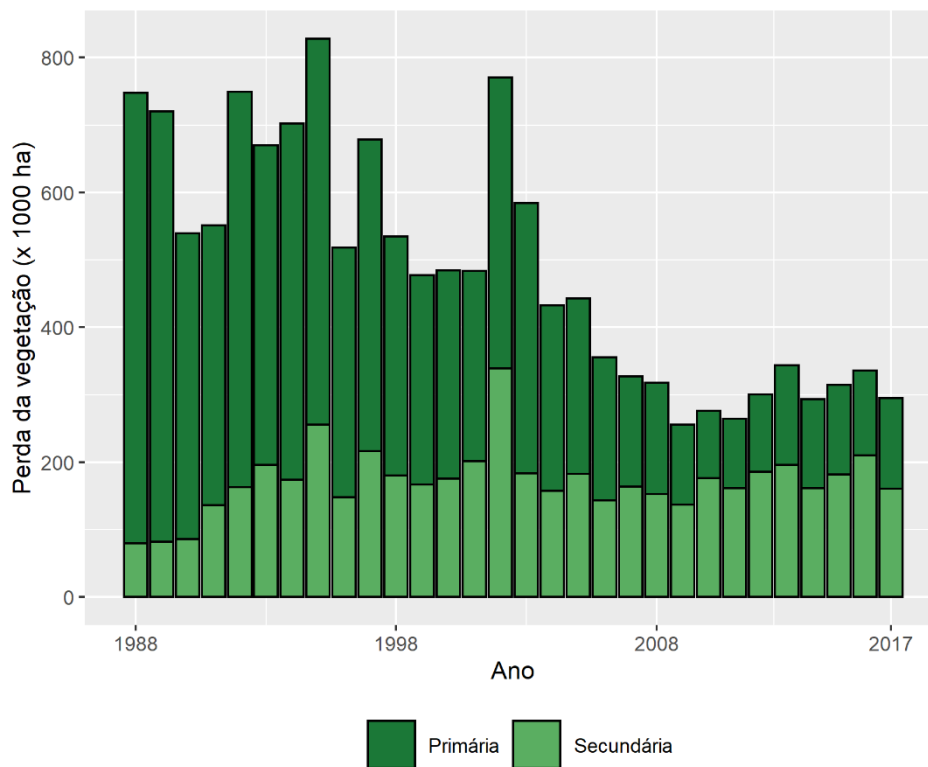
Os picos de desmatamento na Bacia do Rio Araguaia no final do século passado eram duas vezes maiores que a média (380.000 ha) das taxas registradas a partir de 2000 (Figura 9). Apesar dessa redução, dados do período 2013-2017 revelam uma ampla conversão (51,2%) do Bioma Cerrado em áreas antropizadas na bacia hidrográfica (LATRUBESSE et al., 2019).

Diante da manutenção do quadro de transformações no uso e cobertura da terra a partir dos anos 2000, verifica-se a possibilidade de intensificação dos efeitos hidrológicos do desmatamento sobre a vazão do rio descritos por Coe et al. (2011). Lininger e Latrubesse (2016) avaliaram a atenuação dos picos de vazão (sua redução absoluta conforme se movem a jusante) derivada dos mecanismos de transmissão das inundações para a planície aluvial do médio-curso superior do Rio Araguaia. Os autores não encontraram tendências discerníveis nos padrões de atenuação dos picos que demonstram sua relação com as elevadas taxas de desmatamento na bacia hidrográfica. Não obstante, Lininger e Latrubesse (2016) verificaram a maior probabilidade de ocorrência de vazões mínimas superiores à média após os anos marcados pela atenuação do pico de vazão durante a série histórica 1975-2011. Assim, a água armazenada na planície de inundação durante a estação chuvosa seria gradualmente liberada ao longo da estação seca, aumentando os fluxos de base.

Costa, Botta e Cardille (2003) avaliaram os dados de vazão e precipitação no alto curso da Bacia do Rio Tocantins (adjacente à área de estudo) no período 1949-1998. Assim como Coe et al. (2011), esses autores atribuíram o aumento (+24%) na vazão média anual do rio à expansão das áreas destinadas à agricultura na bacia hidrográfica, pois as mudanças na precipitação não foram estatisticamente significantes. Costa, Botta e Cardille (2003) ainda constataram que os impactos do desmatamento sobre a vazão são evidentes, especialmente, na estação chuvosa, com o incremento de 28% das descargas médias mensais e a antecipação em um mês no pico de vazão sazonal.

