

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRAULICAS E ESCOLA DE ENGENHARIA  
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

Rafael Speggiorin de Oliveira Morais

**ANÁLISE DA GEOMORFOLOGIA FLUVIAL DO SISTEMA ARAGUAIA-JAVAÉS  
A PARTIR DE SENSORIAMENTO REMOTO**

Porto Alegre

2018

Rafael Speggorin de Oliveira Morais

**ANÁLISE DA GEOMORFOLOGIA FLUVIAL DO SISTEMA ARAGUAIA-JAVAÉS  
A PARTIR DE SENSORIAMENTO REMOTO**

Trabalho de conclusão apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Anderson L Ruhoff  
Co-orientador: Me. Ayan Santos Fleischmann

Porto Alegre

2018

Rafael Speggorin de Oliveira Morais

**ANÁLISE DA GEOMORFOLOGIA FLUVIAL DO SISTEMA ARAGUAIA-JAVAÉS  
A PARTIR DE SENSORIAMENTO REMOTO**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado ao Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Ambiental.

Aprovado em: 12 de janeiro de 2018.

Prof. Dr. Anderson L Ruhoff  
Nome do professor - Orientador

**BANCA EXAMINADORA**

Prof. Dr. Gean Paulo Michel, UFRGS  
Nome do professor - instituição

Prof. Dr. Fernando Mainardi Fan, UFRGS  
Nome do professor - instituição

Prof. Me. Alfonso Risso, UFRGS  
Nome do professor - instituição

## **AGRADECIMENTOS**

A minha família pelo apoio, suporte e incentivo ao longo da minha vida.

Aos colegas de curso pelo companheirismo e auxílio ao longo dessa caminhada.

E a todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

## RESUMO

Os rios Araguaia e Javaés compõem um sistema único no bioma do cerrado. Juntos formam a Ilha do Bananal - a maior ilha fluvial do mundo. O clima tropical seco-úmido da região, fortemente sazonal, permite um comportamento bem definido dos seus bancos de areia, onde na estação úmida chegam a desaparecer por completo. Estudos que analisamos comportamentos destes bancos de areia são importantes, pois podem dar pistas sobre mudanças hidroclimáticas na região. Desta forma, este projeto propõe-se a avaliar o comportamento dos bancos de areia encontrados no sistema Araguaia-Javaés, na região norte da bacia do médio Araguaia, e compará-los com a hidrologia e os eventos extremos observados na região, bem como analisar seu comportamento interanual, utilizando-se de técnicas de sensoriamento remoto, considerando a possibilidade de utilizá-los como *proxies* hidroclimáticos. Para isso foram analisadas imagens dos satélites Landsat 5 e Landsat 8 de órbita-ponto 223-067 para o período de 1984 a 2017. Estas imagens foram analisadas e classificadas através do método *Isocluster Unsupervised Classification* para se obter os valores das áreas referentes as extensões dos bancos de areia, que foram subsequentemente comparadas com dados hidrológicos de estações presentes no rio Araguaia e no rio Javaés. O rio Araguaia apresentou variação interanual considerável dos seus bancos de areia, enquanto o rio Javaés demonstrou uma maior estabilidade em relação a sua movimentação. Ambos os rios apresentaram respostas similares e proporcionais a anos secos, intermediários e úmidos. Anos especialmente atípicos apresentaram um comportamento mais característico e demonstraram serem promissores para seu uso como *proxies* hidroclimáticos. Devido a importância ecológica e ambiental da região em questão, trabalhos futuros se justificam para aprofundar o conhecimento sobre o papel dos diferentes fatores na alteração da exposição de bancos de areia neste sistema.

**Palavras-Chave** – Bancos de areia. Rio Araguaia. Rio Javaés.

## **ABSTRACT**

The Araguaia and Javaés rivers make up a unique system in the cerrado biome. Together they form the Bananal Island - the largest river island in the world. The tropical dry-humid climate of the region, strongly seasonal, allows a well defined behavior of its sandbars, where in the wet season they disappear completely. Studies that analyze the behavior of these sandbars are important because they can give clues about hydroclimatic changes in the region. In this way, this project proposes to evaluate the behavior of the sandbars found in the Araguaia-Javaés system, in the northern region of the Araguaia basin, and compare them with the hydrology and extreme events observed in the region, as well as to analyze their inter-annual behavior, using remote sensing techniques, in order to investigate the possibility of using them as hydroclimatic proxy. For this, images of the Landsat 5 and Landsat 8 satellites were obtained from the orbit-point 223-067 for the period of 1984 to 2017. These images were analyzed and classified by the Isocluster Unsupervised Classification method to obtain the values of the areas related to the extensions of the sandbars, which were subsequently compared with hydrological data of stations present in the Araguaia River and Javaés River. The Araguaia river presented a considerable annual variation of its sandbars, while the Javaés river showed greater stability in relation to its movement. Both rivers presented similar and proportional responses to dry, intermediate and humid years. Especially atypical years presented a more characteristic behavior and demonstrated to be promising for its use as a hydroclimatic proxy. Due to the ecological and environmental importance of the studied region, future work is justified to deepen the knowledge about the role of the different factors in the alteration of the sandbars exposure in this system.

**Keywords:** Sandbars. Araguaia river. Javaés river.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Exemplo dos tipos de bancos de areias no rio Araguaia utilizando-se a imagem do dia 19/07/2016, retirada do satélite Landsat 8.....	19
<b>Figura 2.</b> Comparação das diferentes resoluções espaciais de diversos sensores. ....	22
<b>Figura 3.</b> Espectro eletromagnético, com destaque ao espectro da radiação do visível ao homem. ....	22
<b>Figura 4.</b> Representação das diferenças encontradas nas resoluções radiométricas .....	23
<b>Figura 5.</b> Representação das datas de lançamento e tempos de funcionamento dos satélites da missão Landsat. ....	24
<b>Figura 6.</b> Mapa de localização da área de estudo.. ....	27
<b>Figura 7.</b> Mapa de localização da órbita-ponto 223-067 dos satélites Landsat 5 e Landsat 8 utilizada para a análise.....	32
<b>Figura 8.</b> Disponibilidade de imagens dos rios Araguaia e Javaés ao longo dos meses.. .....	33
<b>Figura 9.</b> Curvas de permanência dos rios Araguaia e Javaés para o período estudado.. .....	39
<b>Figura 10.</b> Exemplo do resultado obtido para as classificações das Imagens Landsat 5 e Landsat 8. a) Imagem Landsat 5 de data 16/07/2009. b) Imagem Landsat 8 de data 11/07/2013.....	40
<b>Figura 11.</b> Avaliação da variação interanual dos bancos de areia do rio Araguaia no mês de julho.....	42
<b>Figura 12.</b> Avaliação da variação interanual dos bancos de areia do rio Javaés no mês de julho.....	43
<b>Figura 13.</b> Comparação dos valores máximos da representatividade dos bancos de areia nos rios Araguaia e Javaés e suas tendências ao longo dos anos. As linhas pontilhadas correspondem a média móvel de três anos. ....	45
<b>Figura 14.</b> Relação entre o hidrograma do rio Araguaia e as áreas de bancos de areia nos anos analisados, categorizados em anos úmidos, intermediários, secos e anos sem dados.....	46
<b>Figura 15.</b> Relação entre o hidrograma do rio Javaés e as áreas de bancos de areia nos anos analisados, categorizados em anos úmidos, intermediários, secos e anos sem dados.....	47

<b>Figura 16.</b> Relação temporal da área dos bancos de areia com o comportamento hidrológico dos anos analisados, categorizados em anos secos (vermelho), anos intermediários (preto) e anos úmidos (azul), no rio Araguaia.....	48
<b>Figura 17.</b> Relação temporal da área dos bancos de areia com o comportamento hidrológico dos anos analisados, categorizados em anos secos (vermelho), anos intermediários (preto) e anos úmidos (azul), no rio Javaés.....	48
<b>Figura 18.</b> Cotogramas do rio Araguaia. Parte superior apresenta cotogramas do período 1984 - 1999, enquanto a parte inferior apresenta os cotogramas para o período de 2000 – 2017.....	49
<b>Figura 19.</b> Cotogramas do rio Javaés. Parte superior apresenta cotogramas do período 1984 - 1999, enquanto a parte inferior apresenta os cotogramas para o período de 2000 – 2017.....	50
<b>Figura 20.</b> Relação da área dos bancos de areia com as cotas do rio Araguaia e sua hidrologia, categorizada em anos secos (vermelho), anos intermediários (preto) e anos úmidos (azul)....	52
<b>Figura 21.</b> Relação da área dos bancos de areia com as cotas do rio Javaés e sua hidrologia, categorizada em anos secos (vermelho), anos intermediários (preto) e anos úmidos (azul)....	52



## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Relação dos parâmetros morfométricos e a classificação dos canais. ....	16
<b>Tabela 2.</b> Bandas, comprimentos de ondas e resoluções do sensor acoplado aos satélites Landsat 4 e Landsat 5. ....	24
<b>Tabela 3.</b> Bandas, comprimentos de ondas e resoluções dos sensores acoplados ao satélite Landsat 8. ....	25
<b>Tabela 4.</b> Relação das imagens utilizadas no rio Araguaia e suas respectivas áreas de bancos de areia encontradas. ....	35
<b>Tabela 5.</b> Relação das imagens utilizadas no rio Javaés e suas respectivas áreas de bancos de areia encontradas. ....	36
<b>Tabela 6.</b> Relação das categorias escolhidas para a análise e as cores utilizadas para caracterizá-las. ....	37
<b>Tabela 7.</b> Categorização dos anos secos, intermediários e úmidos para o rio Araguaia. ....	38
<b>Tabela 8.</b> Categorização dos anos secos, intermediários e úmidos para o rio Javaés. ....	38
<b>Tabela 9.</b> Valor máximo da relação entre os bancos de areia e a área superficial dos rios Araguaia e Javaés. ....	44

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>2 OBJETIVOS .....</b>	<b>13</b>
<b>2.1 OBJETIVO GERAL .....</b>	<b>13</b>
<b>2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....</b>	<b>13</b>
<b>3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>14</b>
<b>3.1 SISTEMA FLUVIAL .....</b>	<b>14</b>
<b>3.1.1 PLANÍCIE ALUVIAL .....</b>	<b>14</b>
<b>3.1.2 TIPOS DE CANAIS DE RIOS .....</b>	<b>15</b>
<b>3.1.3 PROCESSOS HIDROSEDIMENTOLÓGICOS .....</b>	<b>17</b>
<b>3.1.4 BARRAS ACRESCIDAS E ILHAS.....</b>	<b>18</b>
<b>3.2 SENSORIAMENTO REMOTO .....</b>	<b>20</b>
<b>3.2.1 RESOLUÇÃO DAS IMAGENS.....</b>	<b>21</b>
<b>3.2.2 SATÉLITES ARTIFICIAIS E MISSÃO LANDSAT .....</b>	<b>23</b>
<b>3.2.3 CLASSIFICAÇÃO DE IMAGENS .....</b>	<b>25</b>
<b>4 ÁREA DE ESTUDO.....</b>	<b>27</b>
<b>4.1 BACIA DO ARAGUAIA .....</b>	<b>27</b>
<b>4.2 RIO ARAGUAIA.....</b>	<b>28</b>
<b>4.3 RIO JAVAÉS .....</b>	<b>30</b>
<b>5 METODOLOGIA DE PESQUISA .....</b>	<b>32</b>
<b>5.1 MATERIAIS .....</b>	<b>32</b>
<b>5.1.1 IMAGENS .....</b>	<b>32</b>
<b>5.1.2 DADOS HIDROLÓGICOS.....</b>	<b>33</b>
<b>5.2 MÉTODOS.....</b>	<b>34</b>
<b>5.2.1 CLASSIFICAÇÃO DAS IMAGENS.....</b>	<b>34</b>
<b>5.2.2 RELAÇÃO ENTRE HIDROLOGIA E BANCOS DE AREIA.....</b>	<b>36</b>
<b>6 RESULTADOS .....</b>	<b>40</b>
<b>6.1 CLASSIFICAÇÃO DAS IMAGENS .....</b>	<b>40</b>
<b>6.2 VARIABILIDADE INTERANUAL DOS BANCOS DE AREIA .....</b>	<b>41</b>
<b>6.3 RELAÇÃO ENTRE EVENTOS HIDROLÓGICOS EXTREMOS E BANCOS DE AREIA .....</b>	<b>45</b>
<b>6.4 RELAÇÃO ENTRE COTAS DO RIO E BANCOS DE AREIA .....</b>	<b>49</b>

<b>7 DISCUSSÃO .....</b>	<b>53</b>
<b>8 CONCLUSÃO.....</b>	<b>55</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>57</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A região tropical da América do Sul possui o maior ecossistema contínuo de florestas tropicais e savanas e gera cerca de 25% da descarga fluvial global (Latrubesse, 2008). A bacia do Araguaia está incluída a este grupo de savanas, estando entre as três maiores da região, as outras duas sendo o Pantanal, na parte superior do rio Paraguai, e os Llanos de Moxos, na fronteira do Brasil e Bolívia (Irion *et al*, 2016).

