ESPAÇO EM REVISTA

ISSN: 1519-7816

https://periodicos.ufcat.edu.br/espaco

ESTIMATIVA DO VOLUME SEDIMENTAR EM UMA CONFLUÊNCIA FLUVIAL DO RIO ARAGUAIA UTILIZANDO PLATAFORMAS AÉREAS NÃO TRIPULADAS

Pâmela Camila Assis[1]

Manuel Eduardo Ferreira[2]

João Vitor Silva Costa[3]

Maximiliano Bayer [4]

ASSIS, Pâmela Camila; FERREIRA, Manuel Eduardo; COSTA, João Vitor Silva; BAYER, Maximiliano. ESTIMATIVA DO VOLUME SEDIMENTAR EM UMA CONFLUÊNCIA FLUVIAL DO RIO ARAGUAIA UTILIZANDO PLATAFORMAS AÉREAS NÃO TRIPULADAS.Espaço em Revista, Catalão,v. 27, n. 1, p. 404-428, 2025. DOI: https://doi.org/10.70261/er.v27i1.75089Disponível em: https://periodicos.ufcat.edu.br/index.php/espaco/article/view/75089

Esta obra está licenciada com uma Licença CC BY 4.0 . 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.

Recebido: 08/07/2024 | **Aceito:** 08/07/2025 | **Publicado:** 08/07/2025

Resumo

Levantamentos aéreos da superfície terrestre realizados por meio de plataformas aéreas não tripuladas (RPAS, ou drones) têm sido amplamente empregados no cálculo volumétrico em distintas aplicações, como nas atividades de geologia/mineração, agricultura e manejo florestal (exploração madeireira e reflorestamento). Neste artigo, foram empregadas técnicas de aerofotogrametria e modelagem tridimensional da paisagem, aliadas ao uso de um RPAS, com o objetivo de quantificar o volume de sedimentos depositados e/ou armazenados na confluência dos rios Araguaia e Vermelho, localizada no município de Aruanã, estado de Goiás. A dinâmica sedimentar nessa região configura-se como uma resposta direta aos processos de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Araguaia, intensificados especialmente a partir da década de 1960, bem como à influência das unidades morfossedimentares da planície aluvial. A metodologia adotada baseou-se no processamento de um conjunto de fotografias aéreas obtidas por meio de um RPAS do tipo multirrotor (DJI Phantom 4), equipamento de baixo custo e fácil operação. As imagens foram processadas no software Pix4D Mapper, permitindo a elaboração de Modelos Digitais de Superfície (MDS) e ortomosaicos com elevada resolução espacial.

[1]Doutoranda em Ciências Ambientais na Universidade Federal de Goiás - Goiânia, GO, Brasil, pcassis@discente.ufg.br

[2]Doutor em Ciências Ambientais. Professor do Instituto de Estudos Socioambientais - Goiânia, GO, Brasil, manuel@ufg.br

[3]Doutorando em Ciências Ambientais na Universidade Federal de Goiás – Goiânia, GO, Brasil, joao_vitor@discente.ufg.br

[4]Doutor em Ciências Ambientais. Professor do Instituto de Estudos Socioambientais - Goiânia, GO, Brasil, maxbayer@ufg.br

Além dos registros aéreos e da modelagem tridimensional, a técnica mostrou-se eficiente na quantificação dos sedimentos depositados e/ou armazenados no canal, possibilitando a identificação de uma área de 1,15 km² e um volume estimado de aproximadamente 1.318.312,63 toneladas ao longo de uma extensão de 4 km do trecho médio do rio Araguaia.
Palavras-chave: Depósitos sedimentares. Rio Araguaia. Drone. PIX4D Mapper.

ESTIMATE OF SEDIMENT VOLUME IN A FLUVIAL CONFLUENCE OF THE ARAGUAIA RIVER USING UNIPROVED AERIAL PLATFORMS

Abstract

Aerial surveys of the Earth's surface conducted using Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAS, or drones) have been widely employed in volumetric calculations across various applications, including geology/mining activities, agriculture, and forest management (timber extraction and reforestation). In this study, photogrammetric techniques and three-dimensional landscape modeling were employed, combined with the use of an RPAS, to quantify the volume of sediments deposited and/or stored at the confluence of the Araguaia and Vermelho rivers, located in the municipality of Aruanã, state of Goiás, Brazil. The sediment dynamics in this region are configured as a direct response to land use and land cover changes in the Araguaia River basin, particularly intensified since the 1960s, as well as to the influence of morphosedimentary units of the alluvial plain. The methodology was based on the processing of a set of aerial photographs acquired with a multirotor-type RPAS (DJI Phantom 4), a low-cost and user-friendly equipment. The images were processed using Pix4D Mapper software, enabling the generation of high-resolution Digital Surface Models (DSMs) and orthomosaics. In addition to aerial imagery and three-dimensional modeling, the technique proved effective for quantifying the sediments deposited and/or stored within the channel, allowing the identification of an area of 1.15 km² and an estimated volume of approximately 1,318,312.63 tons along a 4 km stretch of the middle course of the Araguaia River.
Keywords: Sedimentary deposits. Araguaia River. Drone. PIX4D Mapper.

Introdução

As confluências fluviais configuram-se como zonas altamente sensíveis, marcadas por interações dinâmicas e complexas entre os fluxos de matéria, água, sedimentos e energia. Esses ambientes são condicionados por transições abruptas nos padrões de escoamento, que envolvem variações na vazão, na velocidade e na direção do fluxo, além de mudanças na geometria dos canais (Best, 1988; Rice et al., 2008; Assis et al., 2025b). A interação entre os tributários e os canais principais nessas áreas é fundamental para a compreensão dos processos de transporte, deposição e evolução textural dos sedimentos nos sistemas fluviais (Knighton, 1989; Benda e Dunne, 1997; Rice, 1998; Mosley e Schumm, 2001).

As confluências fluviais são influenciadas por uma combinação de fatores ambientais e morfodinâmicos, os quais determinam sua estrutura, funcionamento e evolução ao longo do tempo. Um dos principais controles é a relação entre as condições de limite a montante da descarga — especialmente a razão de momento entre os afluentes —, a qual exerce influência direta sobre a morfologia da zona de escavação (Mosley, 1976; Best, 1986; Best, 1988; Best e Rhoads, 2008) e também sobre a configuração morfológica das barras sedimentares (Best,

1988; Biron et al., 1993; Biron et al., 2002; Boyer et al., 2006; Best e Rhoads, 2008).

Para além dos controles hidrodinâmicos, a evolução da morfologia fluvial ao longo do tempo é fortemente condicionada pela interação entre diversos elementos. Variações climáticas, a sazonalidade do regime hidrológico, as características geológicas e mudanças no uso e cobertura das terras da bacia exercem influência direta sobre a quantidade e a composição dos sedimentos transportados e depositados pelo sistema fluvial (Ribeiro et al., 2012; Assis et al., 2025b).

Nesse contexto, destaca-se a bacia hidrográfica do rio Araguaia, inserida em ambiente de Cerrado e caracterizada por alterações nos regimes climático e hidrológico. Ao longo dos últimos 50 anos, as mudanças no uso e cobertura da terra provocaram rápidas respostas nesse sistema fluvial. Com uma área de aproximadamente 386.000 km² e descarga média anual de 6.420 m³/s (ANA, 2015; Latrubesse et al., 2019), essa bacia configura-se como uma das principais áreas prioritárias para a conservação do Cerrado e dos recursos hídricos no Brasil. No entanto, nas últimas cinco décadas, extensas áreas dessa bacia vêm sendo objeto de um intenso processo de transformação no uso e cobertura da terra, associado ao avanço da fronteira agropecuária, particularmente por pastagens, pecuária de corte e monoculturas de soja, milho e cana-de-açúcar (Barbalho, 2002; Castro, Xavier e Barbalho, 2004; Castro, 2005; Faria e Santos, 2016; Bayer et al., 2020; Assis et al., 2025a).

Nesse período, observou-se uma rápida diminuição das áreas ocupadas por vegetação natural, concomitante ao aumento das áreas destinadas às atividades agropecuárias (Bayer et al., 2020; Assis et al., 2025a). Entre os anos de 1985 e 2022, a região passou por mudanças no uso e cobertura da terra, com reduções expressivas nas áreas de Formação Florestal (-44,21%), Formação Savânica (-41,53%) e Formação Campestre (-34,74%). Em contrapartida, verificou-se um aumento acentuado das áreas de Pastagem (+148,73%) e, sobretudo, da cultura da Soja (+1581,19%) (Assis et al., 2025a).

Como consequência desses processos de uso e ocupação da terra, a bacia hidrográfica do rio Araguaia apresenta elevados índices de antropização (Franco, 2003), destacando-se o surgimento e aceleração dos processos erosivos e de assoreamento presentes em vários setores da bacia, com mais de 5.000 voçorocas registradas apenas na bacia do alto Araguaia (Barbalho, 2002; Castro, Xavier e Barbalho, 2004; Latrubesse et al., 2009).

Observa-se, também, a intensificação do assoreamento dos canais, alteração da qualidade da água e impactos negativos nos ecossistemas aquáticos, bem como sobre os processos geomorfológicos e ecológicos da planície aluvial (Morais, 2006; Latrubesse e

Stevaux, 2002; Latrubesse et al., 2019; Bayer et al., 2020). Tais transformações evidenciam a rápida resposta do sistema fluvial do Araguaia às mudanças ocorridas nesse período histórico, sobretudo em seu trecho médio, caracterizado como uma das principais áreas de armazenagem e transporte de sedimentos do Cerrado (Latrubesse et al., 2009; Bayer, 2010; Assis et al., 2025b).