Assim como no Alto Tocantins, na área estudo verificou-se o aumento (+21%) das descargas médias mensais na estação chuvosa entre as décadas de 1980 e 2000 e a antecipação em um mês no pico do hidrograma na década de 1990 (Figura 7). Essas alterações condizentes com o decréscimo das taxas de infiltração e o aumento do escoamento superficial em áreas desmatadas (BRUIJNZEEL, 1990) teriam favorecido a erosão das ilhas de pequeno

porte (Figura 3B) e o estabelecimento das barras arenosas (Figura 3A), que são formas de maior instabilidade em resposta à evolução do leito nos períodos de inundação.



**Figura 9.** Taxas de desmatamento na Bacia do Rio Araguaia ao longo do período 1988-2017. Adaptado de MapBiomias (2020).

Todavia, as variações no tempo e na amplitude das vazões nas últimas duas décadas (Figura 7) denotam importantes alterações no regime hidrológico do Rio Araguaia, as quais são condizentes com os ajustes morfológicos observados entre 2001 e 2018. Em um sistema caracterizado pelo elevado suprimento da carga de fundo, a redução da magnitude das inundações e dos fluxos mais baixos na estação seca (Figura 7) auxiliaram na intensificação dos processos agradacionais (Figura 5), na estabilização das formas deposicionais (Figura 8B) e na progressão da vegetação ripária dentro do corredor fluvial (Figura 8A e C).

É válido ressaltar que em grandes rios, os processos responsáveis pelas principais mudanças na morfologia do canal estão relacionados à areia transportada como carga de fundo e em suspensão (LATRUBESSE, 2008). Nesse contexto, pesquisas (AMSLER; RAMONELL; TONIOLO, 2005; AQUINO, 2007; BIEDENHARN; THORNE, 1994; LATRUBESSE, 2008; THORNE; RUSSEL; ALAM, 1993) revelaram a importância da descarga que maximiza o transporte da granulometria dominante, denominada vazão efetiva ( $Q_{ef}$ ), no controle da morfologia dos grandes sistemas fluviais.

Aquino (2007) avaliou as mudanças na vazão efetiva do médio-curso superior do Rio Araguaia ao longo do período 1971-2000. A autora verificou um incremento de 65% no valor dessa vazão entre as décadas de 1970 ( $Q_{ef} = 1775 \text{ m}^3/\text{s}$ ) e 1990 ( $Q_{ef} = 2954 \text{ m}^3/\text{s}$ ), cujo resultado foi o aumento do transporte da carga de fundo e a consequente ampliação da tendência ao entrelaçamento do rio identificados por Latrubesse et al. (2009).

Ao considerar que a variabilidade climática e as mudanças no regime de vazões são as forças motoras dos ajustes que ocorrem na vazão efetiva (AMSLER; RAMONELL; TONIOLO, 2005), as futuras pesquisas devem ter como enfoque o reconhecimento: (i) do papel desses dois grandes controles na configuração da vazão efetiva do Rio Araguaia nas últimas duas décadas e; (ii) das possíveis flutuações recentes dessa vazão e a sua relação com os processos erosivos e deposicionais que culminaram nos ajustes morfológicos do sistema canal-planície aluvial identificados no presente estudo.

## 6. Conclusões

As mudanças na morfologia bidimensional do médio-curso superior do Rio Araguaia foram avaliadas durante o período 2001-2018, ampliando para 53 anos a série temporal dos dados sobre a evolução das macroformas desse rio apresentados por Latrubesse et al. (2009). A tendência à agração do sistema fluvial reportada para os cenários do final do século XX ainda persiste no período atual.

Entre 1965 e 1998, o rio alterou parcialmente o seu padrão *anabranching*, ampliando a tendência ao entrelaçamento por meio da: (i) sedimentação de canais secundários; (ii) eliminação de ilhas de menor porte; (iii) ampliação de barras laterais e; (iv) proliferação de barras centrais de caráter transiente. Todavia, entre 2001 e 2018, foram identificados os seguintes novos mecanismos de ajuste do canal: (i) redução da área total das barras laterais; (ii) decréscimo em número e área total das barras centrais; (iii) aumento em número e área das ilhas pequenas e grandes e; (iv) incremento das barras acrescidas às ilhas.

A atual fase transicional do Rio Araguaia de contração da zona ativa do canal e perda parcial das características de entrelaçamento devido à ampliação da representatividade das ilhas está possivelmente vinculada às alterações no regime hidrossedimentar desse rio nas últimas duas décadas.