Apesar de não ser amplamente estudada, a bacia do Araguaia é um dos sistemas fluviais mais importantes da América do Sul, possuindo uma área de 380.000 km<sup>2</sup>, e que inclui duas regiões fitogeográficas que concentram boa parte da biodiversidade do planeta, o Cerrado, ao sul, e a Floresta Amazônica, ao norte (Morais, 2006).

A região se encontra no sistema Araguaia-Tocantins, sendo a quarta maior bacia fluvial do continente. O rio Araguaia, apesar de ser considerado afluente do Tocantins, é o que possui maior extensão longitudinal ao longo da bacia e é dividido entre três sub-trechos, o alto Araguaia, médio Araguaia e baixo Araguaia.

A região específica deste estudo se encontra na confluência do rio Araguaia com o rio Javaés, na planície aluvial do médio Araguaia, na parte norte do que caracteriza a Ilha do Bananal (a maior ilha fluvial do mundo). Esta região é um dos poucos refúgios remanescentes da fauna do Cerrado.

Segundo Latrubesse & Stevaux (2006), o rio Araguaia é uma das áreas prioritárias para a conservação da biodiversidade aquática do cerrado e tem sido alvo de debates políticos e ambientais na região Centro-Oeste devido à intensa e indiscriminada expansão de atividades agropecuárias, com uma elevada degradação do ambiente natural durante as últimas quatro décadas.

Estas atividades antrópicas na região da bacia do Araguaia acarretam impactos no sistema hidroclimático ao longo da bacia. Algumas das mudanças observadas que merecem ser salientadas são o aumento da área irrigada da região e o desmatamento no entorno da bacia, causando danos expressivos na área e na biodiversidade dos biomas do Cerrado e da Floresta Amazônica.

Estudos conduzidos por Latrubesse *et al.* (2009) mostraram modificações em mais de 120.000 km<sup>2</sup> da bacia do Araguaia, o que coincide com as grandes mudanças na dinâmica do uso do solo devido a tais atividades antrópicas. Estas transformações causaram um aumento

considerável na carga transportada de sedimentos e com isso um aumento no número de barras acrescidas e uma redução de 30% no número de ilhas ao longo dos rios da região.

As barras acrescidas (bancos de areia) e ilhas são formações morfológicas que se apresentam em rios onde há condições hidrossedimentológicas favoráveis para seu surgimento. Segundo Morais (2006), na região do médio Araguaia estão presentes quatro tipologias de barras: lateral, central, pontal e de soldamento.

O aumento da extensão dos bancos de areia (barras acrescidas) expostos também merece destaque como uma das diversas consequências que secas podem acarretar no comportamento hidrológico destes rios. Desta forma, ao observar uma boa correlação entre cota do rio e estimativa de extensão de bancos de areia, as áreas de bancos expostos no Araguaia/Javaés podem ser utilizadas como um indicativo de seca (Fleischmann *et al.*, 2017). Porém, outros fatores influenciam na dinâmica dos bancos de areia, como processos hidrossedimentológicos naturais que causam migrações anuais ou fatores antrópicos. Como exemplo temos o processo indicado por Latrubesse *et al.* (2009), que evidencia as respostas geomorfológicas e sedimentares ao desmatamento acelerado que a região está exposta.

Apesar das características hidrogeomorfológicas da planície de inundação do complexo Araguaia-Javaés serem alvos de investigações recentes (Latrubesse and Stevaux 2002; Latrubesse 2003; Aquino *et al.* 2009; Latrubesse *et al.* 2009; Valente and Latrubesse 2012), as características hidrossedimentológicas da região, incluindo o comportamento dos bancos de areia, ainda não foram exploradas detalhadamente.

Sabendo que a mudança no uso do solo devido às atividades antrópicas causam impactos consideráveis na hidrologia, geomorfologia e condições bioquímicas e devido à importância que a bacia do Araguaia possui para toda a região, estudos voltados à compreensão de sua dinâmica fluvial e da sua relação com a hidrossedimentologia são de extrema importância para o entendimento e auxílio na gestão e manejo sustentável dos recursos hídricos da região. Neste contexto, estudos avaliativos do comportamento dos bancos de areia no sistema Araguaia - Javaés justificam-se, com o objetivo de identificar sua relação com as possíveis alterações climáticas ao longo de um período de tempo estendido. Desta forma, este projeto propõe a avaliação da extensão dos bancos de areia em imagens de satélite Landsat 5 e Landsat 8 na região norte da Ilha do Bananal para o período 1984 -2017.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Estudar o comportamento espaço-temporal dos bancos de areia na planície aluvial do médio Araguaia e na região de confluência do rio Araguaia com o rio Javaés, relacionando esse comportamento com processos hidrológicos locais.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Identificar a variabilidade interanual dos bancos de areia;
- Descrever o comportamento hidrológico no período referente ao estudo (1984 – 2017);
- Avaliar a utilização do comportamento da dinâmica dos bancos de areia como *proxy* hidroclimático.

## **3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **3.1 SISTEMA FLUVIAL**

Para Morais (2002), um sistema fluvial está caracterizado por apresentar uma estrutura interna definida pelas suas variáveis de estado, tais como geologia (litologia, condicionamento estrutural), clima (pluviosidade, temperaturas médias) e vegetação. Existe uma conexão dinâmica entre estas variáveis, onde mudanças são geradas por diversos processos responsáveis por moldar um complexo sistema com características únicas e próprias de cada bacia. Como exemplo de processos temos a erosão, transporte de sedimentos, pedogênese e intemperismo, todos atuando sobre as propriedades morfológicas e sedimentares do canal.

Estas mudanças podem ser diferenciadas em duas escalas temporais: a geológica e a histórica. Segundo Montgomery e Buffington (1998), o tempo geológico compreende mudanças por elevação tectônica, erosão e mudanças climáticas. Já em escala histórica os canais respondem a modificações na descarga e na disponibilidade de sedimentos tanto devido a alterações no uso da terra quanto em resposta a eventos extremos (secas e cheias).

Uma unidade importante para a análise dos sistemas fluviais é a bacia hidrográfica, responsável por conduzir o escoamento por suas redes de drenagem. Sua classificação pode ser baseada em similaridades geológicas, climáticas e geomorfológicas. Um dos principais componentes de uma bacia hidrográfica são os rios que a compõe.

#### **3.1.1 Planície Aluvial**

As planícies aluviais são formações geológicas adjacentes a rios que possuem baixa inclinação e que são construídas por processos físicos de deposição dos rios atuais, por migração lateral e processos de inundação. Desta forma, podem ser definidas como geoformas aluviais que possuem depósitos horizontais originários de sedimentos advindos de uma grande variedade de ambientes de formação (Morais, 2002).

O processo de sedimentação aluvial depende de uma interação dinâmica entre tempo e espaço da relação do canal do rio e da planície de inundação. Sua formação toma longos períodos de tempo e apresentam alta capacidade de reter sedimentos, os quais apresentam importância na conservação de solos, habitats e materiais orgânicos. Além disso, as planícies

apresentam importância ecológica por serem regiões de alta fertilidade onde comunidades e espécies diversas tendem a se estabelecer.

Canais presentes na planície aluvial podem sustentar planícies de inundação largas ou estreitas. Estes canais apresentam uma grande variedade morfológica que respondem a perturbações na carga de sedimentos e descarga (Montgomery e Buffington, 1998). Portanto apresentam capacidade de modificar sua forma enquanto possuam condições de mover os sedimentos presentes em seu leito.

### 3.1.2 Tipos de canais de rios

De acordo com Leeder (2011), canais possuem forma, assim como magnitude, e são melhores descritos por uma combinação das seguintes formas:

- Sinuosidade do canal: definida como o desvio do canal do seu caminho linear.
- Entrelaçamento do canal: grau de subdivisão do canal por *bedforms* de larga escala e ilhas acrescidas aonde o canal converge e diverge.
- Anastomosidade do canal: define o nível de interconectividade dos canais subdivididos em canais menores e separados por planícies de inundação onde cada subdivisão possui seu próprio canal e barras pontuais.

Schumm (1986), apud Morais (2002), considera cinco tipos básicos de canais em ambientes aluviais: os canais retilíneos com migração de ondas de areia (tipo 1), canais retilíneos com migração de ondas de areia ou com talvegue sinuoso (tipo 2), canais meandantes com alta sinuosidade de igual largura (tipo 3a), canais meandantes mais largos nas curvas do que nos cruzamentos (tipo 3b), canais de transição meândrica para entrelaçado (tipo 4) e canal entrelaçado típico (tipo 5).

Segundo Morais (2002), é comum classificar os padrões do canal em quatro formas: canais retos, canais meandantes, canais anastomosados e canais entrelaçados. A **Tabela 1** apresenta a relação dessa classificação com seus padrões morfométricos.

Canais retos possuem um índice de sinuosidade e uma relação largura/profundidade muito baixos. Apresentam flancos estáveis, e geralmente são constituídos de trechos de curtas extensões. São raros na natureza, em relação aos outros tipos de canais encontrados, e costumam desenvolver barras laterais em suas margens.



Canais anastomosados são largos, de moderada a baixa sinuosidade, com baixa razão largura/profundidade, alta velocidade de transporte de sedimentos, migrações laterais ativas e grande volume de carga de fundo. Suas ramificações são resultados de morfologias como ilhas e barras centrais, que dividem o canal em subseqüentes múltiplos canais geralmente em períodos secos, estes podendo ser submergidos em períodos de cheia. Devido à progressão natural dessas morfologias, o nível de anastomosidade dos canais pode aumentar após às ilhas e barras sofrerem processo de estabilização por deposição de sedimentos e estabelecimento de cobertura vegetal.

Canais meandrantess possuem alta sinuosidade, relação largura/profundidade menor que 40, altas taxas de migração lateral e predomínio do transporte de carga em suspensão de granulometria mais fina e selecionada. Este padrão costuma aparecer em rios com gradiente energético relativamente baixo com pouca variação na descarga, onde as cargas em suspensão e de fundo estão em proporções similares e seu fluxo é contínuo e regular.