Para o período de 1965 a 1997, Latrubesse et al. (2009) estimaram que a quantidade de sedimentos efetivamente armazenados na planície aluvial, em um trecho de 570 km do rio Araguaia, foi de aproximadamente 232 milhões de toneladas. Morais (2006) estimou uma sedimentação de 818,65 milhões de toneladas para 580 km do sistema fluvial, entre a cidade de Barra do Garças (MT) e a confluência com o rio Cristalino, no mesmo intervalo temporal. Pesquisas recentes demonstram a continuidade da tendência de acúmulo de sedimentos no trecho médio do canal (Bayer e Zancopé, 2014; Assis e Bayer, 2020; Bayer et al., 2020; Assis et al., 2025b).

Esse processo deposicional não apenas resulta em agradação local do leito, mas também desencadeia ajustes laterais e longitudinais na posição da confluência, provocando transformações significativas em sua morfologia (Graf, 1980; Petts, 1984; Allen et al., 1989; Grant et al., 2003; Gilvear, 2004; Petts e Gurnell, 2005; Phillips et al., 2005).

Diante dessas alterações, o monitoramento de ambientes aquáticos já fragilizados torna-se fundamental, especialmente no caso do rio Araguaia, que constitui um dos principais sistemas fluviais do Brasil e do ecótono Amazônia-Cerrado, além de abrigar a planície do Bananal, uma das mais extensas savanas tropicais sazonalmente inundáveis do mundo, com mais de 100.000 km² (Valente et al., 2013).

Dada a grande extensão territorial e a rapidez das transformações que ocorrem nessas regiões, as geotecnologias configuram-se como ferramentas estratégicas para o monitoramento e a análise temporal das dinâmicas ambientais. O sensoriamento remoto orbital, por sua vez, tem sido empregado em investigações fluviais desde a década de 1970 e, nas últimas décadas, os sensores imageadores têm evoluído, possibilitando a obtenção de dados com maior nível de detalhamento e frequência temporal, em resposta à crescente demanda por informações precisas e atualizadas.

Na última década, os avanços na resolução espacial, frequência de aquisição e qualidade das imagens de sensoriamento remoto possibilitaram uma nova abordagem para o estudo da morfodinâmica de canais fluviais (Lane et al., 2010; Javernick et al., 2014; Ishiguro et al., 2016; Vázquez-Tarrío et al., 2017). A partir dos anos 2000, as plataformas aéreas não

tripuladas — popularmente conhecidas como drones — passaram a ganhar destaque no Brasil, disseminando-se rapidamente (Munaretto, 2017).

O uso de Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARPs) — do inglês *Remotely Piloted Aircraft Systems* (RPAS) — possibilita a elaboração de produtos cartográficos planimétricos e altimétricos de alta precisão, praticamente em tempo real e a custos reduzidos (Fagundes e Iescheck, 2019). Dessa forma, essa tecnologia configura-se como uma ferramenta essencial para o mapeamento e o monitoramento ambiental em bacias hidrográficas, especialmente no acompanhamento dos processos de erosão e deposição de sedimentos nos canais fluviais. Esses processos impactam diretamente diversos aspectos da dinâmica fluvial, tais como a navegabilidade, o turismo, as características hidráulicas, a profundidade e largura dos canais, além de influírem na turbidez da água e na diversidade da ictiofauna, comprometendo a qualidade ambiental e os serviços ecossistêmicos associados aos corpos d'água.

Diante desse contexto, o presente estudo apresenta a aplicação do sensoriamento remoto de alta resolução espacial, realizado por meio de um RPAS, com o objetivo de gerar modelos tridimensionais para a quantificação do volume de sedimentos depositados, especificamente barras arenosas, em um trecho do médio curso do sistema fluvial do rio Araguaia, na confluência com o rio Vermelho.

Metodologia

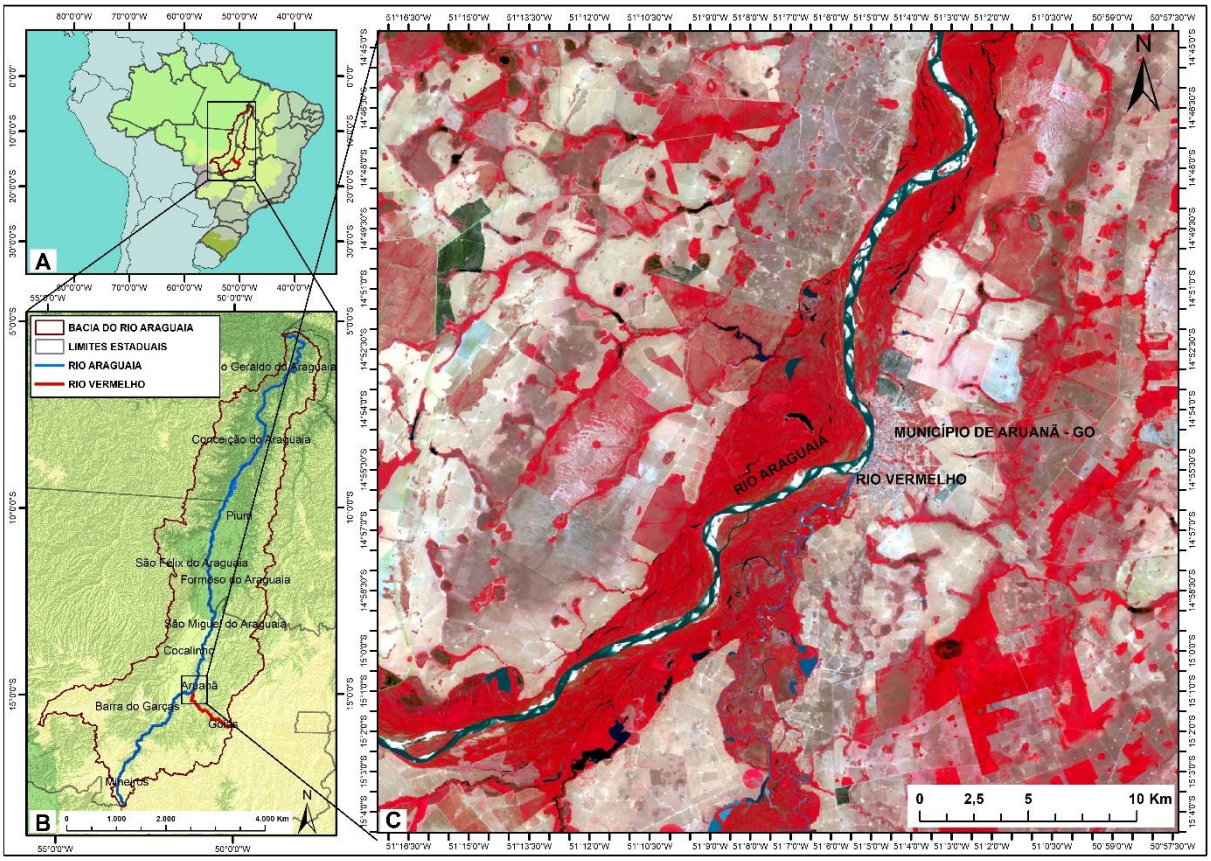
Com o objetivo de avaliar a aplicabilidade de técnicas de aerofotogrametria na quantificação volumétrica de sedimentos depositados no canal principal do rio Araguaia, esta pesquisa estruturou-se metodologicamente na geração de Modelos Digitais de Superfície (MDS), na elaboração de ortomosaicos e na caracterização textural dos sedimentos fluviais, com ênfase nas barras arenosas identificadas ao longo do canal. Complementarmente, foram utilizadas ferramentas de geoprocessamento e imagens de satélite (Sentinel) para subsidiar a análise da dinâmica sedimentar no trecho em estudo. As etapas metodológicas adotadas encontram-se descritas nos tópicos a seguir.

Área de estudo

O rio Araguaia tem sua nascente na Serra do Caiapó, nas proximidades do Parque Nacional das Emas, no sudoeste do estado de Goiás, e percorre aproximadamente 2.600 km até sua confluência com o rio Tocantins, atravessando partes dos estados de Goiás, Mato Grosso,

Tocantins e Pará (ANA, 2015). O trecho analisado nesta pesquisa está inserido no segmento médio do sistema fluvial, conforme classificação de Latrubesse e Stevaux (2002), e abrange uma extensão de 4 km no entorno da confluência dos rios Araguaia e Vermelho (Figura 01), nas imediações da cidade de Aruanã (GO). Nesse trecho, o rio Araguaia se caracteriza pela presença de diversas geoformas fluviais, com destaque para as acumulações de depósitos sedimentares, especialmente barras laterais, centrais e de tributário (Assis e Bayer, 2020; ASSIS et al., 2025b).

Figura 01 – A - Localização da bacia hidrográfica do rio Araguaia no Brasil. B - Localização da bacia hidrográfica do rio Araguaia. C - Localização da confluência dos rios Araguaia e Vermelho. Imagem Landsat/OLI de 14 de setembro de 2019, composição colorida R(5)G(4)B(3). Base de Dados: IBGE/MMA/ANA/ANADEM.



Fonte: Os/as autores/as, 2025.