O Rio Araguaia é o último grande rio do Cerrado livre de grandes intervenções antrópicas diretas. Diante das ameaças ambientais iminentes às suas funcionalidades hidro-geomorfológica e ecológica, como o avanço da fronteira agrícola e as propostas de construção de quatro grandes barragens ao longo de seu curso, os resultados desta investigação sobre o atual estado de ajuste do sistema canal-planície aluvial deverão ser considerados nos planos de manejo do Rio Araguaia.

**Contribuições dos Autores:** Concepção, T.M.S. e E.M.L.; metodologia, T.M.S.; análise formal, T.M.S., E.M.L., J.C.S. e M.B.; pesquisa, T.M.S.; preparação de dados, T.M.S.; escrita do artigo, T.M.S. e E.M.L.; revisão, E.M.L., J.C.S. e M.B.; supervisão, E.M.L. Todos os autores leram e concordaram com a versão publicada do manuscrito.

**Financiamento:** Esta pesquisa foi financiada pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

**Agradecimentos:** Os autores agradecem os revisores e o editor pelas contribuições que ampliaram a qualidade do manuscrito.

**Conflito de Interesse:** Os autores declaram não haver conflito de interesse. Os financiadores não tiveram interferência no desenvolvimento do estudo; na coleta, análise ou interpretação dos dados; na redação do manuscrito, ou na decisão de publicar os resultados.

## Referências

1. AMSLER, M. L.; RAMONELL, C. G.; TONIOLO, H. A. Morphologic changes in the Parana River channel (Argentina) in the light of the climate variability during the 20th century. *Geomorphology*, v. 70, n. 3, p. 257-278, 2005. DOI: 10.1016/j.geomorph.2005.02.008.
2. AQUINO, S. Mecanismos de Transmissão de Fluxos de Água e Sedimentos em dois Grandes Rios Aluviais Impactados pela Atividade Humana: o Araguaia e o Paraná. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) - Programa de Pós-Graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais, Universidade Estadual de Maringá, Maringá. 2007. 142p.
3. AQUINO, S.; LATRUBESSE, E. M.; BAYER, M. Assessment of wash load transport in the Araguaia River (Aruanã gauge station), central Brazil. *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis*, v. 16, n. 2, p. 119-128, 2009.
4. AQUINO, S.; STEVAUX, J. C.; LATRUBESSE, E. M. Regime Hidrológico E Aspectos Do Comportamento Morfohidráulico Do Rio Araguaia. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 6, n. 2, p. 29-41, 2005. DOI: 10.20502/rbg.v6i2.49.
5. ARAÚJO, F. R. **Controles abióticos da vegetação na planície aluvial do rio Araguaia**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia. 2002.
6. BAYER, M. **Diagnóstico dos processos de erosão/assoreamento na planície aluvial do rio Araguaia: entre Barra do Garças e Cocalinho**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia. 2002. 138p.
7. BAYER, M. **Dinâmica do transporte, composição e estratigrafia dos sedimentos da planície aluvial do Rio Araguaia**. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia. 2010. 98p.
8. BIEDENHARN, D. S.; THORNE, C. R. Magnitude-frequency analysis of sediment transport in the lower Mississippi river. *Regul. Rivers: Res. Mgmt.*, v. 9, n. 4, p. 237-251, 1994. DOI: <https://doi.org/10.1002/rrr.3450090405>.