Canais entrelaçados possuem alto teor de carga de fundo e uma alta razão largura/profundidade, assim como sinuosidade baixa. Costumam apresentar margem de fácil erodibilidade e um alto teor de carga de fundo de granações grossa, que sofrem deposição formando barras e ilhas durante períodos de redução da velocidade de fluxo a ponto de obstruir e ramificar o canal.

**Tabela 1.** Relação dos parâmetros morfométricos e a classificação dos canais.

<b>Tipo de Canal</b>	<b>Morfologia</b>	<b>Razão L/P</b>	<b>Grau de Entrelaçamento</b>	<b>Sinuosidade</b>
Retilíneo	Canais simples com barras longitudinais	< 40	< 1 (canal único)	Baixa (< 1,5)
Entrelaçado	Dois ou mais canais com barras e pequenas ilhas	Normalmente > 40; Comumente > 300	> 1 (canais múltiplos)	Baixa (< 1,5)
Meandrante	Canais simples	< 40	< 1 (canal único)	Alta (> 1,5)
Anastomosado	Dois ou mais canais com ilhas largas e estáveis	Normalmente < 10	> 1 (canais múltiplos)	Alta (> 1,5)

**Fonte:** Rust (1978).

### 3.1.3 Processos Hidrossedimentológicos

Processos hidrossedimentológicos relacionam a hidrologia e o comportamento dos sedimentos. Em canais aluviais, essa análise se demonstra de grande importância devido a sua grande sensibilidade a mudanças na descarga de rios e na carga de sedimentos. Além disso, o tipo e volume de sedimentos influenciam nas características dos canais, como sua morfologia, assim como no padrão e forma de armazenamento dos mesmos no canal (Montgomery e Buffington, 1998).

Em bacias hidrográficas observam-se três processos importantes: geração de sedimentos (geralmente por erosão), transporte dos sedimentos e a deposição dos sedimentos. Observa-se que as dimensões dos canais e seu aporte de sedimentos tende a ser diretamente relacionada com o tamanho da área de drenagem da bacia. A força destes processos e suas alterações acabam por ocasionar mudanças no sistema fluvial, mais especificamente nas características dos materiais sedimentares e propriedades hidráulicas do canal.

Os processos erosivos, de transporte e deposicionais são fortemente interligados entre si e com a energia do fluxo do canal. Os processos de deposição começam quando a energia dos rios se torna insuficiente para carrear os sedimentos nele presentes. Essa diferença pode ser resultado de fatores inerentes ao canal, como sua sinuosidade (atuando como um mecanismo de dissipação de energia), ou das características dos sedimentos (sua granulometria, por exemplo), assim como seu volume. Se eventos incomuns ao sistema fluvial local ocasionarem transporte de sedimentos de maior tamanho que o rio tem competência de transportar, estes acabam sendo depositados. Da mesma forma, se o volume dos sedimentos aumentar a ponto de saturar a capacidade do rio, estes também serão depositados. Nestes casos, o rio reage através de processos de agradação, aumentando a instabilidade lateral das encostas dos rios, podendo causar processos de avulsão, aumentando seu grau de entrelaçamento, ocasionando maior acúmulo de sedimentos e formação de bancos de areia (Morais, 2002).

Segundo Coe *et al.* (2011), as mudanças no uso do solo devido a fatores antrópicos (desmatamentos, urbanização, adaptação para a agricultura e pecuária) também influenciam as condições hidrológicas, geomorfológicas e hidrossedimentológicas. O aumento do escoamento superficial devido à compactação e impermeabilização do solo ocasiona o subsequente aumento da carga de sedimentos lançadas nos rios. Estas mudanças podem não ser imediatas, mas seus efeitos são sentidos ao longo do tempo.

### 3.1.4 Barras acrescidas e Ilhas

Segundo Brice (1964), apud Morais (2006), a diferença entre barras acrescidas (bancos de areia) e ilhas se dá basicamente no dinamismo delas em relação ao rio em que estão inseridas. Barras são morfologias mais dinâmicas, e por isso não apresentam vegetação devido a serem totalmente submergidas durante os eventos de cheias. Ilhas já são definidas como sendo mais estáveis, apresentando vegetação e se mantendo à mostra mesmo em eventos de cheias.

As barras laterais desenvolvem-se paralelamente ao canal, formando faixas estreitas e alongadas junto às suas margens. Sua formação se deve à redução da energia do fluxo do canal ou a elevação de seu leito, após o extravasamento das águas do canal em períodos de cheia. Estes depósitos costumam apresentar camadas de areias médias a finas, assim como estratificações onduladas de pequeno porte.

As barras em pontal formam-se nas curvas do canal, onde os sedimentos depositam-se por acreção lateral nas áreas côncavas dos meandros. Possuem composição arenosa a conglomerática, e sofrem influência da erosão dos sedimentos das margens. A sinuosidade do canal, assim como o tipo e a quantidade de carga transportada são fatores que influenciam as características dessas barras (Riccomini *et al*, 2000). Pode-se considerar as barras em pontal como um sub-tipo das barras laterais restritos a canais meandriformes (Morais, 2006).

Morais (2006) define as barras de soldamento como muito frequentes no rio Araguaia e apresentam a característica de serem anexadas às partes laterais de Ilhas, tanto a montante como a jusante, devido ao processo de barramento dos sedimentos realizado pelas ilhas, que reduzem o fluxo da corrente. Da mesma forma, barras centrais podem evoluir para barras de soldamento.

Barras centrais encontram-se no centro dos canais principais e possuem alta instabilidade, apresentando alta capacidade migratória acompanhando o fluxo do rio, assim como podem ser totalmente erodidas de um ano a outro (Morais, 2006).

Exemplos dos tipos de bancos de areia descritos estão apresentados na **Figura 1** utilizando-se uma imagem do satélite Landsat 8 de data 19/07/2016.

Segundo Morais (2006), as ilhas fluviais podem ser diferenciadas em três tipos de acordo com sua gênese: ilhas formadas por avulsão do canal pela planície, ilhas que se formam por sedimentação no canal e soldamento de ilhas.

Ilhas por avulsão costumam possuir grandes dimensões e apresentam-se distribuídas esparsamente pelo canal, sendo mais raras que as demais ilhas.

Ilhas de sedimentação costumam se formar por evolução de barras centrais. O desenvolvimento da vegetação é acelerado devido à alta estabilidade proporcionada pela deposição de em suas camadas superiores.



Barra lateral



Barra em pontal



Barra de soldamento



Barra central

**Figura 1.** Exemplo dos tipos de bancos de areias no rio Araguaia utilizando-se a imagem do dia 19/07/2016, retirada do satélite Landsat 8. **Fonte:** autor.

O soldamento de ilhas é definido como o processo de anexação de outras ilhas a um núcleo já estável. Isto ocorre quando ilhas de sedimentação se formam próximas uma das outras, ocasionando deposição de sedimentos entre essas ilhas, assim gerando uma ilha maior.

As ilhas estão suscetíveis às condições hidrossedimentológicas dos rios a que estão inseridas, embora sejam muito mais estáveis que os bancos de areia (barras acrescidas). De forma geral elas costumam sofrer alterações ao longo do tempo, apresentando variações de tamanho. Ilhas muito pequenas possuem o comportamento mais instável de todos, podendo sumir e aparecer em grandes intervalos de anos sem manter seus núcleos residuais. Ilhas maiores costumam manter seus núcleos, caracterizando-as como mais estáveis. Ilhas de tamanho médio podem sofrer processos de soldamento, gerando ilhas maiores. Já Ilhas de grande porte são mais estáveis e não apresentam grandes variações em escalas de tempo curtas.

### **3.2 SENSORIAMENTO REMOTO**

Segundo Meneses (2012), o sensoriamento remoto se define classicamente como: “uma técnica de obtenção de imagens dos objetos da superfície terrestre sem que haja um contato físico de qualquer espécie entre o sensor e o objeto”. Porém esta definição apresenta-se de forma muito geral, e uma definição mais científica é necessária. Desta forma, Meneses (2012) complementa: “Sensoriamento Remoto é uma ciência que visa o desenvolvimento da obtenção de imagens da superfície terrestre por meio da detecção e medição quantitativa das respostas das interações da radiação eletromagnética com os materiais terrestres”. Desta forma se limita à definição de sensoriamento remoto apenas a imagens obtidas por sensores que detectem radiação eletromagnética.

O sensoriamento remoto foi evoluindo ao longo dos anos. As técnicas utilizadas para obtenção das imagens começaram com fotografias tiradas de cima de balões de ar quente, no fim do século 20, para realizar reconhecimentos de territórios. Esta técnica evoluiu na primeira guerra mundial onde começou a se utilizar aviões para tal objetivo. Segundo Meneses (2012), a combinação de satélites artificiais e sensores imageadores começou a ser explorada primeiramente com os satélites meteorológicos, o primeiro deles sendo lançado em 1960 pelos EUA, o TIROS – 1 (*Television IR Operational Satellite*). Esta combinação se mostrou muito promissora, o que impulsionou projetos que resultaram num grande marco

para o sensoriamento remoto, quando em 23 de julho de 1972, o primeiro satélite de observação terrestre para uso civil foi lançado com o nome de “*Earth Resources Technology Satellite*” (ERTS – 1), nome posteriormente modificado para Landsat 1.

A importância do sensoriamento remoto está vinculada à sua capacidade de obter imagens sistemáticas de toda a superfície terrestre em curto espaço de tempo. Esta característica é útil para identificar mudanças e variações que ocorrem ou possam ocorrer no planeta, sendo uma ferramenta muito eficaz para analisar questões ambientais. Por exemplo, Morais (2006) considera o Sensoriamento Remoto como tendo uma larga aplicação no estudo de mudanças em sistemas fluviais, sendo úteis como meio de detecção e mapeamento de alterações e como meio de medidas de algumas variáveis físicas que sustentam e controlam mudanças no ambiente fluvial.

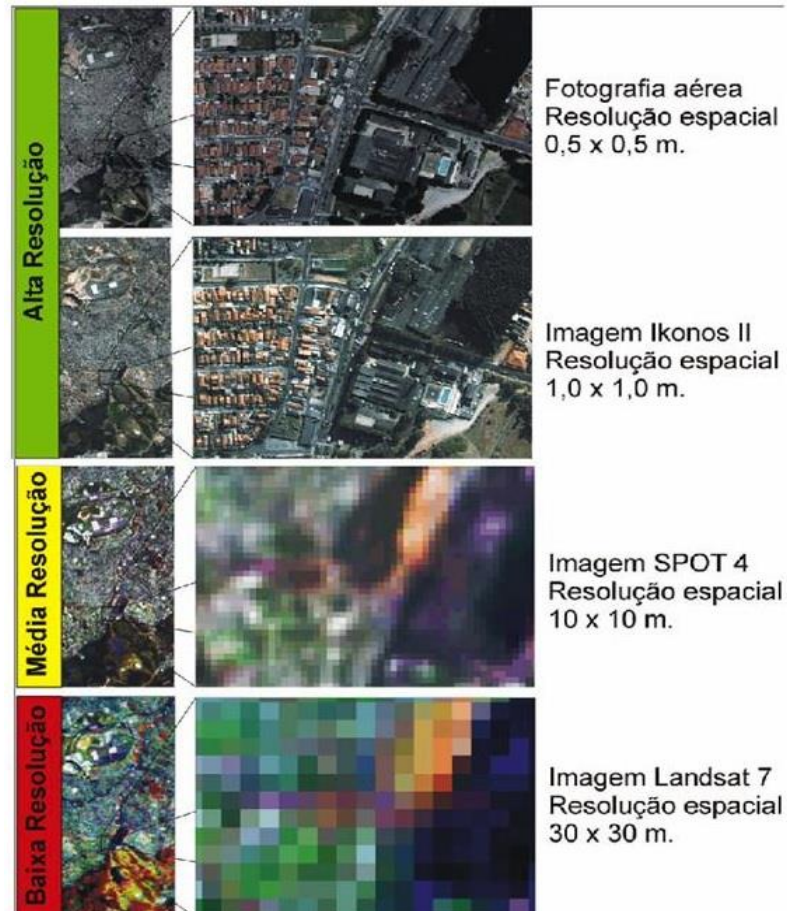
### 3.2.1 Resolução das Imagens

Os sensores remotos possuem 4 tipos de resoluções típicas: espacial, espectral, temporal e radiométrica.