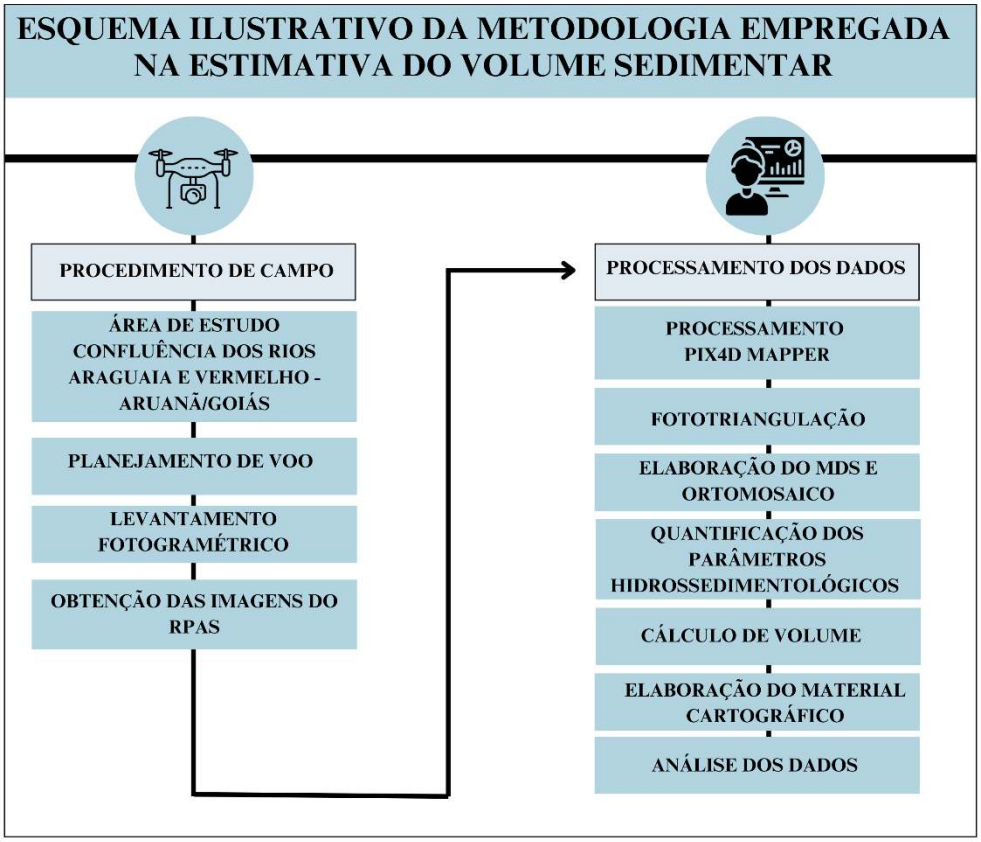
Desenho experimental

Para a realização do levantamento aéreo com o RPAS, foi selecionado um trecho médio do rio Araguaia, com aproximadamente 4 km de extensão, na confluência com o rio Vermelho, onde foram realizadas atividades interdisciplinares in loco no ano de 2019. As imagens aéreas foram obtidas no dia 17/10/2019, coincidindo com os seguintes parâmetros hidrológicos, registrados pela Estação Fluviométrica de Aruanã (Código 25200000 – Latitude S 14° 54'

46.08" e Longitude W 51° 4' 53.04"), integrante da Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN) e operada pela CPRM sob responsabilidade da Agência Nacional de Águas (ANA): cota altimétrica de 163 cm e vazão de 326,15 m³/s.

Nesse sentido, o esquema apresentado na Figura 2 descreve as principais etapas de planejamento, aquisição de imagens, processamento e análise de dados, com o objetivo de garantir maior acurácia e qualidade na quantificação dos volumes sedimentares.

Figura 02 – Esquema ilustrativo da metodologia empregada na estimativa do volume sedimentar.



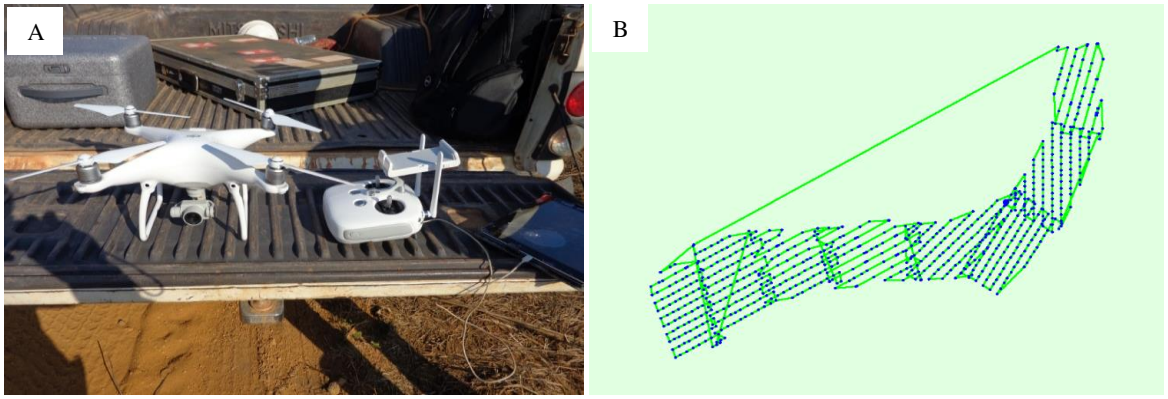
Fonte: Os/as autores/as (2025).

Procedimentos de campo

Este trabalho utilizou, como base para o processamento e a análise dos dados, um conjunto de fotografias aéreas obtidas por um RPAS de baixo custo e fácil operação, capturadas em 17 de outubro de 2019. A plataforma aérea utilizada foi do tipo multirrotor (quadricóptero), marca/modelo DJI Phantom 4 (Figura 3), devidamente registrada na ANAC. O equipamento estava equipado com uma câmera digital padrão RGB, com resolução de 12,1 megapixels,

capaz de gerar imagens com alta resolução espacial (na ordem de centímetros). Os voos foram realizados a uma altitude de 120 metros.

Figura 03 - (A) RPAS Phantom4 utilizado na pesquisa e (B) apresenta-se o planejamento do voo visando cobrir a confluência dos rios Araguaia e Vermelho em Aruanã - GO, para ser empregado no RPAS realizado - Phantom4.



Fonte: Os/as autores/as (2025).

Processamento dos dados

O processamento computacional das imagens e a geração do Modelo Digital de Superfície (MDS) foram realizados no software Pix4D Mapper (Quadro 01), que permitiu calcular automaticamente as posições e orientações das imagens originais por meio da Aerotriangulação Aérea (AAT) e do Ajustamento de Feixes em Bloco (Bundle Block Adjustment – BBA) (Barcelos, 2018).

Com base na nuvem de pontos tridimensionais obtida durante a AAT e o BBA, gerou-se o MDS pela conexão desses pontos. Em seguida, o ortomosaico aerofotogramétrico foi criado a partir da projeção e combinação das imagens originais, com suporte do MDS (Pix4d, 2013). Esse procedimento, denominado fototriangulação, possibilitou a determinação das coordenadas tridimensionais dos pontos capturados em voo, sendo a ortoimagem o principal produto resultante.

A partir do MDS e da ortoimagem — isto é, um mosaico de fotografias com projeção ortogonal, cujas deformações foram corrigidas ou controladas —, foi possível selecionar alvos para a medição de volumes, sejam eles positivos (como árvores, edificações ou quaisquer elevações) ou negativos (tais como perda de solo por erosão e zonas de rebaixamento local no leito ou margens). No presente estudo, o cálculo volumétrico foi direcionado aos depósitos sedimentares (barras arenosas), com o objetivo de avaliar as características morfológicas e os processos deposicionais na confluência dos rios Araguaia e Vermelho.

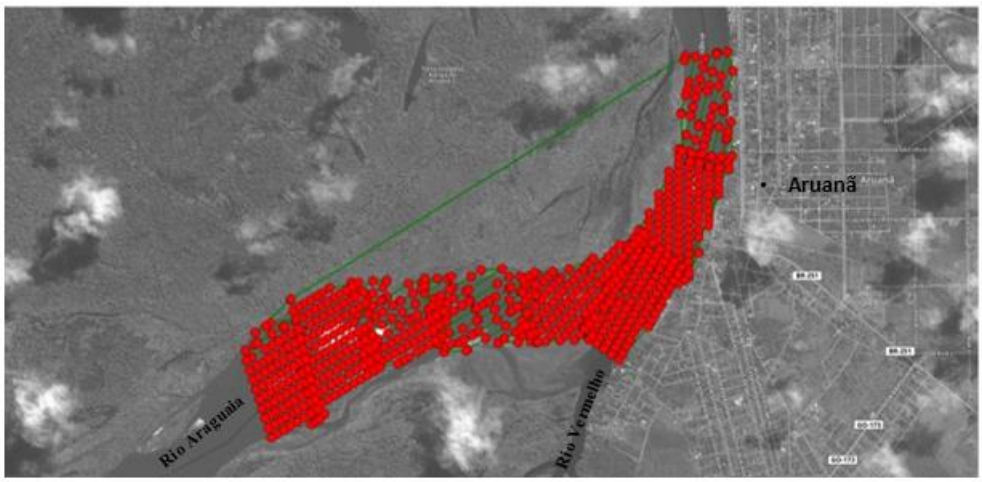
Quadro 01 - Conjunto de dados de entrada para o processamento no software Pix4DMapper

Conjunto de dados do processamento no software Pix4DMapper	
Project_araguaia_aruana_150m_171019	Processado 23-10-2019 ;15:59:55
Câmera	FC330_3.6_4000x3000 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD) - representação de cada pixel da imagem em unidades de terreno	6.53 cm
Área	4.02 km^2 / 401.87 ha / 1.55 sq. milhas. / 993.5470 acres
Processamento de dados	681 de 725 imagens calibradas (93%)

Fonte: Os/as autores/as (2025).

Para o alinhamento e a fototriangulação, as imagens foram orientadas e posicionadas conforme ilustrado na Figura 04, com base na correspondência de pontos homólogos entre as imagens e nas coordenadas de cada cena, obtidas automaticamente durante o voo. Esse procedimento gerou os primeiros pontos de enlace, que serviram de base para as etapas subsequentes do processamento. Conforme Barcelos (2018, p. 39), "a obtenção de um posicionamento inicial em campo possibilita maiores ajustes na posição planimétrica, fazendo correções das fotografias em relação aos pontos rastreados".

Figura 04 - Fototriangulação e alinhamento das imagens para o processamento inicial, com referência à área de estudo.