9. BRANNSTROM, C.; JEPSON, W.; FILIPPI, A. M.; REDO, D.; XU, Z.; GANESH, S. Land change in the Brazilian Savanna (Cerrado), 1986-2002: Comparative analysis and implications for land-use policy. **Land Use Policy**, v. 25, n. 4, p. 579–595, 2008. DOI: 10.1016/j.landusepol.2007.11.008.
10. BRUIJNZEEL, L. A. **Hydrology of moist tropical forests and effects of conversion: a state of knowledge review**. UNESCO, Paris. 1990. 224p.
11. 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.
12. COLLI, G. R.; VIEIRA, C. R.; DIANESE, J. C. Biodiversity and conservation of the Cerrado: recent advances and old challenges. **Biodiversity and Conservation**, v. 29, n. 5, p. 1465–1475, 2020. DOI: 10.1007/s10531-020-01967-x.
13. COSTA, M. H.; BOTTA, A.; CARDILLE, J. A. Effects of large-scale changes in land cover on the discharge of the Tocantins River, Southeastern Amazonia. **Journal of Hydrology**, v. 283, n. 1, p. 206–217, 2003. DOI: 10.1016/S0022-1694(03)00267-1.
14. DUBREUIL, V.; FANTE, K. P.; PLANCHON, O.; SANT'ANNA NETO, J. L. Les types de climats annuels au Brésil: une application de la classification de Köppen de 1961 à 2015. **EchoGéo**, v. 41, p. 0–27, 2017. DOI: 10.4000/echogeo.15017.
15. FERREIRA, M. E.; FERREIRA JR, 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, 2013. DOI: 10.1080/1747423X.2013.845613.
16. FURLEY, P. A. The nature and diversity of neotropical savanna vegetation with particular reference to the Brazilian cerrados. **Global Ecology and Biogeography**, v. 8, n. 3-4, p. 223–241, 1999. DOI: 10.1046/j.1365-2699.1999.00142.x.
17. JANA, L. S. X. **The planform dynamics of the Irrawaddy River, Myanmar between 1990 and 2010**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bachelor of Science with Honours in Environmental Earth Systems Science) – Nanyang Technological University, Singapore. 2019. 56p.
18. KIDOVÁ, A.; LEHOTSKÝ, M.; RUSNÁK, M. Geomorphic diversity in the braided-wandering Belá River, Slovak Carpathians, as a response to flood variability and environmental changes. **Geomorphology**, v. 272, p. 137–149, 2016. DOI: 10.1016/j.geomorph.2016.01.002
19. LAPOLA, D. M.; MARTINELLI, L. A.; PERES, C. A.; OMETTO, J. P. H. B.; FERREIRA, M. E.; NOBRE, C. A.; AGUIAR, A. P. D.; BUSTAMANTE, M. M. C.; CARDOSO, M. F.; COSTA, M. H.; JOLY, C. A.; LEITE, C. C.; MOUTINHO, P.; SAMPAIO, G.; STRASSBURG, B. B. N.; VIEIRA, I. C. G. Pervasive transition of the Brazilian land-use system. **Nature Climate Change**, v. 4, n. 1, p. 27–35, 2014. DOI: 10.1038/nclimate2056.
20. 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.
21. LATRUBESSE, E. M.; AMSLER, M. L.; MORAIS, R. P. DE; AQUINO, S. 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.
22. LATRUBESSE, E. M.; ARIMA, E.; FERREIRA, M. E.; NOGUEIRA, S. H.; WITTMANN, F.; DIAS, M. S.; DAGOSTA, F. C. P.; BAYER, M. Fostering water resource governance and conservation in the Brazilian Cerrado biome. **Conservation Science and Practice**, v. 1, n. 9, p. 1–8, 2019. DOI: 10.1111/csp2.77.
23. LATRUBESSE, E. M.; FRANZINELLI, E. The Holocene alluvial plain of the middle Amazon River, Brazil. **Geomorphology**, v. 44, n. 3-4, p. 241–257, 2002. DOI: 10.1016/S0169-555X(01)00177-5.
24. LELI, I. T.; STEVAUX, J. C.; ASSINE, M. L. Origin, evolution, and sedimentary records of islands in large anabranching tropical rivers: The case of the Upper Paraná River, Brazil. **Geomorphology**, v. 358, 2020. DOI: 10.1016/j.geomorph.2020.107118.
25. LENTHALL, J. C.; BRIDGEWATER, S.; FURLEY, P. A. A phytogeographic analysis of the woody elements of New World savannas. **Edinburgh Journal of Botany**, v. 56, n. 2, p. 293–305, 1999. DOI: 10.1017/s096042860001153.
26. LININGER, K. B.; LATRUBESSE, E. M. Flooding hydrology and peak discharge attenuation along the middle Araguaia River in central Brazil. **Catena**, v. 143, p. 90–101, 2016. DOI: 10.1016/j.catena.2016.03.043.
27. MORAIS, R. P. **A Planície Aluvial do Médio Araguaia: processos geomorfológicos e suas Implicações Ambientais**. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia. 2006.
28. **Projeto MapBiomas** – Coleção 5.0 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil. Disponível em: <<https://plataforma.mapbiomas.org>>. Acesso em: 19 nov. 2020.
29. THORNE, C.R.; RUSSEL, A.; ALAM, K. Planform pattern and channel evolution of the Brahmaputra River, Bangladesh. In: BEST, J.L.; BRISTOW, C.S. (Eds.). **Braided Rivers**. London, UK: Geological Society Special Publication, v. 75, 1993, p. 257–276.

30. 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. 356-357, p. 62–74, 2012. DOI: 10.1016/j.palaeo.2011.10.002.



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.