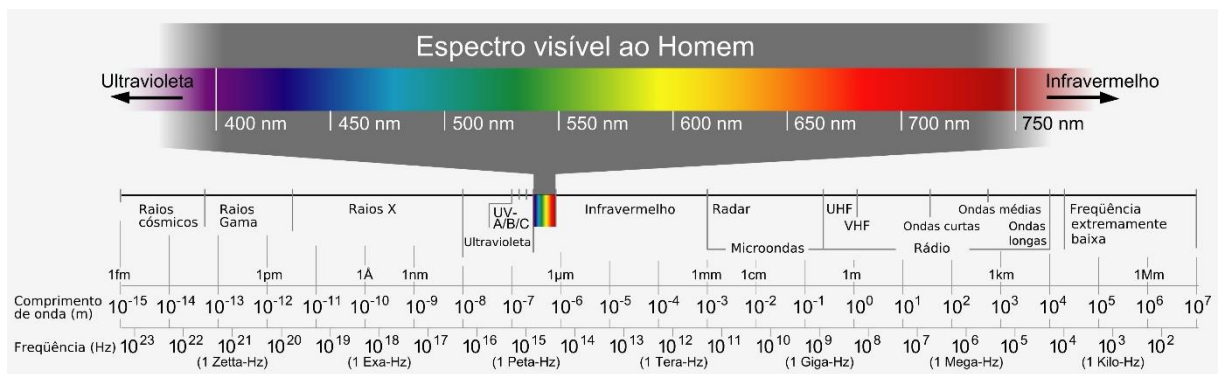
A resolução espacial pode ser definida como o tamanho do campo de visão, ou seja, a habilidade do sistema sensor em distinguir e medir os alvos. A resolução é medida por uma unidade mínima de informação chamada *pixel*. Quanto maior a resolução espacial (menor o tamanho dos pixels) maior o grau de detalhe que pode ser observado na imagem (**Figura 2**).

A resolução espectral envolve pelo menos três parâmetros de medida, estes sendo o número de bandas do sensor, o comprimento de onda das bandas e as posições que elas ocupam no espectro eletromagnético. Esta resolução é própria para sensores multiespectrais. A **Figura 3** ilustra o espectro eletromagnético com seus comprimentos de ondas e faixas espectrais, apresentando em destaque a faixa do visível, devido a sua importância por ser a região que o sistema de detecção humano tem acesso. A resolução espectral apresenta maior qualidade quanto menor for o número de bandas e seu intervalo.

Resolução temporal é definida como a frequência que o sensor coleta seus dados, isto é, ao ciclo de passagem do sensor no mesmo local em um determinado intervalo de tempo. As características orbitais e o ângulo de abertura do sensor estão diretamente relacionados com esta resolução. Para estudos de monitoramento e variação comportamental de características terrestres a resolução temporal é de suma importância.

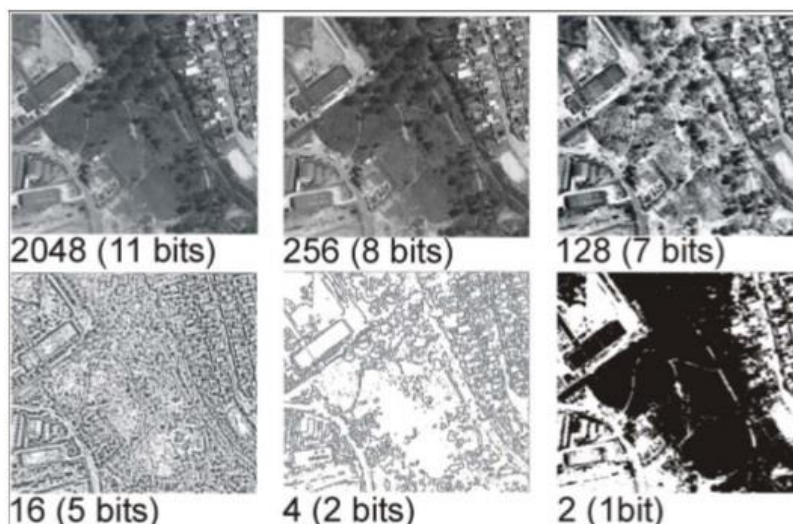


**Figura 2.** Comparação das diferentes resoluções espaciais de diversos sensores. **Fonte:** Melo (2002).



**Figura 3.** Espectro eletromagnético, com destaque ao espectro da radiação do visível ao homem. **Fonte:** SBFísica.

A resolução radiométrica corresponde à sensibilidade dos detectores para captar pequenas diferenças na radiância espectral. É expressa em *bits*, que traduzem os níveis de cinza armazenados em cada pixel. Estes valores numéricos são traduzidos em intensidade visual, produzindo as diferenças observadas na **Figura 4**.



**Figura 4.** Representação das diferenças encontradas nas resoluções radiométricas. **Fonte:** Melo (2002).

### 3.2.2 Satélites artificiais e missão Landsat

Satélites artificiais são módulos construídos pelo homem e lançados no espaço para entrar em órbita e suprir as mais variadas necessidades. Como exemplo temos os satélites de comunicação, satélites de navegação (GPS), satélites meteorológicos, satélites militares, satélites para exploração do universo (satélite HUBBLE) e os satélites de observação da terra.

Os satélites de observação da terra apresentam uma forma de obter imagens relativamente homogêneas se comparado aos outros métodos utilizados. A cobertura espacial, assim como seu tempo de funcionamento tornam os satélites altamente flexíveis. Apesar de serem caros para realizar seu lançamento e mantê-los em operação, apresentam um alto custo-benefício.

Os satélites da missão Landsat merecem destaque por representar a coleção mais longa de imagens de resolução moderada coletadas a partir do espaço de forma contínua do mundo (USGS). Seu programa estende-se por quatro décadas (**Figura 5**).

Dos satélites Landsat que se destacam há o Landsat 5 e o Landsat 8. O Landsat 5 recebeu o título de satélite de observação da terra de mais longa operação, tendo sido lançado em 1984 e só sendo desativado após o lançamento do Landsat 8 em 2013. Carregava 2 sensores acoplados, *Multispectral Scanner (MSS)* e o *Thematic Mapper (TM)*. O sensor MSS possuía 4 bandas espectrais a exemplo do Landsat 1 e 2, as bandas 4 e 5 do verde e vermelho visível (respectivamente) e as bandas 6 e 7 do infravermelho próximo. O tamanho do *pixel*



das suas imagens coletadas é de 57 x 79 m. Já o sensor TM possuía 7 bandas, como exemplificado na **Tabela 2**, e tamanho de pixels variados.



**Figura 5.** Representação das datas de lançamento e tempos de funcionamento dos satélites da missão Landsat.

Fonte: USGS.

**Tabela 2.** Bandas, comprimentos de ondas e resoluções do sensor acoplado aos satélites Landsat 4 e Landsat 5.

\*A banda 6 foi adquirida com resolução de 120 metros, mas o produto foi remodelado para *pixels* de 30 metros.

Landsat 4-5 Thematic Mapper (TM)	Bands	Wavelength (micrometers)	Resolution (meters)
	Band 1 - Blue	0.45 - 0.52	30
	Band 2 - Green	0.52 - 0.60	30
	Band 3 - Red	0.63 - 0.69	30
	Band 4 - Near Infrared (NIR)	0.76 - 0.90	30
	Band 5 - Shortwave Infrared (SWIR) 1	1.55 - 1.75	30
	Band 6 - Thermal	10.40 - 12.50	120* (30)
	Band 7 - Shortwave Infrared (SWIR) 2	2.08 - 2.35	30

Fonte: USGS.

O Landsat 8 é o mais recente dos satélites das missões Landsat, lançado em fevereiro de 2013. A exemplo do Landsat 5 possui 2 sensores, *Operational land imager (OLI)* e o *Thermal Infrared Sensor (TIRS)*, com números de bandas diversas e diferentes resoluções espaciais, conforme apresentado na **Tabela 3**.

**Tabela 3.** Bandas, comprimentos de ondas e resoluções dos sensores acoplados ao satélite Landsat 8.

\*As bandas *TIRS* são adquiridas com resolução de 100 metros, mas seu produto é remodelado para 30 metros.

	<b>Bands</b>	<b>Wavelength (micrometers)</b>	<b>Resoluti on (meters)</b>
<b>Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) and Thermal Infrared Sensor (TIRS)</b>	Band 1 - Ultra Blue (Coastal/Aerosol)	0.435 - 0.451	30
	Band 2 - Blue	0.452 - 0.512	30
	Band 3 - Green	0.533 - 0.590	30
	Band 4 - Red	0.636 - 0.673	30
	Band 5 - Near Infrared (NIR)	0.851 - 0.879	30
	Band 6 - Shortwave Infrared (SWIR) 1	1.566 - 1.651	30
	Band 7 - Shortwave Infrared (SWIR) 2	2.107 - 2.294	30
	Band 8 - Panchromatic	0.503 - 0.676	15
	Band 9 - Cirrus	1.363 - 1.384	30
	Band 10 - Thermal Infrared (TIRS) 1	10.60 - 11.19	100* (30)
	Band 11 - Thermal Infrared (TIRS) 2	11.50 - 12.51	100* (30)

Fonte: USGS.

### 3.2.3 Classificação de Imagens

De acordo com Rees (2013), classificação de imagens é o processo de tirar decisões quantitativas de dados de imagens, agrupando pixels ou regiões da imagem em classes com o objeto de representar diferentes objetos físicos ou tipos. O resultado da classificação pode ser considerado um mapa temático ao invés de uma imagem.

Existem diversos métodos de classificação de imagens, cada um com suas características, vantagens e desvantagens.

A classificação multiespectral pode ser dividida entre classificação supervisionada e classificação não supervisionada. A classificação supervisionada usa uma amostragem treinada como referência para determinar o alcance dos valores de pixels para cada classe. A partir disso a imagem é triada pixel por pixel, determinando assim as classes a que cada pixel pertence. Na classificação não supervisionada não há amostragem treinada prévia, a imagem sendo analisada tentando se diferenciar e agrupar clusters de dados para associá-los com classes. Basicamente a classificação supervisionada força as classes da imagem a corresponderem com classes físicas definidas pelo usuário, sem garantias de que essas classes serão estatisticamente distintas, enquanto a classificação não supervisionada força as classes das imagens a serem estatisticamente distintas mas não garante que elas irão corresponder as

classes físicas requeridas pelo usuário (Rees, 2013). Pode-se também combinar ambos os métodos em uma classificação híbrida, onde primeiro se realiza uma classificação não supervisionada determinando-se os números de clusters e comparando-os com as classes treinadas, adaptando ambos conforme necessário num processo basicamente iterativo.