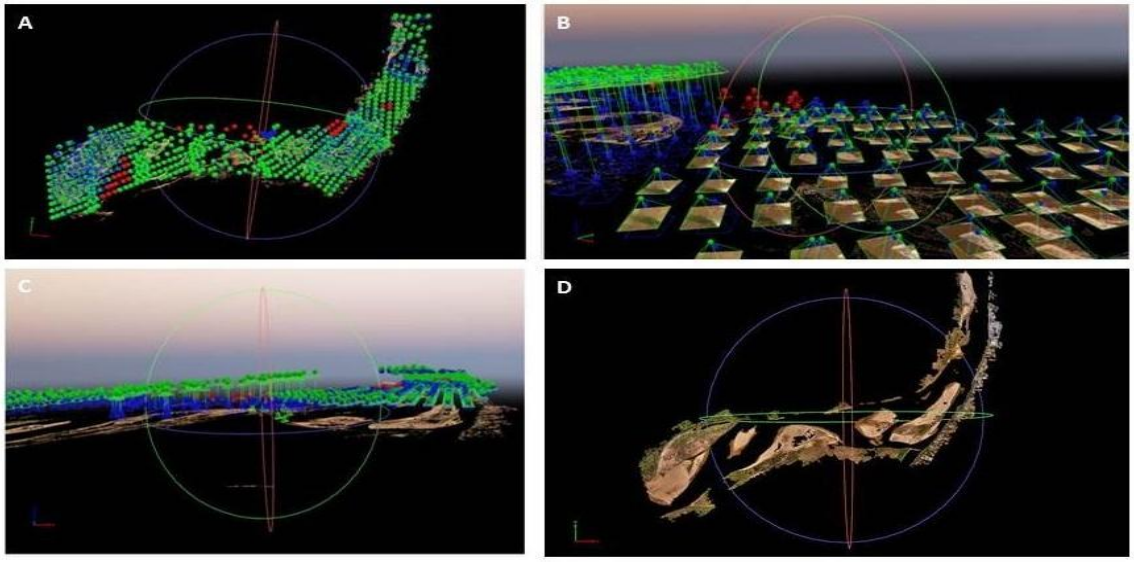


Fonte: Os/as autores/as (2025).

A construção do modelo tridimensional, iniciou-se com a formação da nuvem de pontos e das malhas. Essa etapa baseou-se nos pontos de enlace, que correspondiam à localização dos pontos de correlação entre as cenas pelo software, utilizados como pontos de ligação na fototriangulação e na densificação. O produto resultante desse processamento foi denominado nuvem de pontos esparsa. Em seguida, gerou-se a nuvem de pontos densificada, na qual novos pontos de enlace foram criados, preenchendo a representação da área de estudo e conferindo maior qualidade e realismo ao modelo (Figura 05).

Com base nos parâmetros de orientação interior das imagens, os pontos foram processados em um mesmo referencial, formando uma nuvem de pontos tridimensional que possibilitou a reconstrução do modelo 3D. Para cada ponto da nuvem, foram armazenadas as coordenadas X, Y e Z, bem como informações de cor, o que permitiu o reconhecimento e a realização de medições diretamente no modelo digital de superfície, como distâncias, áreas e volumes (Barcelos, 2018).

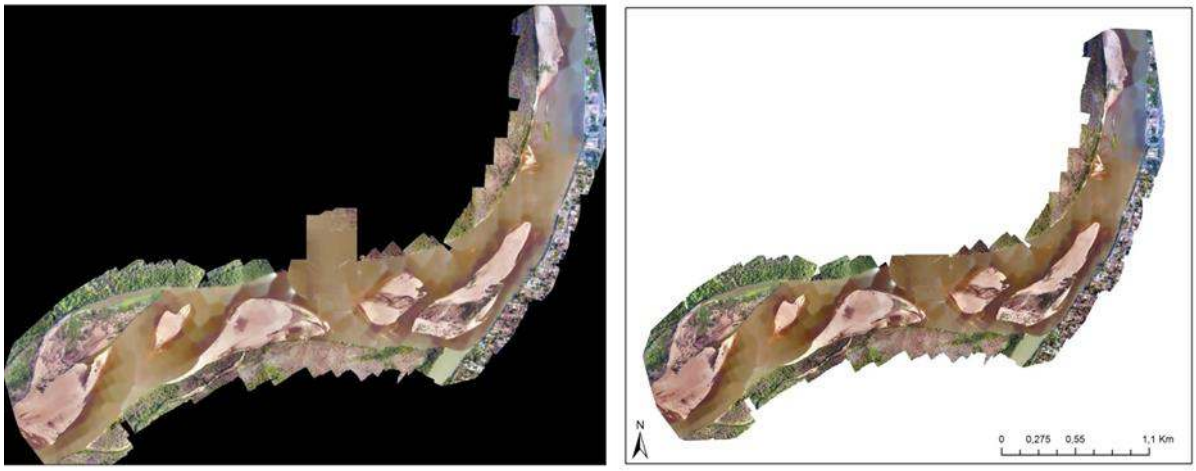
Figura 05 – Formação das nuvens de pontos esparsa (A); (B) Fototriangulação inicial; (C) e (D) Densificação dos pontos para geração do MDS.



Fonte: Os/as autores/as (2025).

Com base na nuvem de pontos densificada, foi possível criar uma malha texturizada tridimensional, o que possibilitou a etapa subsequente: a criação do ortomosaico, fundamentada na ortorretificação (Figura 06), realizada automaticamente pelo software Pix4D Mapper. Ressalte-se que esse método removeu as distorções de perspectiva das imagens (Pix4d, 2013), por meio da correção de todas as deformações decorrentes da projeção da câmera, as quais podiam ser causadas pelos movimentos da aeronave e eram atenuadas quando o sensor fotográfico estava acoplado a um berço estabilizador. Além disso, o processo corrigiu as variações do relevo, dispondo as imagens em uma mesma escala e permitindo, assim, a vetorização precisa de elementos espaciais, sejam eles referentes a distâncias, áreas ou volumes.

Figura 06 – Modelo Digital de Superfície (figura à esquerda) e ortomosáico (à direita), com referência à área de estudo.



Fonte: Os/as autores/as (2025).

Considerando as condições climáticas, a disponibilidade de bateria e a navegabilidade do rio para a realização do trabalho de campo, foi possível realizar o voo sobre uma área de 4,02 km², na qual foram identificados oito depósitos sedimentares (barras arenosas), os quais foram representados por oito polígonos vetorizados no Pix4D Mapper. Com base nos volumes gerados para cada polígono no software, procedeu-se ao cálculo da massa para determinar a quantidade de material sedimentado.

Nesse sentido, assumiram-se as seguintes características sedimentológicas, conforme a Equação 01:

$$M = D \times V \qquad \text{Equação 01}$$

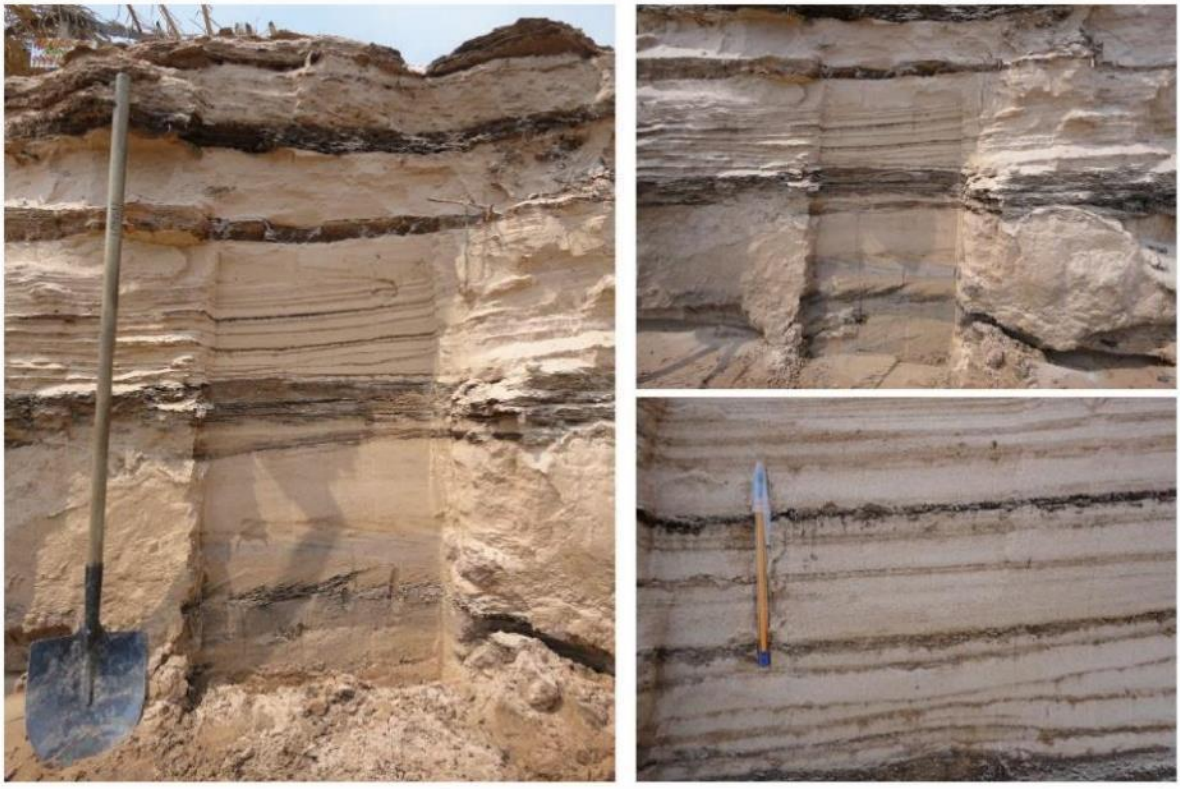
Na qual:

- M representa a massa dos sedimentos (em kg);
- D é a densidade aparente dos sedimentos (em kg/m³);
- V corresponde ao volume dos sedimentos (em m³).