A classificação hiperspectral é utilizada para classificar imagens hiperspectrais (imagens que possuem muitas bandas, se comparadas às imagens multiespectrais). Este método utiliza de operações matemáticas destinadas a reduzir a dimensionalidade dos dados, como a operação PCT (*Principal Component Transform*).

A classificação de sub-pixel, diferentemente das outras formas de classificações anteriores que consideravam os pixels de forma homogênea e os atribuíam a apenas uma classe, define mais de uma informação em cada pixel, o que é útil quando existem pixels de grandes dimensões. Um exemplo deste método é o *mixture modelling*, o qual estima diferentes proporções das classes presentes nos pixels.

Por fim, descreve-se a classificação de textura. Segundo Rees (2013), uma definição precisa de textura de imagem é de difícil formulação, mas pode-se definir livremente como estrutura na variação espacial de valores de pixels. Desta forma, sabendo da importância da textura na forma como o cérebro humano interpreta as imagens, quantificar as medidas da textura de imagem pode ser útil para facilitar a diferenciação das diferentes regiões das imagens. A forma mais simples de se fazer isso é através da variação dos valores dos pixels na vizinhança próxima do pixel trabalhado através de métodos como *level co-occurrence matrix* (GLCM).

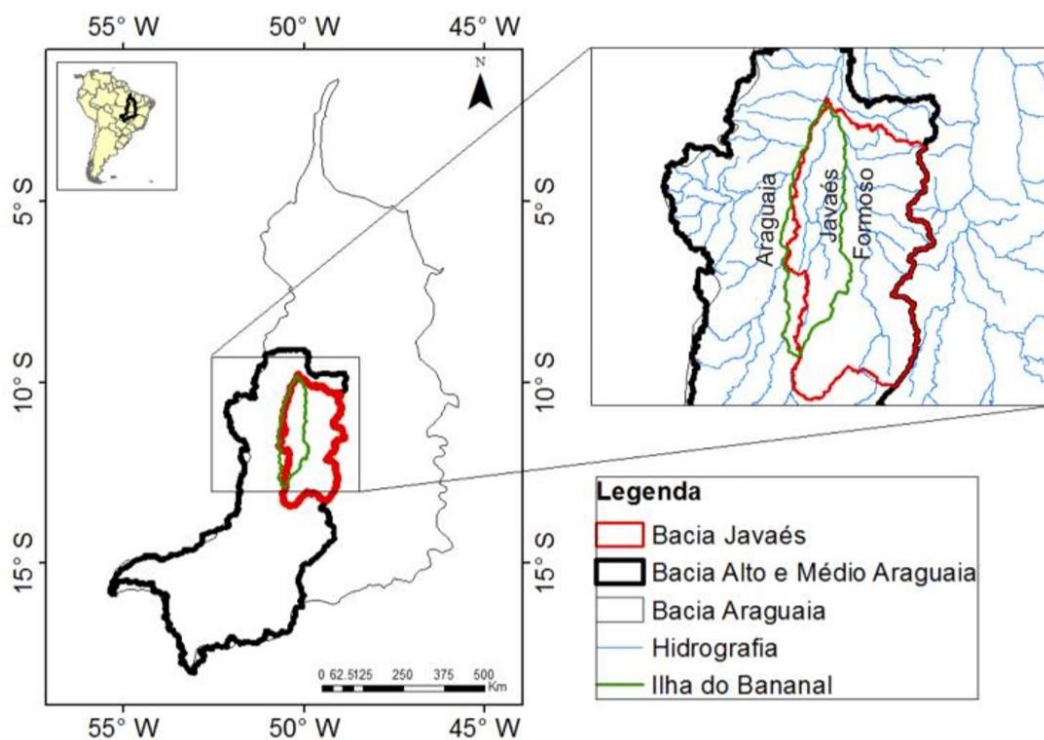
## 4 ÁREA DE ESTUDO

### 4.1 BACIA DO ARAGUAIA

A bacia do Araguaia-Tocantins é um dos sistemas fluviais mais importantes da América do Sul. Em termos areais, é a quarta em tamanho com 777.308 km<sup>2</sup>, sendo precedida apenas pelas bacias do Amazonas, Paraná e Orinoco (Latrubesse *et al*, 1999; Morais, 2002).

Sua importância é comprovada ao analisar os mananciais inseridos dentro de seus limites, como o rio Araguaia, rio Tocantins e rio das Mortes. Está localizada entre os paralelos 02° e 18° de latitude sul e os meridianos de 46° e 56° de longitude oeste, estendendo-se pelos estados de Tocantins, Goiás, Mato Grosso, Pará, Maranhão e Distrito Federal, conforme indicado pela **Figura 6**.

A bacia do Araguaia (contida no sistema Araguaia – Tocantins) corre no sentido sul – norte, drenando a região do Planalto Central Brasileiro. Sua estrutura geológica é caracterizada por rochas Pré-Cambrianas do Escudo Brasileiro, assim como rochas Paleozóicas e Mesozóicas da Bacia Sedimentar do Paraná e sedimentos terciários e depósitos quaternários (Morais, 2002).



**Figura 6.** Mapa de localização da área de estudo. **Fonte:** Fleischmann et al. (2017).

Segundo Morais (2008), climaticamente a região está inserida no tipo Cw do critério Koeppen de classificação climática, sendo predominantemente do tipo tropical úmido continental. Possui precipitação média anual que varia entre 1300 e 1800 mm. Na região mais ao norte da bacia esta média alcança valores superiores, podendo chegar a 2000 mm. É uma região com grande sazonalidade, tendo seus meses mais chuvosos (períodos úmidos) entre outubro e abril, e os meses mais secos de maio a setembro. Sua temperatura média anual é de 22°C, com amplitude de 12°C entre suas médias máximas e mínimas. Sua vegetação é composta basicamente por formações vegetais do tipo savana (cerrado) e mata ciliar ocupando as áreas marginais dos canais da bacia.

A Região da bacia hidrográfica do Araguaia é de grande importância ecológica devido a ser uma região de ecótono entre a floresta amazônica e Cerrado, e ser um dos últimos redutos de preservação do Cerrado, caracterizado por ser o segundo bioma que mais sofreu com as ações antrópicas. Os bancos de areia também possuem uma função ecológica de grande importância ao serem localizações de desova de diversas espécies de tartarugas na bacia do médio Araguaia, por exemplo.

## **4.2 RIO ARAGUAIA**

O Araguaia nasce na serra do Caiapó, próximo ao Parque Nacional das Esmeraldas a uma altitude de 850 metros, na divisa do Estado de Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. As altitudes variam de 850 metros nas nascentes, até cerca de 100 metros na foz do rio Tocantins, apresentando um desnível topográfico da ordem de 750 metros (Morais, 2002).

Possui um canal principal que não apresenta mais do que dois braços. Se caracteriza como um rio de baixa sinuosidade e baixo índice de entrelaçamento, e apresenta cinco tipologias dominantes: barras centrais, laterais, em pontal, de soldamento e ilhas de diversos tamanhos.

Seus depósitos são compostos basicamente por sedimentos arenosos de granulometria média a grossa em barra central, depósitos de acreção lateral em setores meandriformes e depósitos finos de dique marginal e baía de inundação que se desenvolvem em ilhas e barras acrescidas. A produção de sedimento em suspensão estimada para a bacia pode ser considerada baixa, aproximadamente 49 ton/km<sup>2</sup>/ano (ELETROBRÁS, 1992).

Percorre na totalidade 2.115 km até desaguar no rio Tocantins e é dividido em três sub-regiões: alto Araguaia, médio Araguaia e baixo Araguaia.

A região do alto Araguaia é formada por rochas Pré-Cambrianas de embasamento cristalino, sedimentos paleozóicos e mesozóicos, assim como rochas da Bacia Sedimentar do Paraná, e possui extensão de 450 km da sua nascente até a cidade de Registro do Araguaia (MT) drenando uma área de 36.400 km<sup>2</sup>.

O médio Araguaia tem 1.160 km de Registro do Araguaia (GO) até Conceição do Araguaia (PA) e possui área de drenagem de 320.290 km<sup>2</sup>. Formado por sedimentos do Cenozóico Terciário e Quaternário, é basicamente uma planície aluvial. É na região do médio Araguaia que se encontra a Planície do Bananal.

Segundo Bayer (2002), a planície aluvial do rio Araguaia é de média energia não coesiva, caracterizando um equilíbrio dinâmico com o regime do fluxo anual e de baixa propensão a ser afetada por eventos extremos. O canal do rio Araguaia possui a característica de dissipar sua energia através de grandes inundações que transbordam sobre sua planície de inundação, definindo sua energia específica como de médio nível. Sua largura pode variar entre 2 e 10 km.

Os tipos de lagos presentes na planície aluvial do médio Araguaia foram identificados por Morais (2006): lagos de canal abandonado, canal abandonado encadeado, espiras de meandro, espiras de meandro compostas, lagos de acreção lateral, meandros abandonados, meandros abandonados colmatados, meandros abandonados compostos, vale bloqueado e lagos de diques marginais.

Segundo Latrubesse e Stevaux (2002), a planície aluvial do médio Araguaia é um complexo mosaico de unidades morfossedimentares que possui três tipos de unidades geomorfológicas principais: I – planície de escoamento impedido, II – planície de paleomeandros e III – planície de acreção de barras e ilhas.

A planície de escoamento impedido é a mais antiga das unidades. Possui grande extensão e ocupa a posição mais externa referente ao rio de todas as unidades. Possui superfície plana e deprimida e encontra-se topograficamente mais baixa que as demais, definindo-se uma região pantanosa com lagos expressivos e irregulares cuja drenagem se dá basicamente por canais secundários. Uma característica interessante é que seu sistema de drenagem apenas ativa-se no período de cheias, quando ocorre saturação freática devido à precipitação pluvial, já que esta não está em contato direto do canal principal.

A planície de paleomeandros se encontra em uma posição intermediária entre as demais unidades. Segundo Morais *et al.* (2008) é a unidade dominante da planície aluvial. Representa uma divisória entre os depósitos da unidade I e da unidade III, devido sua posição mais elevada na planície. Possui grandes lagos em meia-lua (oxbow) e lagos alongados espiralados.

A planície de acreção de barras e ilhas caracteriza-se por ser um ambiente de canal ativo e de alta energia. Acompanha o canal principal por quase toda sua extensão, e é mais estreita que as demais unidades. Por ser periodicamente inundada reflete as condições atuais de deposição do canal e é a região onde se encontram as barras laterais, barras centrais, barras em pontal, barras de soldamento e ilhas.

Estudos desenvolvidos por Morais (2006) identificaram as características topográficas e granulométricas das barras presentes no rio Araguaia. As barras laterais possuem topografia plana com suaves ondulações, declividade das margens em direção ao nível da lâmina d'água variando entre 0 e 40°, estruturas sedimentares planares e granulometria correspondendo a areia fina. As barras em pontal já são caracterizadas por acumularem sedimentos grossos como areias médias e apresentam seixos na sua composição. Para as barras de soldamento foi observado topografias onduladas e estruturas planas com poucos níveis de definição, com granulometria característica de areias médias. Por fim, as barras centrais podem chegar a até 3,80 metros de altura com granulometrias médias e grossas.

De acordo com Morais (2006), as ilhas presentes no rio Araguaia possuem composições sedimentológicas que variam de médias a grossas e podem ser divididas em ilhas muito pequenas (0,005 – 0,01 km<sup>2</sup>), ilhas pequenas (0,011 – 0,10 km<sup>2</sup>), ilhas médias (0,11 – 1,0 km<sup>2</sup>) e ilhas grandes (1,1 – 5,0 km<sup>2</sup>).

O baixo Araguaia inicia-se logo após a Iha do Bananal, a partir de Conceição do Araguaia (PA) e estende-se por 500 km até a confluência com o rio Tocantins. No baixo Araguaia a planície aluvial se encerra, pois esta região encontra-se encaixada em um leito de rochas cristalinas pré-cambrianas.

### **4.3 RIO JAVAÉS**

O rio Javés, também conhecido como braço menor do rio Araguaia, está situado na planície aluvial do médio Araguaia. Seu curso d'água se separa do rio Araguaia próximo de

São Miguel do Araguaia e sua confluência ocorre ao sul de Conceição do Araguaia. Banha os estados de Goiás e do Tocantins. Possui características similares ao rio Araguaia, mas em menores dimensões. Seu canal possui uma média de 300 metros de largura ao longo de sua extensão e percorre 300 km lineares acompanhando o rio Araguaia, formando junto com ele a Ilha do Bananal. Também apresenta em seu canal características morfológicas similares observadas ao longo do médio Araguaia.

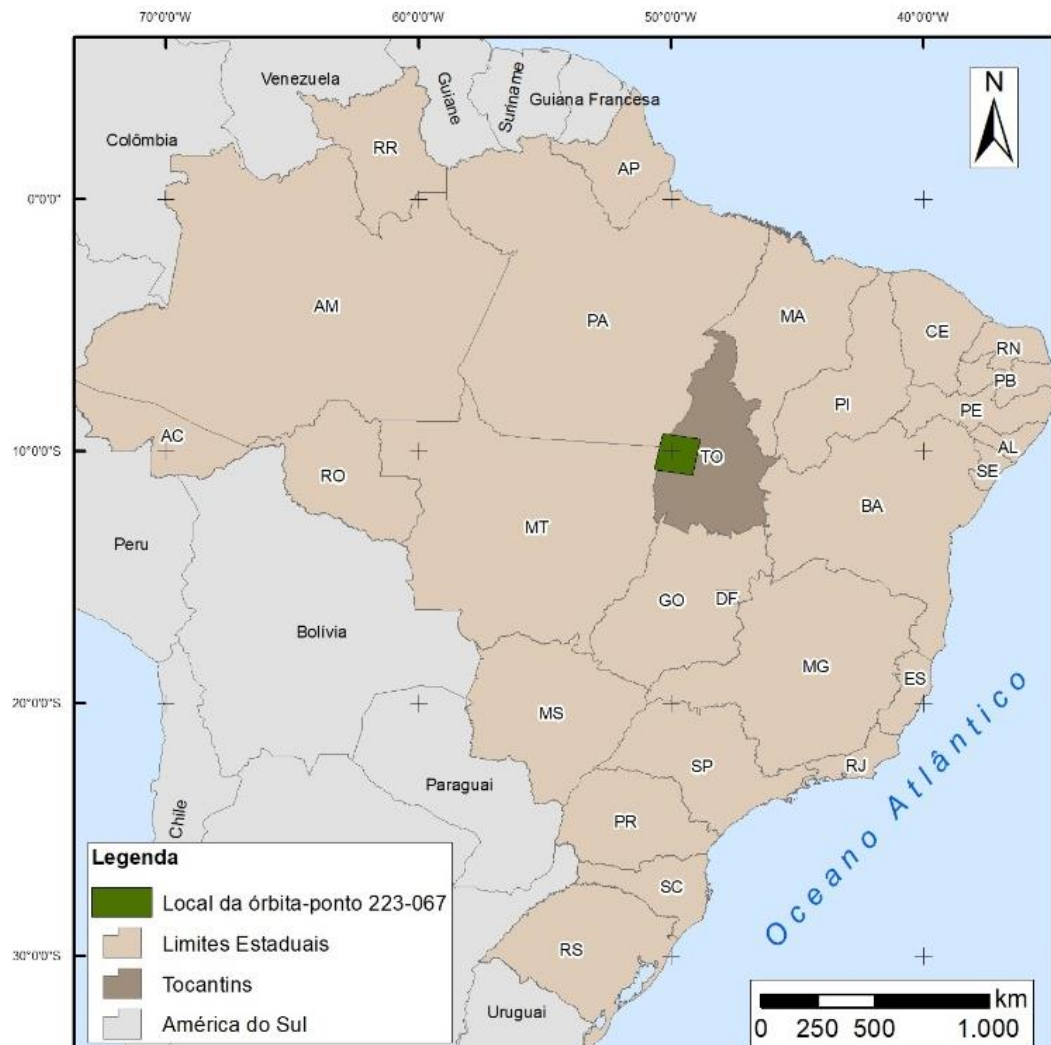


## 5 METODOLOGIA DE PESQUISA

### 5.1 MATERIAIS

#### 5.1.1 Imagens

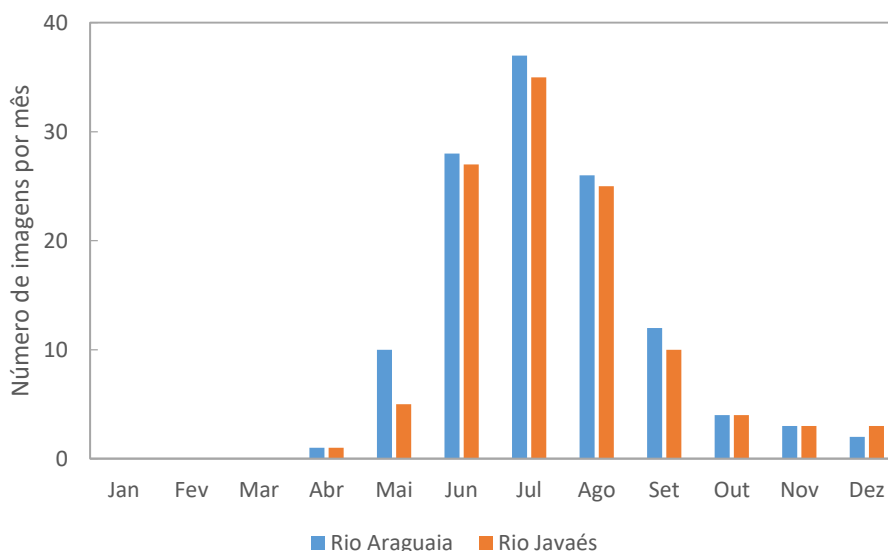
Foram analisadas imagens do satélite Landsat 5, sensor TM, e Landsat 8, sensor OLI/TIRS, de órbita-ponto 223-067, correspondente à região norte da Iha do Bananal na confluência do rio Araguaia com o rio Javaés, localizada no estado do Tocantins, conforme apresentado na **Figura 7**. As imagens foram adquiridas no portal Earth Explorer da USGS (disponível em <<https://earthexplorer.usgs.gov/>>), para os anos de 1984 até 2017.



**Figura 7.** Mapa de localização da órbita-ponto 223-067 dos satélites Landsat 5 e Landsat 8 utilizada para a análise. **Fonte:** autor.

Entre 1984 e 2011 as imagens referem-se ao Landsat 5, enquanto a partir de 2013 as imagens foram obtidas do satélite Landsat 8. Para o Rio Araguaia foram utilizadas um total de 123 imagens, enquanto para o Rio Javaés o número de imagens utilizadas foi de 113. Imagens dos anos de 2002 e 2012 não foram encontradas para a análise. Imagens que possuíam mais de 20% de nuvens na região, ou cujas nuvens fossem sobrepostas de forma significativa aos rios, foram excluídas.

A disponibilidade das imagens está atrelada às condições climatológicas locais. Nos meses chuvosos a quantidade de nuvens que se apresenta na região dificulta a obtenção de imagens úteis. Desta forma a concentração maior das imagens utilizadas está entre os meses de Maio e Setembro, conforme apresentado na **Figura 8**.



**Figura 8.** Disponibilidade de imagens dos rios Araguaia e Javaés ao longo dos meses. **Fonte:** autor.

### 5.1.2 Dados Hidrológicos

Os dados de vazão e cotas foram retirados das estações fluviométricas Barreira da Cruz (Rio Javaés, código 26800000) e São Félix do Araguaia (Rio Araguaia, código 26350000), disponíveis no portal Hidroweb e pertencente à Agência Nacional de Águas (ANA), no período de 1984 até 2017.

Hidrogramas e cotogramas foram montados utilizando estes dados considerando o ano hidrológico do estado de Tocantins proposto por Marcuzzo (2013), que define seu início no mês de outubro, o qual se apresenta como o primeiro mês chuvoso após o período de secas.

## 5.2 MÉTODOS

### 5.2.1 Classificação das Imagens

De forma a quantificar os bancos de areia, utilizou-se o método *Isocluster Unsupervised Classification*, do software ArcGis, para classificar as imagens obtidas e distinguir os bancos de areia das outras morfologias presentes na imagem. Esta metodologia faz uso do algoritmo Iso Cluster, que resulta em um arquivo de assinatura que caracteriza o agrupamento dos pixels que é utilizado posteriormente pelo método de classificação “*maximum likelihood classification*”. Este processo foi automatizado utilizando-se uma rotina em linguagem *python desenvolvida* para rodar todas as etapas do processamento das imagens, da composição das bandas à classificação e obtenção dos valores dos pixels referentes à todas as classes.

Para o Landsat 5 as imagens foram divididas em duas classes: uma representando o rio e outra representando os bancos de areia pertencentes a este rio. Para as imagens referentes ao Landsat 8 uma terceira classe, representando as áreas de transição do rio e os bancos de areia, teve que ser utilizada. Esta diferença é explicada devido à melhor resolução radiométrica do Landsat 8, o que exigiu um maior detalhamento na análise. Desta forma obtiveram-se áreas referentes à quantidade total de bancos de areia nas datas analisadas. Apenas a classe referente aos bancos de areia foi considerada enquanto as outras, tanto para o Landsat 5 e Landsat 8, foram ignoradas. Como o satélite Landsat 7 só possui imagens a partir do ano de 1999 e apresenta muitas falhas no seu acervo, optou-se por desconsiderar sua contribuição, mantendo a análise restrita ao Landsat 5 e Landsat 8.

As **Tabelas 4 e 5** mostram a relação das 123 imagens do rio Araguaia e as 113 imagens do rio Javaés utilizadas com os valores das áreas dos bancos de areia encontrados pela classificação.