Dessa forma, adotaram-se as seguintes composições texturais para os polígonos representativos das barras arenosas: 80% de areia e 20% de sedimentos finos, referentes ao volume total definido em cada polígono. A densidade aparente dos sedimentos arenosos foi estabelecida em aproximadamente 1.490 kg/m³, enquanto a dos sedimentos finos foi estimada em 1.328 kg/m³. Esses parâmetros foram determinados por Latrubesse et al. (2009), a partir do levantamento de mais de duzentos perfis sedimentológicos e de perfurações por vibro-núcleo.

Considerando as características granulométricas associadas aos distintos ciclos deposicionais, evidenciados pelas variações cromáticas entre tonalidades claras e escuras no perfil sedimentológico (Figura 07), foi possível estimar a massa total de sedimentos armazenados, expressa em toneladas, ao longo do trecho analisado do canal.

Figura 07 – Exemplo de perfil sedimentológico dos depósitos sedimentares localizados na confluência dos rios Araguaia e Vermelho.



Fonte: Os/as autores/as (2025).

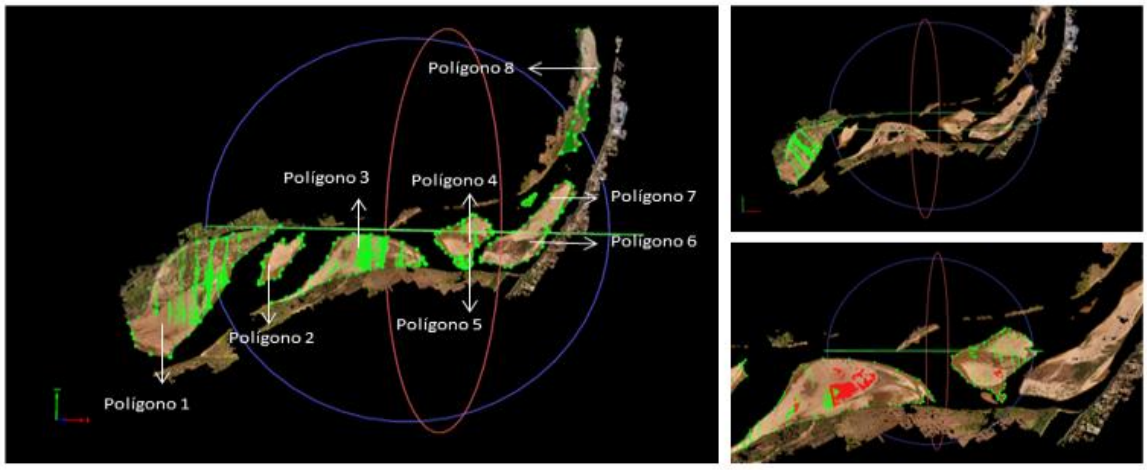
Por fim, os mapas cartográficos e as figuras apresentados neste artigo foram elaborados utilizando os softwares Pix4Dmapper e ArcGIS 10.3, com aquisição de bases vetoriais provenientes da plataforma do Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás (SIEG), do Ministério do Meio Ambiente (MMA), do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e da Agência Nacional de Águas (ANA).

Resultados e discussões

Assis et al. (2025b), ao analisarem a evolução morfológica da confluência dos rios Araguaia e Vermelho ao longo de 51 anos (1972–2023), por meio de imagens da série histórica Landsat, identificaram uma elevada mobilidade planimétrica da confluência, evidenciando seu caráter instável e em constante reconfiguração morfológica, com a intensificação dos processos de deposição nos últimos 20 anos.

Nesse contexto, a quantificação volumétrica desses sedimentos torna-se fundamental para a compreensão da magnitude dos depósitos recentes e da evolução geomorfológica da confluência. A partir dos procedimentos metodológicos adotados e do processamento das imagens obtidas por RPAS, foram delimitados polígonos representativos das barras arenosas sobre o Modelo Digital de Superfície (MDS) da área de estudo, o qual apresentou resolução espacial de 6,53 cm/pixel (GSD). Com base nesses polígonos, foram efetuados os cálculos de área e volume (Figura 08), fornecendo estimativas quantitativas dos depósitos sedimentares. No processo de quantificação volumétrica, o software Pix4D Mapper considerou a triangulação dos pontos de base e a altitude de cada vértice dos polígonos. A estimativa do comprimento e da largura das barras foi baseada no GSD do projeto, enquanto a altura de cada célula foi determinada pela diferença entre a altitude da superfície da barra arenosa e a cota altimétrica da lâmina d'água, definida automaticamente a partir do MDS. Esse procedimento permitiu uma modelagem precisa do relevo subaéreo das barras, contribuindo para a caracterização morfológica e sedimentar da confluência.

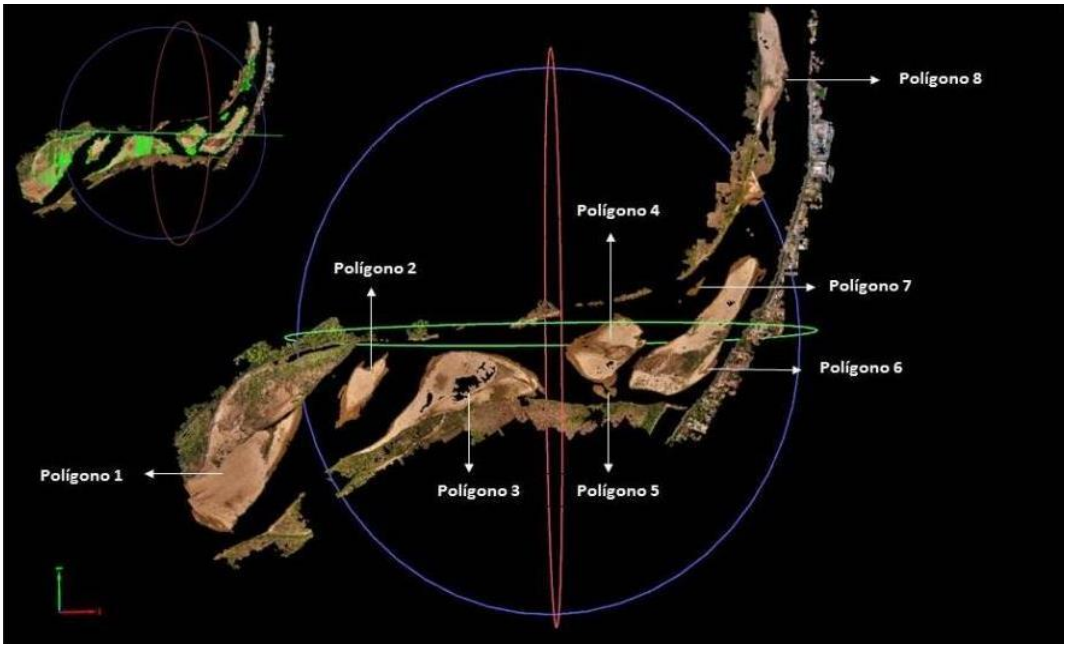
Figura 08 - Múltiplas visualizações dos mosaicos aerofotogramétricos, sobrepostos pelos polígonos limítrofes das barras arenosas na confluência dos rios Araguaia e Vermelho.



Fonte: Os/as autores/as (2025).

Os polígonos delimitados serviram como base para o cálculo do volume de sedimentos depositados, expresso em toneladas. Considerou-se desprezível a presença de vegetação pioneira eventualmente existente sobre as barras arenosas, predominantemente composta por gramíneas. Dessa forma, todo o volume situado acima da cota altimétrica da lâmina d'água, fixada em 163 cm, foi incorporado à estimativa volumétrica gerada no software Pix4DMapper (Figura 09)

Figura 09 – Delimitação dos polígonos e o cálculo de volume no Pix4D.



Fonte: Os/as autores/as (2023).

Considerando as características granulométricas e sedimentológicas, realizou-se o cálculo final do volume depositado/armazenado, cujos resultados estão apresentados no Quadro 02.

Quadro 02 - Cálculo do volume de sedimentos depositados nas barras arenosas, consideradas neste estudo por polígono (8 polígonos ao todo).

Polígonos nas Barras arenosas	Area (km^2)	Volume (m^3)	Volume (ton.) M = D x V
1	0,414	187.026,52	272.609,84
2	0,050	15.563,69	22.685,62
3	0,202	202631,35	295.355,44
4	0,111	40.754,81	59.404,20
5	0,030	323,63	478,36
6	0,216	361.539,51	526.979,98
7	0,003	383,45	558,91
8	0,127	96.213,15	140.240,28
Total	1,153	904436,11	1.318.312,63

Fonte: Os/as autores/as (2025).

Com base nos processamentos fotogramétricos, bem como nas características granulométricas e sedimentológicas, foi possível mensurar aproximadamente 1.318.312,63 toneladas de sedimentos depositados/armazenados na área de estudo, distribuídos ao longo de cerca de 4 km do trecho médio do rio Araguaia (Figura 10). Essa estimativa refere-se ao dia 17 de outubro de 2019, considerando uma cota altimétrica de 163 cm e uma vazão de 326,15 m³/s.

Figura 10 - Fotos aéreas dos depósitos sedimentares armazenados na confluência do rio Araguaia com o rio Vermelho, registradas em 17 de outubro de 2019, com a identificação de alguns polígonos avaliados.



Fonte: Os/as autores/as (2025).

Distribuição e dinâmica dos depósitos sedimentares na confluência dos rios Araguaia e Vermelho

Durante curtos intervalos de tempo — como anos ou décadas — os canais fluviais depositam sedimentos em seu leito, especialmente em áreas onde a velocidade do fluxo é inferior à velocidade crítica de transporte, seja junto às margens, em canais secundários ou no próprio canal principal (Stevaux e Latrubesse, 2017). Esse processo favorece a formação de depósitos sedimentares, que consistem em formas com distintos graus de mobilidade, originadas a partir da deposição de materiais previamente em transporte. Esses sedimentos podem permanecer armazenados no sistema, formando feições como ilhas e barras, ou serem remobilizados, caso ocorram alterações nas condições de fluxo ou na descarga sedimentar do sistema fluvial (Santos et al., 1992; Morais, 2006).