**Tabela 4.** Relação das imagens utilizadas no rio Araguaia e suas respectivas áreas de bancos de areia encontradas.

Araguaia							
Data	Área(km <sup>2</sup> )	Data	Área(km <sup>2</sup> )	Data	Área(km <sup>2</sup> )	Data	Área(km <sup>2</sup> )
25/06/1984	28.73	07/07/1994	29.94	02/07/2004	25.98	07/08/2011	38.74
11/07/1984	32.94	08/06/1995	8.80	18/07/2004	30.52	08/09/2011	47.51
18/12/1984	18.64	24/06/1995	20.16	04/09/2004	43.91	09/06/2013	22.48
27/05/1985	8.99	10/07/1995	25.01	18/05/2005	10.06	25/06/2013	25.08
14/07/1985	29.52	09/05/1996	6.38	03/06/2005	19.37	11/07/2013	23.68
17/07/1986	40.95	25/05/1996	16.70	19/06/2005	24.57	12/08/2013	34.11
06/11/1986	43.07	26/06/1996	30.92	05/07/2005	31.75	28/08/2013	39.95
17/05/1987	12.83	28/07/1996	40.83	21/07/2005	37.91	29/09/2013	41.29
20/07/1987	42.28	29/08/1996	49.79	06/08/2005	40.74	12/06/2014	22.70
05/08/1987	47.53	16/08/1997	28.24	06/06/2006	15.52	28/06/2014	22.95
20/06/1988	18.28	04/11/1997	34.89	24/07/2006	36.80	14/07/2014	28.69
22/07/1988	31.54	31/05/1998	26.03	09/08/2006	41.52	30/07/2014	33.28
07/08/1988	37.22	02/07/1998	36.97	12/10/2006	43.54	15/08/2014	35.65
08/09/1988	45.72	19/08/1998	43.91	09/06/2007	25.04	16/09/2014	43.67
26/10/1988	44.20	19/06/1999	29.89	25/06/2007	32.09	17/07/2015	25.25
11/11/1988	35.48	05/07/1999	35.34	27/07/2007	42.00	02/08/2015	29.21
23/06/1989	26.20	21/07/1999	40.36	12/08/2007	44.49	18/08/2015	34.02
10/08/1989	39.35	06/08/1999	44.10	29/09/2007	51.34	03/09/2015	38.74
26/06/1990	27.45	07/07/2000	32.93	27/06/2008	27.92	19/09/2015	41.50
19/12/1990	27.63	23/07/2000	36.25	13/07/2008	33.67	05/10/2015	42.77
28/05/1991	7.72	08/08/2000	39.54	29/07/2008	38.04	30/04/2016	17.63
29/06/1991	22.84	24/08/2000	45.45	14/08/2008	40.98	16/05/2016	23.75
15/07/1991	28.81	11/10/2000	45.15	30/08/2008	45.35	17/06/2016	35.11
16/08/1991	38.84	07/05/2001	15.36	14/06/2009	18.41	03/07/2016	39.08
17/07/1992	30.51	08/06/2001	25.84	16/07/2009	29.90	19/07/2016	42.03
25/07/1992	33.26	10/07/2001	39.19	17/08/2009	42.80	04/08/2016	45.71
02/08/1992	36.24	26/07/2001	44.20	02/09/2009	45.21	05/09/2016	49.44
02/06/1993	21.11	11/08/2001	48.53	17/06/2010	27.18	06/07/2017	31.96
18/06/1993	24.09	16/07/2003	34.49	21/09/2010	52.13	22/07/2017	36.71
20/07/1993	37.73	18/09/2003	46.73	04/06/2011	16.83	23/08/2017	42.62
20/05/1994	11.47	16/06/2004	21.69	20/06/2011	24.33		

**Tabela 5.** Relação das imagens utilizadas no rio Javaés e suas respectivas áreas de bancos de areia encontradas.

Javaés							
Data	Área (km <sup>2</sup> )	Data	Área (km <sup>2</sup> )	Data	Área (km <sup>2</sup> )	Data	Área (km <sup>2</sup> )
09/06/1984	6.04	10/07/1995	7.16	18/07/2004	12.19	07/08/2011	14.83
25/06/1984	9.35	25/05/1996	4.26	04/09/2004	16.33	08/09/2011	18.69
11/07/1984	10.55	26/06/1996	9.93	03/06/2005	4.91	09/06/2013	7.44
14/07/1985	9.65	12/07/1996	11.22	19/06/2005	6.83	25/06/2013	9.10
17/07/1986	11.91	16/08/1997	11.38	05/07/2005	9.54	11/07/2013	11.26
06/11/1986	15.93	04/11/1997	16.11	21/07/2005	12.33	12/08/2013	14.94
17/05/1987	3.56	31/05/1998	8.93	06/08/2005	13.70	28/08/2013	16.30
20/07/1987	14.45	16/06/1998	11.04	22/06/2006	7.18	12/06/2014	4.70
05/08/1987	15.17	02/07/1998	12.80	24/07/2006	12.03	14/07/2014	11.27
20/06/1988	6.34	19/08/1998	15.74	09/08/2006	13.77	15/08/2014	13.43
07/08/1988	13.97	09/12/1998	14.34	12/10/2006	17.02	16/09/2014	15.89
08/09/1988	15.46	19/06/1999	11.50	09/06/2007	8.99	05/12/2014	12.57
26/10/1988	17.15	05/07/1999	12.80	25/06/2007	11.41	17/07/2015	10.13
11/11/1988	16.49	21/07/1999	14.49	27/07/2007	14.60	18/08/2015	13.19
23/06/1989	8.05	06/08/1999	15.93	12/08/2007	15.24	03/09/2015	15.47
10/08/1989	13.85	05/06/2000	6.66	29/09/2007	19.31	19/09/2015	15.34
26/06/1990	9.82	07/07/2000	10.32	27/06/2008	9.81	21/10/2015	16.48
19/12/1990	15.09	23/07/2000	13.80	13/07/2008	11.88	30/04/2016	5.21
29/06/1991	7.23	08/08/2000	14.34	29/07/2008	13.48	16/05/2016	7.83
15/07/1991	9.56	24/08/2000	15.54	14/08/2008	15.68	17/06/2016	13.06
16/08/1991	13.45	11/10/2000	17.57	30/08/2008	17.58	03/07/2016	14.84
17/07/1992	11.69	08/06/2001	7.00	16/07/2009	9.47	19/07/2016	15.84
25/07/1992	12.91	10/07/2001	12.43	17/08/2009	13.80	04/08/2016	17.44
02/08/1992	14.33	26/07/2001	14.59	02/09/2009	15.87	20/08/2016	18.07
02/06/1993	5.64	11/08/2001	15.43	17/06/2010	10.26	05/09/2016	18.19
18/06/1993	8.96	16/07/2003	12.48	21/09/2010	18.17	19/05/2017	3.16
20/07/1993	12.84	16/06/2004	8.48	04/06/2011	5.06	06/07/2017	11.91
07/07/1994	11.11	02/07/2004	10.48	20/06/2011	7.37	22/07/2017	14.16
						23/08/2017	17.94

### 5.2.2 Relação entre hidrologia e bancos de areia

Para se estabelecer uma relação entre eventos extremos (cheias e secas) com os bancos de areia foram identificados anos atípicos, os quais foram classificados em três diferentes categorias: anos secos, anos intermediários e anos úmidos.

As categorias foram definidas de forma a tentar estabelecer uma relação homogênea dos dados. Para tal determinou-se a média das vazões encontrada nas estações São Félix do Araguaia e Barreira da Cruz entre os anos de 1984 e 2017 e subtraiu-se esse valor das médias

anuais encontradas para cada ano em ambos os rios Araguaia e Javaés. Estes valores foram comparados com o desvio padrão das vazões obtidas. O rio Araguaia apresentou média e desvio padrão de  $2.775,40 \pm 472,55$  m<sup>3</sup>/s enquanto o Javaés apresentou média e desvio de  $517,38 \pm 218,68$ . Desta forma, para o rio Araguaia considerou-se anos secos os que possuíam valores 15% menores que a média. Anos úmidos foram definidos como tendo diferença superior a 15%. Anos que se encontravam entre esses valores foram definidos como anos intermediários.

Para o rio Javaés o procedimento foi o mesmo, apenas modificando-se os limiares que definem anos secos, intermediários e úmidos, devido a análise do seu desvio padrão. Os anos que possuíam valores de diferença inferiores à 30% foram considerados anos secos, enquanto os úmidos apresentaram valores de diferença superiores a 30%. Da mesma forma que o rio Araguaia, os anos que se encontravam entre esses valores foram considerados anos intermediários.

A modificação no procedimento utilizado para ambos os rios pode ser explicada devido às diferenças em suas dimensões. Como o rio Araguaia é consideravelmente maior, ele apresenta uma menor variação relativa anual em suas vazões, diferente do rio Javaés, que apresenta diferenças mais expressivas.

Os anos que apresentavam falhas nas medições de vazões foram desconsiderados para os dois rios. Conforme indicado na **Tabela 6**, anos secos estão representados em vermelho, anos intermediários em preto e anos úmidos em azul. Os dados estão dispostos nas **Tabelas 7** e **8**.

**Tabela 6.** Relação das categorias escolhidas para a análise e as cores utilizadas para caracterizá-las.

		Araguaia	Javaés
Seco	Vermelho	-15%	-30%
Intermediário	Preto	-15% a +15%	-30% a +30%
Úmido	Azul	+15%	+30%

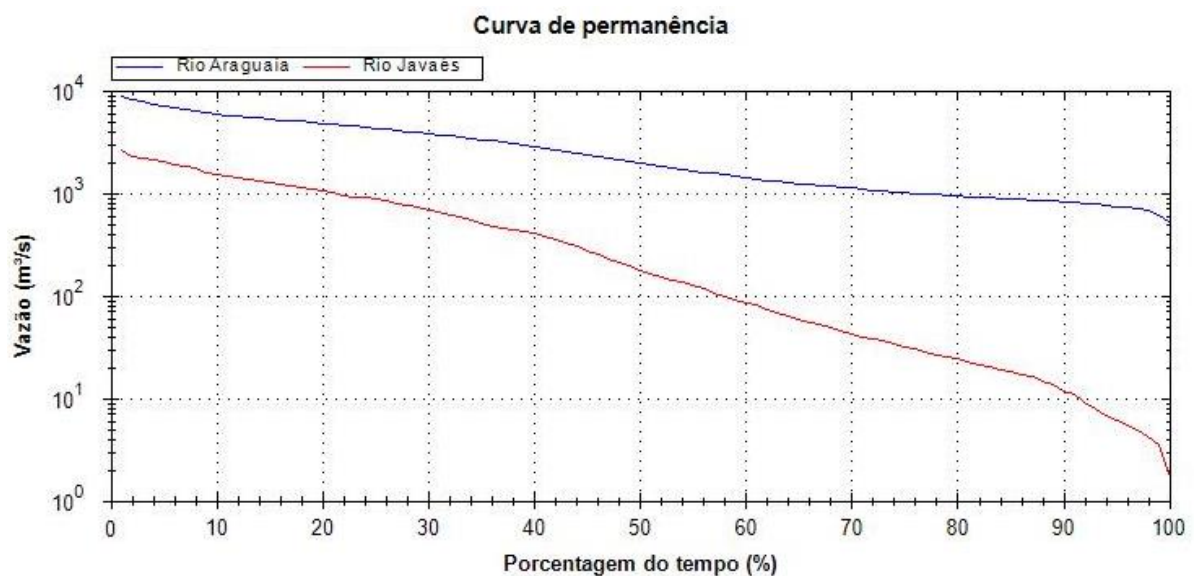
**Tabela 7.** Categorização dos anos secos, intermediários e úmidos para o rio Araguaia.