As barras arenosas, em particular, desempenharam um papel fundamental na modelagem da configuração morfológica da confluência nos últimos 50 anos (Assis et al., 2025). Na área de estudo, foram identificados depósitos sedimentares classificados como barras laterais, centrais e de tributário. As barras laterais se desenvolvem junto às margens do canal, onde a velocidade de transporte de sedimentos é reduzida devido à ação fluvial, podendo estar associadas à geomorfologia do canal (Santos et al., 1992). Esse tipo de barra tende a produzir talvegues sinuosos, favorecendo a deposição de sedimentos nas margens (Thorne et al., 1998). As barras centrais são depósitos sedimentares formados no centro do canal, resultantes tanto de processos erosivos quanto deposicionais (Stevaux e Latrubesse, 2017). Já a barra de tributário corresponde a um depósito sedimentar que se forma na junção fluvial entre dois rios (Assis et al., 2025b).

Considerando as barras laterais, barras centrais e de tributário foi possível realizar a classificação abaixo (Quadro 03):

Quadro 03 - Características das barras arenosas na confluência dos rios Araguaia e Vermelho

Barras Arenosas	Quant. (N°)	Area (km²)	Volume (tn)
Barras Laterais (Polígonos 1, 3, 8)	3	0,743	708.205,562
Barras Centrais (Polígonos 2, 4, 5, 7)	4	0,19	83.127,09
Barra de Tributário (Polígono 6)	1	0,216	526.979,98
Total	8	1,153	1318312,632

Fonte: Os/as autores/as (2025).

Foi possível identificar que as barras laterais (polígonos 1, 3 e 8) correspondem à maior extensão superficial (0,743 km²) e ao maior volume de sedimentos depositados (708.205,562 toneladas). Esse predomínio está relacionado, principalmente, à proximidade dessas barras com as margens do canal, onde a velocidade do fluxo é naturalmente reduzida, favorecendo os processos de deposição.

Essa dinâmica tende a se intensificar durante os períodos de cheia, quando a elevação da cota altimétrica do canal amplia sua capacidade de transporte e deposição de sedimentos. Além disso, as barras laterais apresentam maior potencial de estabilização, uma vez que tendem a se anexar às margens do canal, contribuindo, gradualmente, para a formação da planície aluvial (Assis et al., 2025b).

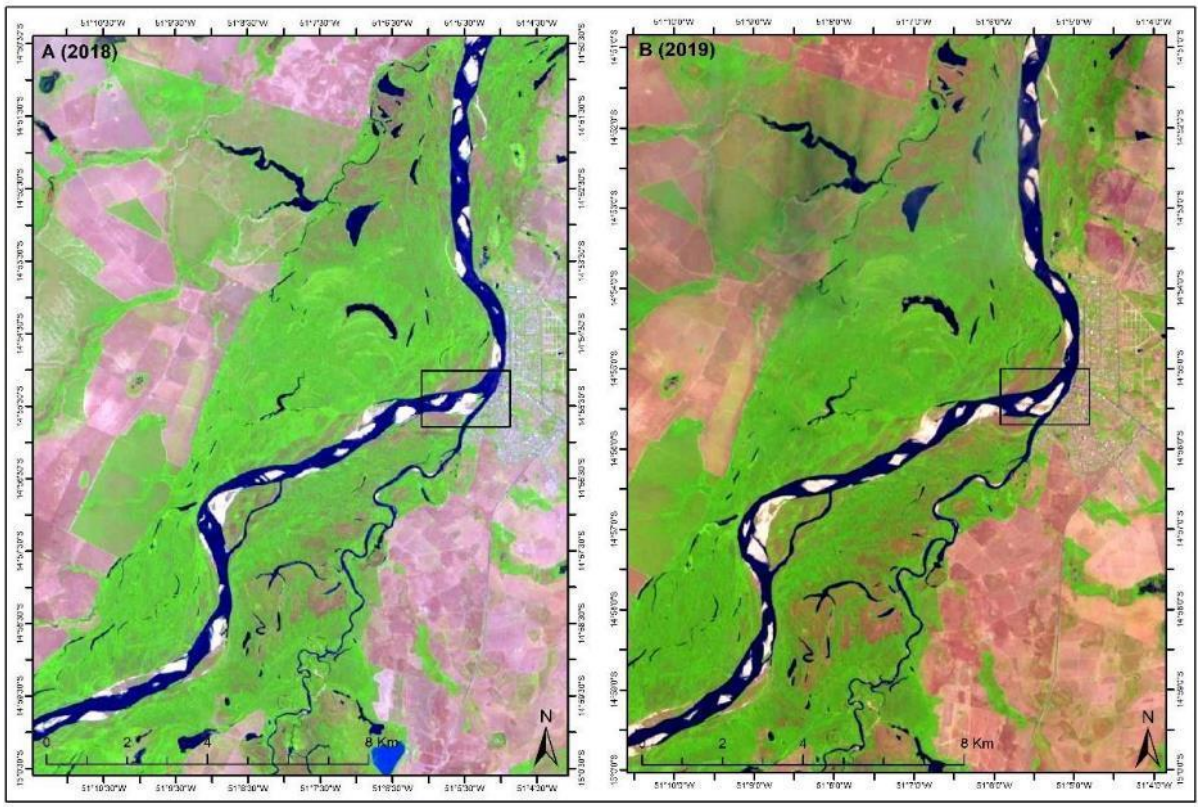
As barras centrais (polígonos 2, 4, 5 e 7) apresentaram valores inferiores de área e volume sedimentar, especialmente porque sua formação ocorre ao final do período de vazante máxima, quando a energia fluvial é reduzida e os fluxos de descarga apresentam baixa

intensidade, resultando em uma capacidade de transporte sedimentar limitada. Essas barras também demonstram elevada instabilidade e maior propensão à migração, podendo, inclusive, ser completamente erodidas entre um ano hidrológico e outro.

Observa-se que a barra de tributário, representada pelo polígono 6 na Figura 11(A), encontrava-se anexada à margem direita do canal em 2018. No entanto, conforme registrado na Figura 11(B), verifica-se uma redução significativa em sua extensão e volume no ano de 2019 — ano em que foi realizado o voo —, indicando um processo de erosão ativa e a consequente remoção parcial dos sedimentos.

Segundo Assis et al. (2025b), essa barra de tributário apresentou mudanças expressivas ao longo das décadas, com sua ausência registrada em diversos anos (1981, 1982, 1988, 1989, 1992, 1993, 1994, 1996 e 1997). O ano de 2007 a barra atingiu uma área de 1,04 km². A partir desse ano, houve uma acentuada oscilação na extensão da barra de tributário, acompanhada por uma tendência geral de declínio, resultando em uma área de apenas 0,23 km² em 2023.

Figura 11 - (A) Dinâmica sedimentar na confluência do rio Araguaia com o rio Vermelho em 2018. Data da aquisição: 13/10/2018.ID: L1C_T22LDJ_A017281_20181013T134207. Plataforma: SENTINEL-2A. (B) Dinâmica sedimentar na confluência do rio Araguaia com o rio Vermelho em 2018. Data de aquisição: 13/10/2019. ID: L1C_T22LDJ_A013592_20191013T134556. Plataforma: SENTINEL-2B.



Fonte: Os/as autores/as (2025).

Assis et al. (2025b) discutiram que o mapeamento da confluência entre os rios Araguaia e Vermelho, associado à delimitação das margens fluviais, possibilitou a identificação de um movimento pendular na junção fluvial, caracterizado por avanços e recuos alternados ao longo do tempo, o que evidencia sua natureza morfologicamente instável. No período compreendido entre 1972 e 2023, a posição da confluência apresentou um deslocamento máximo estimado de até 2,5 km (Assis et al., 2025b).

Assis et al. (2025b), ao analisarem a confluência no período de 1972 a 2023, revelam uma instabilidade morfológica acentuada, marcada por transformações contínuas nos processos erosivos e deposicionais, na mobilidade das margens e na reconfiguração das barras arenosas, tanto em sua tipologia quanto em sua quantidade. Além disso, foram identificadas mudanças no ângulo e na posição da junção fluvial, assim como a presença de uma zona de escavação associada à tendência de reposicionamento do canal.

A mobilidade do sistema fluvial está também associada à migração das barras e do talvegue, à colonização vegetal sobre as barras arenosas e à erosão diferencial das margens, processos esses condicionados pelas unidades morfossedimentares da planície (Assis et al., 2025b). Dessa forma, a resposta morfológica da confluência reflete a complexa interação entre o regime hidrossedimentar sazonal e a heterogeneidade litológica das margens, configurando um ambiente fluvial altamente dinâmico, sujeito a constantes ajustes laterais e verticais (Assis et al., 2025b).

Nesse contexto, a permanência ou remobilização desses depósitos sedimentares está diretamente relacionada a diversos fatores, dentre os quais destaca-se o processo de consolidação da vegetação ao longo dos ciclos hidrológicos anuais. A presença e o desenvolvimento dos estágios iniciais da sucessão vegetacional dificultam a ação erosiva sobre as barras arenosas, influenciando significativamente a estabilidade desses depósitos (Morais, 2006) (Figura 12).

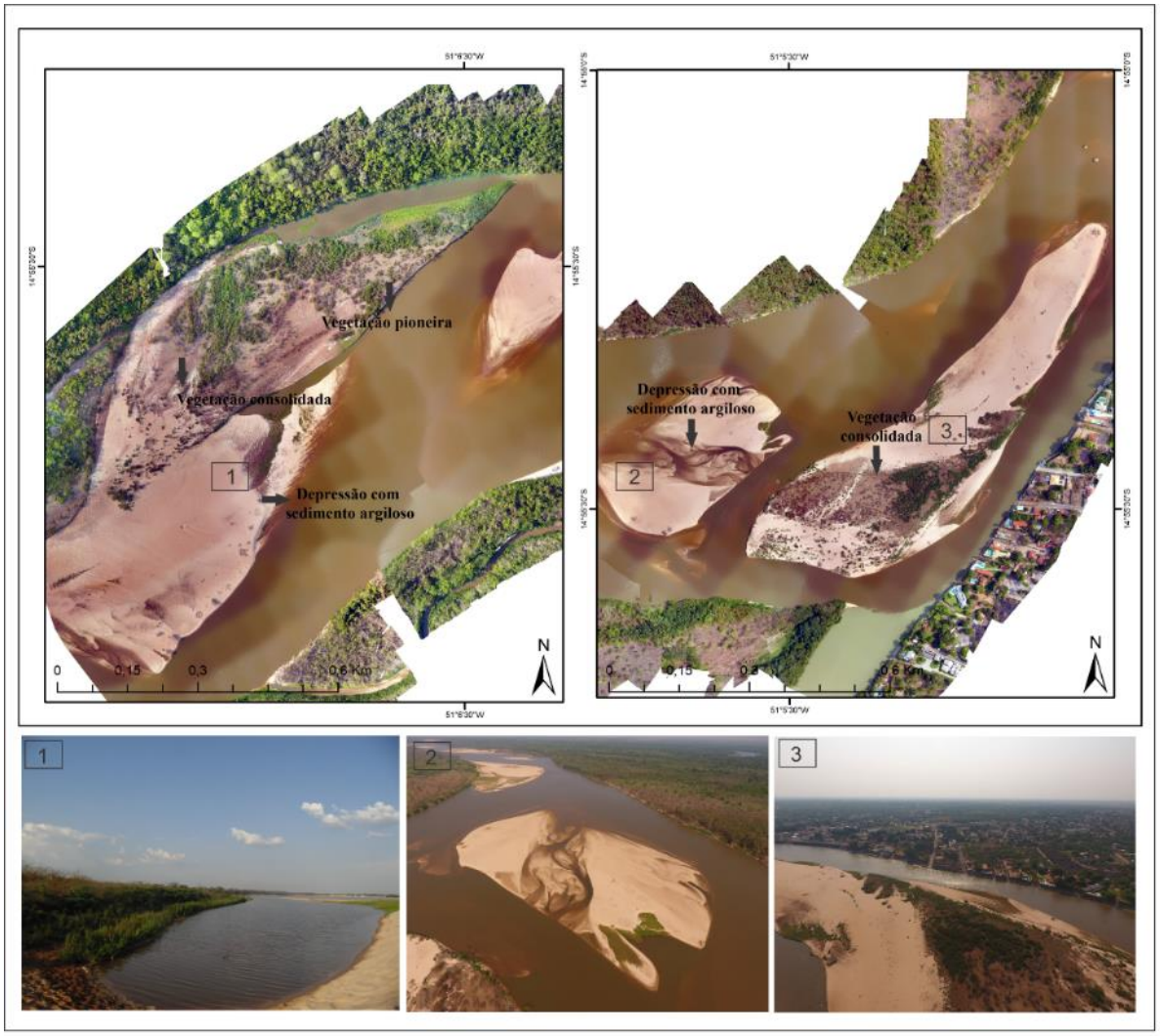


Figura 12 - Processo de consolidação e sucessão vegetacional nas barras arenosas, confluência com o Rio Vermelho - Aruanã/GO. Imagem aérea realizada com VANT. 2019. Fonte: Os/as autores/as (2023).

De acordo com Bayer e Zancopé (2014), a deposição de sedimentos e a arquitetura interna dos depósitos estão diretamente relacionadas aos processos de acresção lateral, uma vez que se caracterizam, principalmente, pela intercalação de areias grossas e médias com sedimentos finos, os quais indicam mudanças nos ciclos hidrológicos. A sucessão vegetal associada a esse trecho médio do rio Araguaia inicia-se por meio da fixação com vegetação pioneira herbácea, frequentemente instalada em pequenas depressões. Durante o período das cheias, essas depressões são preenchidas por sedimentos argilosos ricos em matéria orgânica, e, na estação seca, possibilitam rápida colonização por gramíneas, ciperáceas e alguns arbustos.

O crescimento acelerado da vegetação, conforme observado por Latrubesse e Stevaux (2002) e Assis et al., (2025b), favorece a fixação do material sedimentar depositado, contribuindo para a preservação da barra arenosa ao longo dos ciclos hidrológicos subsequentes

e para sua consolidação definitiva. Além disso, esse processo desempenha um papel importante na construção gradual da planície aluvial, promovendo, ao longo do tempo, a ampliação das áreas de deposição sedimentar. Tal dinâmica tem sido um dos principais fatores responsáveis pela consolidação da barra de tributário, sua anexação à planície e pelo avanço da confluência nos últimos 20 anos (Assis et al., 2025b).

Embora este estudo tenha avançado na quantificação volumétrica dos sedimentos depositados e estocados no trecho médio do rio Araguaia, persistem lacunas significativas no conhecimento acerca da dinâmica sedimentar desse rio, especialmente em áreas de confluências fluviais. A literatura apresenta uma escassez de estudos detalhados que integrem medições volumétricas precisas a análises estratigráficas e sedimentológicas no contexto das confluências do rio Araguaia — ambientes caracterizados por elevada complexidade hidrossedimentar e geomorfológica.

Além disso, ainda é necessário aprofundar a compreensão das diferenças granulométricas e sedimentares entre os distintos tipos de barras presentes nas confluências — laterais, centrais e de tributários —, as quais, em função de seus processos formativos, podem apresentar características texturais e estruturais bastante heterogêneas. Em particular, a quantificação do volume de sedimentos estocados carece de abordagens que considerem essa variabilidade vertical e lateral dos depósitos, bem como os processos de remobilização e redistribuição sedimentar. A escassez de estudos estratigráficos detalhados e de perfis sedimentológicos limita a compreensão dos ciclos deposicionais e erosivos que moldam essas áreas sensíveis, dificultando a elaboração de modelos integrados e dinâmicos capazes de prever as respostas morfodinâmicas frente às variações hidrológicas e às intervenções antrópicas na bacia.

Dessa forma, torna-se imprescindível a realização de pesquisas que associem técnicas avançadas de sensoriamento remoto, modelagem tridimensional, descrição detalhada de perfis sedimentares e análises granulométricas das barras arenosas, a fim de proporcionar um panorama mais abrangente sobre o volume, a composição e a estabilidade dos sedimentos estocados no rio Araguaia.

Considerações Finais

A aplicação de técnicas de aerofotogrametria no médio curso do rio Araguaia, mediante o uso de uma Plataforma Aérea Não Tripulada (RPAS) de baixo custo, viabilizou a identificação, o mapeamento e a quantificação dos depósitos sedimentares em um trecho

específico do canal fluvial localizado na confluência dos rios Araguaia e Vermelho, no município de Aruanã (GO). O emprego de perfis sedimentológicos, associado aos produtos gerados a partir do processamento de imagens aéreas no software Pix4D Mapper — como modelos digitais de superfície (MDS) e mosaicos aerofotogramétricos —, bem como o uso de ferramentas de geoprocessamento, possibilitou a estimativa de aproximadamente 1.318.312,63 toneladas de sedimentos depositados ao longo de cerca de 5 km de extensão fluvial, com referência à data de 17 de outubro de 2019, cota altimétrica de 163 cm e vazão de 326,15 m³/s.

Adicionalmente, identificou-se que as barras laterais representam a maior área e volume de sedimentos depositados nesse trecho do canal fluvial do rio Araguaia, quando comparadas às barras centrais e à barra de tributário. Em um contexto de intensificação das pressões antrópicas e de alterações no regime hidrossedimentar da bacia hidrográfica do rio Araguaia, os métodos adotados neste estudo mostraram-se eficazes e promissores para a obtenção de estimativas rápidas e de alta resolução espacial sobre os processos de sedimentação fluvial. A integração entre técnicas de aerofotogrametria, modelagem tridimensional e análise sedimentológica configura um avanço metodológico relevante, com elevado potencial de aplicação em outros rios aluviais com dinâmica morfossedimentar semelhante.

Essas ferramentas oferecem subsídios importantes para a construção de modelos preditivos e para o desenvolvimento de estratégias de planejamento e gestão ambiental voltadas à conservação desse relevante sistema fluvial do Cerrado, reconhecido por seus serviços ecossistêmicos e por sua importância sociocultural.

Agradecimentos

Os autores/as desta pesquisa agradecem o apoio financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), bem como o suporte institucional do Laboratório de Geomorfologia, Pedologia e Geografia Física (LABOGEF), do Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento (LAPIG), do Instituto de Estudos Socioambientais (IESA) e do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (CIAMB), todos vinculados à Universidade Federal de Goiás (UFG), cujo suporte foi fundamental para a realização deste estudo.

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: regiões hidrográficas brasileiras – Edição Especial**. Ministério de Meio Ambiente (MMA). Brasília - DF, 2015.

ALLEN, P. M.; HOBBS, R.; MAIER, N. D. **Downstream impacts of a dam on a bedrock fluvial system, Brazos River, Central Texas**. Bulletin of the Association of Engineering Geologists, v. 26, n. 02, p. 165-189, 1989.

ASSIS, P. C.; BAYER, M. **Análise multitemporal do sistema fluvial do rio Araguaia, Aruanã – Goiás, Brasil**. Elisée - Revista de Geografia da UEG, v. 09, n. 02, p. 01-18, 2020.

ASSIS, P. C; SILVA, A.P.M.; FARIA, K.M.S.; BAYER, M. **Implicações das transformações no uso e cobertura da terra na gestão hídrica da bacia hidrográfica do rio Araguaia**. Revista Geotemas, Pau dos Ferros, v. 15, p. e02504, 2025a. DOI: 10.33237/2236-255X.2025.6459.

ASSIS, P. C.; ZANCOPÉ, M. H. C.; SIQUEIRA, L. F.; MACEDO, H. A.; BAYER, M. **Five decades of morphological evolution and hydro-sedimentary interactions in a fluvial confluence in the Brazilian Cerrado**. Revista Brasileira De Geomorfologia, 26(2), 2025b. https://doi.org/10.20502/rbg.v26i2.262.

BARBALHO, M. G. S. **Morfopedologia aplicada ao diagnóstico e diretrizes para o controle dos processos erosivos lineares na alta bacia do rio Araguaia (GO/MT)**. 2002. 146 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Estudos Socioambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2002.

BARCELOS, M. Q. **Estimativa de volume para a cana-de-açúcar por meio de imagens obtidas de aeronave remotamente pilotada**. 61 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Agrimensura e Cartográfica) – Universidade Federal de Uberlândia, Monte Carmelo, 2018.

BAYER, M. **Dinâmica do Transporte, composição e estratigrafia dos sedimentos da planície aluvial do rio Araguaia**. 104 f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010.

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**. Revista Confins, n. 48, p. 01-13, 2020.

BAYER, M.; ZANCOPÉ M.H.C. **Ambientes sedimentares da Planície aluvial do Rio Araguaia**. Revista Brasileira de Geomorfologia, Brasília, v. 15, n. 02, p. 203-220, 2014.

BENDA, L.; DUNNE, T. **Stochastic forcing of sediment routing and storage in channel networks**. Water Resources Research, v. 33, n. 12, p. 2865-2880, 1997.

BEST, J. L. **Sediment transport and bed morphology at river channel confluences**. Sedimentology, v. 35, n. 03, p. 481-498, 1988.

BEST, J. L. **The morphology of river channel confluences**. Progress in Physical Geography, v. 10, n. 2, p. 157-174, 1986.

BEST, J. L.; RHOADS, B. L. **Sediment transport, bed morphology and the sedimentology of river channel confluences**. In: RICE, S. P.; ROY, A. G.; RHOADS, B. L. (Org.). River Confluences, Tributaries and the Fluvial Network. London: John Wiley & Sons Ltd, 2008. p.45-72.

BIRON, P. M.; ROY, A. G.; BEST, J. L.; BOYER, C. J. **Bed morphology and sedimentology at the confluence of unequal depth channels**. Geomorphology, v. 08, n. 02, p. 115-129, 1993.

BIRON, P. M.; RICHER, A.; KIRKBRIDE, A.; ROY, A. G.; HAN, S. **Spatial patterns of water surface topography at a river confluence**. Earth Surface Processes and Landforms, v. 27, p. 913-928, 2002.

BOYER, C.; ROY, A. G.; BEST, J. L. **Dynamics of a river channel confluence with discordant beds: flow turbulence, bed load sediment transport, and bed morphology**. Journal of Geophysical Research: Earth Surface, v. 111, n. F4, p. 01-16, 2006.

CASTRO, S. **Erosão hídrica na alta bacia do rio Araguaia: distribuição, condicionantes, origem e dinâmica atual. Revista do Departamento de Geografia, São Paulo**, v. 17, p. 38-60, 2005.

CASTRO, S. S.; XAVIER, L. S.; BARBALHO, M. G. S. **Atlas geoambiental das nascentes dos rios Araguaia e Araguainha: condicionantes dos processos erosivos lineares**. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos de Goiás - SEMARH-GO, Goiânia, 2004.

FAGUNDES, M. A. R.; IESCHECK, A. L. In: PRUDKIN, G.; BREUNIG, F. M (Org.). **Uso de VANT na cartografia: geração de base cartográficatridimensional**. Santa Maria: FACOS-UFSM, 2019, p.59-67.

FARIA, K. M. S.; SANTOS, R. A. **Análise espacial da densidade de fragmentos remanescentes e da estrutura da paisagem na sub-bacia do Rio Caiapó - GO**. Ateliê Geográfico, v. 10, n. 02, p. 115-127, 2016.

FRANCO, S. M. **O grande vale do oeste: Transformações da Bacia do Araguaia em Goiás**. 2003. 392 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Estudos Sócio Ambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2003.

GRAF, W. L. **The effect of dam closure on downstream rapids**. Water Resources Research, v. 16, n. 01, p. 129-136, 1980.

GRANT, G. E.; SCHMIDT, J. C.; LEWIS, S. L. **A geological framework for interpreting downstream effects of dams on rivers**. Water Science and Applications, v. 07, p. 209-225, 2003.

GILVEAR, D. J. **Patterns of channel adjustment to impoundment of the upper River Spey, Scotland (1942-2000)**. River Research and Applications, v. 20, p. 151-165, 2004.

ISHIGURO, S.; YAMANO, H.; OGUMA, H. **Evaluation of DSMs generated from multi-temporal aerial photographs using emerging structure from motion-multi-view stereo technology**. Geomorphology, v. 268, n. 01, p. 64-71, 2016.

JAVERNICK, L.; BRASINGTON, J.; CARUSO, B**. Modelling the topography of shallow braided rivers using Structure-from-Motion photogrammetry**. Geomorphology, v. 213, n. 15, p. 166-182, 2014.

KNIGHTON, A. D. **River adjustment to changes in sediment load: The effects of tin mining on the Ringarooma River, Tasmania**, 1875-1984. Earth Surface Processes and Landforms, v. 14, n. 04, p. 333-359, 1989.

LANE, S. N.; WIDDISON, P. E.; THOMAS, R. E.; ASHWORTH, P. J.; BEST, J. L.; LUNT, I. A.; SAMBROOK SMITH, G. H.; SIMPSON, C. J. **Quantification of braided river channel change using archival digital image analysis**. Earth Surface Processes and Landforms, v. 35, n. 08, p. 971-985, 2010.

LATRUBESSE, E. M.; ARIMA, E.; FERREIRA, M. E.; NOGUEIRA, S. H. M.; 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. 01, n. 09, p. 01-08, 2019.

LATRUBESSE, E. M.; STEVAUX J. C. **Geomorphology and environmental aspects of the Araguaia fluvial basin, Brazil**. Zeitschrift für Geomorphologie, v. 129, p. 109-127, 2002.

LATRUBESSE, E.M.; AMSLER, M.L.; MORAIS, R.P.; 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. 03-04, p. 239-252, 2009.

LATRUBESSE, E.M.; STEVAUX, J. C.; BAYER, M.; PRADO, R. **The Araguaia-Tocantins Fluvial Basin**. Boletim Goiano de Geografia, Goiânia, v. 19, n. 1, p.120-127, 1999.

MORAIS, R. P. **A planície aluvial do médio rio Araguaia: processos geomorfológicos e suas implicações ambientais**. 2006. 178 f. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2006.

MOSLEY, M. P.; SCHUMM, S. A. **Gravel-bed rivers - the view from the hills**. In: MOSLEY, M. P. (Ed.). Gravel bed Rivers V. New Zealand Hydrological Society: Wellington, New Zealand, 2001. p. 479-505.

MOSLEY, M. **An experimental study of channel confluences**. The Journal of Geology, v 84, n. 0, p. 535-562, 1976.

MUNARETTO, L. **Vant e drones, aeronáutica ao alcance de todos**. São Paulo: Edição Independente, 2017.

PETTS, G. E. **Impounded rivers: perspective for ecologia management**. Western Europe. Chichester: John Willey & Sons, 1984.

PETTS, G. E.; GURNELL, A. M. **Dams and geomorphology: research progress and future directions**. Geomorphology, v. 71, n. 01-02, p. 27-47, 2005.

PHILLIPS, J. D.; SLATTERY, M. C.; MUSSELMAN, Z. A. **Channel adjustments of the lower Trinity River, Texas, downstream of Livingston Dam**. Earth Surface Processes and Landforms, v. 30, n. 11, p. 1419-1439, 2005.

PIX4D. ***Pix4D training***. 2013. Disponível em: https://s3.amazonaws.com/uav.pix4d.com/examples/training/Pix4D+training.pdf. Acesso em: jul. 2023.

RIBEIRO, M. L.; BLANCKAERT, K.; ROY, A. G.; SCHLEISS, A. J. **Flow and sediment dynamics in channel confluences**. Journal of Geophysical Research: Earth Surface, v. 117, n. 01, 2012. DOI: 10.1029/2011JF002171.

RICE, S. P. Which tributaries disrupt downstream fining along gravel-bed rivers? Geomorphology, v. 22, n. 01, p. 39-56, 1998.

RICE, S. P.; KIFFNEY, P.; GREENE, C.; PESS, G. R. **The ecological important of tributaries and confluences**. In: RICE, S. P.; ROY, A. G.; RHOADS, B. L (Org.). River confluences, tributaries and the fluvial network. London: Jhon Wiley & Sons Ltd, 2008. v. 01, p. 209-242.

SANTOS, M. L.; FERNANDEZ, O. V. Q.; STEVAUX, J. C. **Aspectos morfogenéticos das barras de canal do rio Paraná, trecho de Porto Rico, PR**. Boletim de Geografia - UEM, Maringá, n. 1, v. 10, p. 11-24, 1992.

STEVAUX, J. C.; LATRUBESSE, E. M. **Geomorfologia Fluvial**. São Paulo: Oficina de Textos, Coleção Geografia, 2017.

THORNE, C. R.; HEY, R. D.; NEWSON, M. D. **Applied fluvial geomorphology for river engineering and management**. Chichester: Wiley, 1998. 376 p. ISBN 978-0-471-96968-6.

VALENTE, C.; LATRUBESSE, E.; FERREIRA, L. **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.

VÁZQUEZ-TARRÍO, D.; BORGINET L.; LIÉBAULT, F.; RECKING A. **Using UAS optical imagery and SfM photogrammetry to characterize the surface grain size of gravel bars in a braided river (Vénéon River, French Alps)**. Geomorphology, v. 285, p. 94-105, 2017.