Vazão média da estação (m³/s)		2,775.40	
Ano	Vazão média (m³/s)	Diferença	Diferença (%)
1984	2.449,93	-325,47	-11,73
1985	2.859,74	84,34	3,04
1986	2.135,02	-640,38	-23,07
1987	1.928,65	-846,75	-30,51
1988	2.654,60	-120,80	-4,35
1990	2.839,12	63,72	2,30
1991	3.612,95	837,55	30,18
1992	2.746,43	-28,97	-1,04
1993	2.721,01	-54,39	-1,96
1994	2.783,45	8,05	0,29
1995	3.058,23	282,83	10,19
1997	3.453,44	678,04	24,43
1998	2.327,41	-447,99	-16,14
1999	2.253,91	-521,49	-18,79
2000	2.846,25	70,85	2,55
2001	2.273,31	-502,09	-18,09
2002	3.237,94	462,54	16,67
2003	2.674,74	-100,66	-3,63
2004	3.271,64	496,24	17,88
2005	2.526,44	-248,96	-8,97
2006	2.713,35	-62,05	-2,24
2007	2.783,81	8,41	0,30
2016	1.606,59	-1.168,81	-42,11

**Tabela 8.** Categorização dos anos secos, intermediários e úmidos para o rio Javaés.

Vazão média da estação (m³/s)		517.38	
Ano	Vazão Média (m³/s)	Diferença	Diferença (%)
1984	476,69	-40,69	7,87
1985	845,66	328,28	-63,45
1986	865,65	348,27	-67,31
1987	337,91	-179,47	34,69
1989	586,85	69,47	-13,43
1994	648,61	131,22	-25,36
1996	381,15	-136,23	26,33
1997	862,61	345,23	-66,73
1998	361,81	-155,57	30,07
2006	393,13	-124,25	24,02
2007	520,29	2,91	-0,56
2008	327,13	-190,26	36,77
2010	400,38	-117,01	22,61
2016	119,67	-397,71	76,87

A **Figura 9** mostra a curva de permanência das estações São Félix do Araguaia (rio Araguaia) e Barreira da Cruz (rio Javaés), feita utilizando o programa Super Manejo de Dados, desenvolvido pelo grupo de pesquisa Hidrologia de Grande Escala (HGE), do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), para comparar com o resultado obtido com a categorização demonstrada pela **Tabela 6**. Pode-se observar que os anos úmidos para o rio Araguaia representam valores de vazão média superados em 35% do tempo (Q35) enquanto os anos secos representam valores de vazão referentes a uma Q45. Para o rio Javaés esses valores são de Q30 para anos úmidos, e Q45 para anos secos.



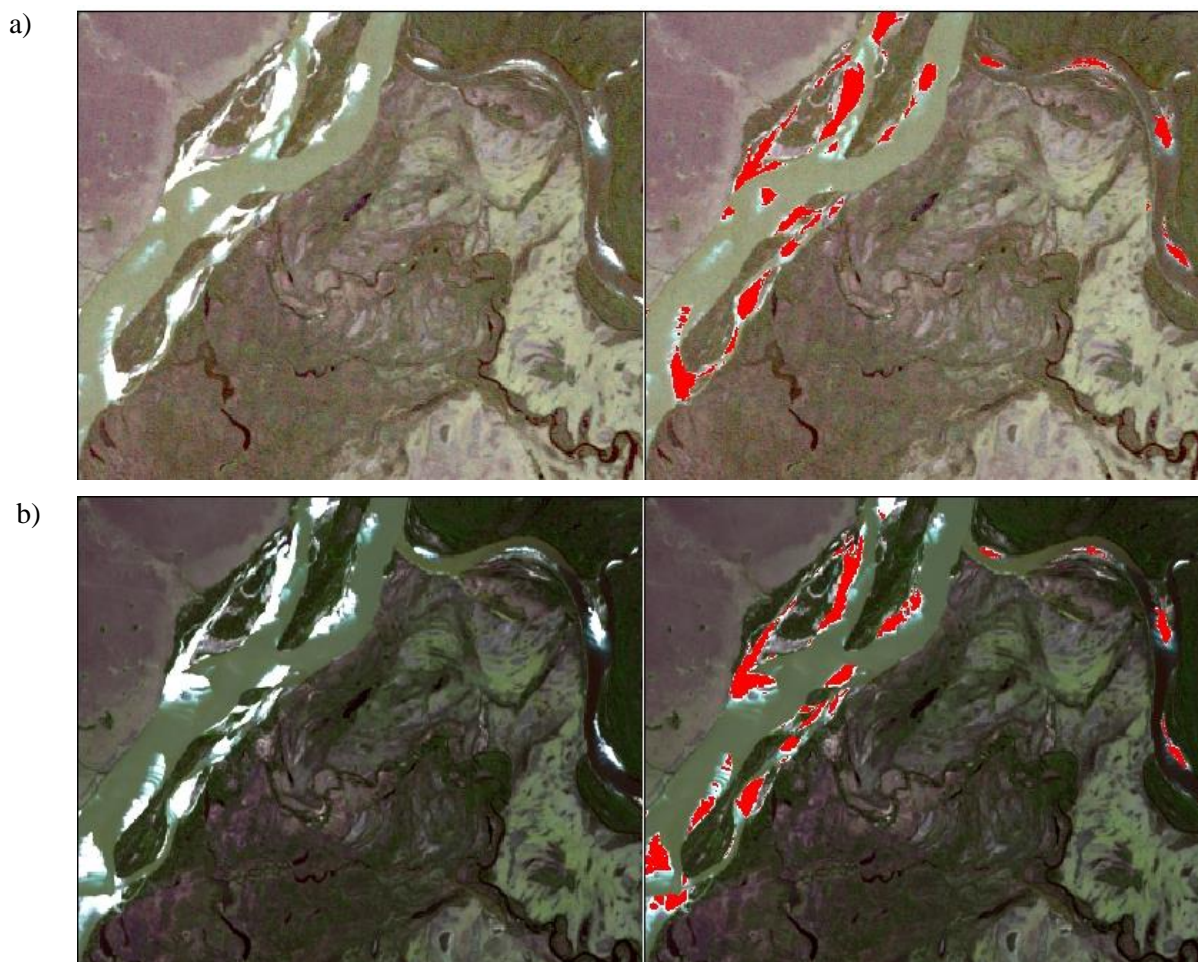
**Figura 9.** Curvas de permanência dos rios Araguaia e Javaés para o período estudado. **Fonte:** autor.



## 6 RESULTADOS

### 6.1 CLASSIFICAÇÃO DAS IMAGENS

A **Figura 10** demonstra um exemplo dos resultados obtidos das classificações tanto para as imagens Landsat 5 (imagem superior) quanto para o Landsat 8 (imagem inferior). Pode-se observar a diferença na resolução radiométrica de ambas as imagens. O fato das imagens do Landsat 5 terem sido separadas em 2 classes, enquanto para o Landsat 8 terem sido definidas 3 classes, não apresentou diferenças significativas nos resultados encontrados. Para todas as imagens foram obtidos resultados similares aos da **Figura 10**.



**Figura 10.** Exemplo do resultado obtido para as classificações das Imagens Landsat 5 e Landsat 8, onde na esquerda temos a imagem não classificada, e na direita, em vermelho, temos a classe considerada de bancos de areia. a) Imagem Landsat 5 de data 16/07/2009. b) Imagem Landsat 8 de data 11/07/2013. **Fonte:** autor.

## 6.2 VARIABILIDADE INTERANUAL DOS BANCOS DE AREIA

Os bancos de areia apresentam variações interanuais devido a sua interação com a dinâmica hidrológica dos rios em que estão inseridos. As **Figuras 11 e 12** apresentam a variação dos bancos de areia nos rios Araguaia e Javaés para os meses de Julho do período de 1984 a 2017. Os trechos escolhidos para apresentar o comportamento dos bancos de areia demonstraram ser representativos do comportamento ao longo de ambos os rios na região das imagens de órbita-ponto 223-067 selecionadas.

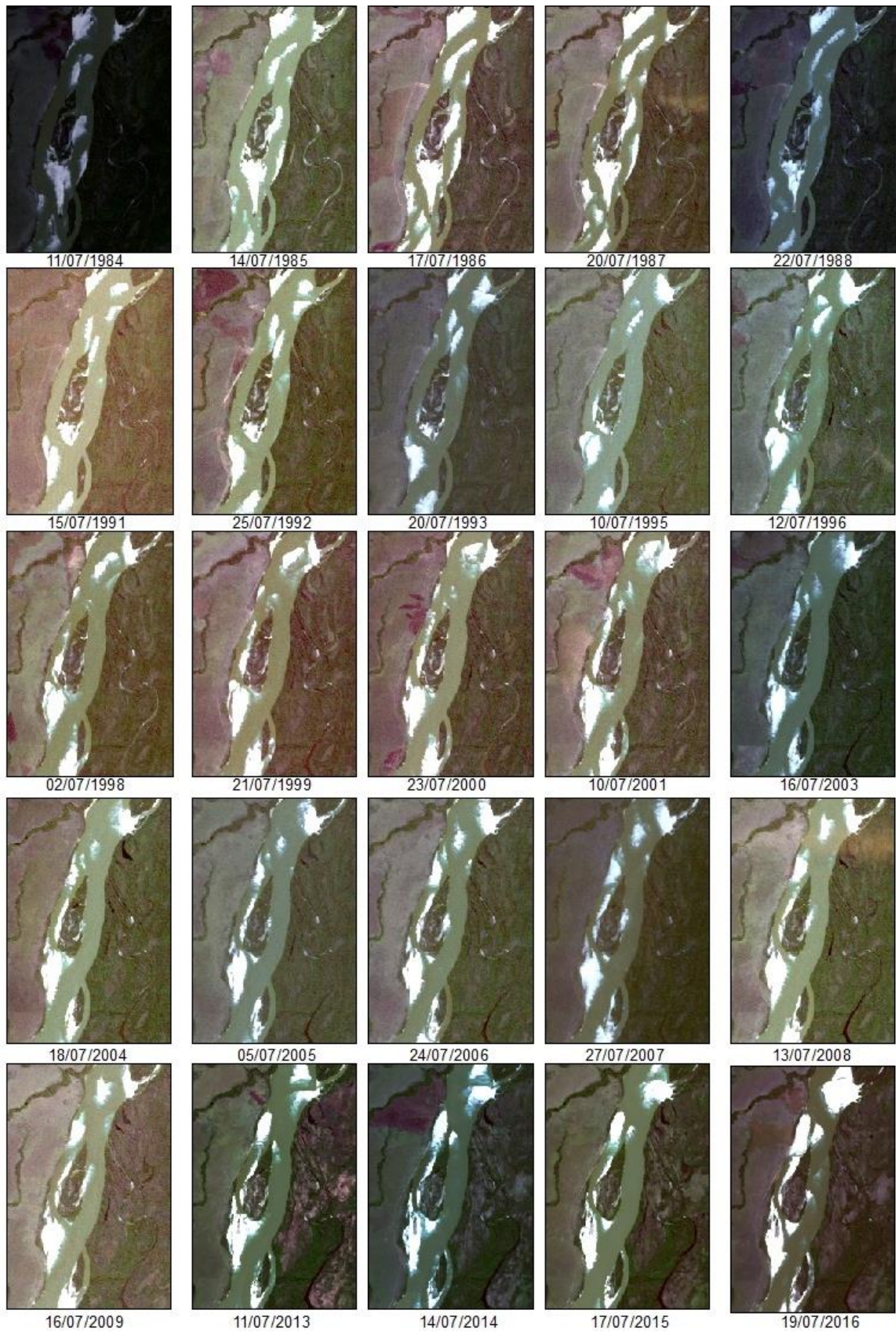
Percebe-se no rio Araguaia (**Figura 11**) uma migração significativa de todos os tipos de barras presentes no rio. Tanto as barras laterais, centrais e de soldamento apresentaram variações consideráveis no seu formato, tamanho e posicionamento, com algumas apresentando transformações ao longo dos anos, sumindo por completo ou acoplando-se a outras barras.

No rio Javaés (**Figura 12**) o posicionamento e o formato dos bancos de areia não sofreram alterações expressivas, mantendo-se estáveis ao longo dos anos analisados. As alterações visíveis se apresentam no tamanho das barras encontradas no trecho.

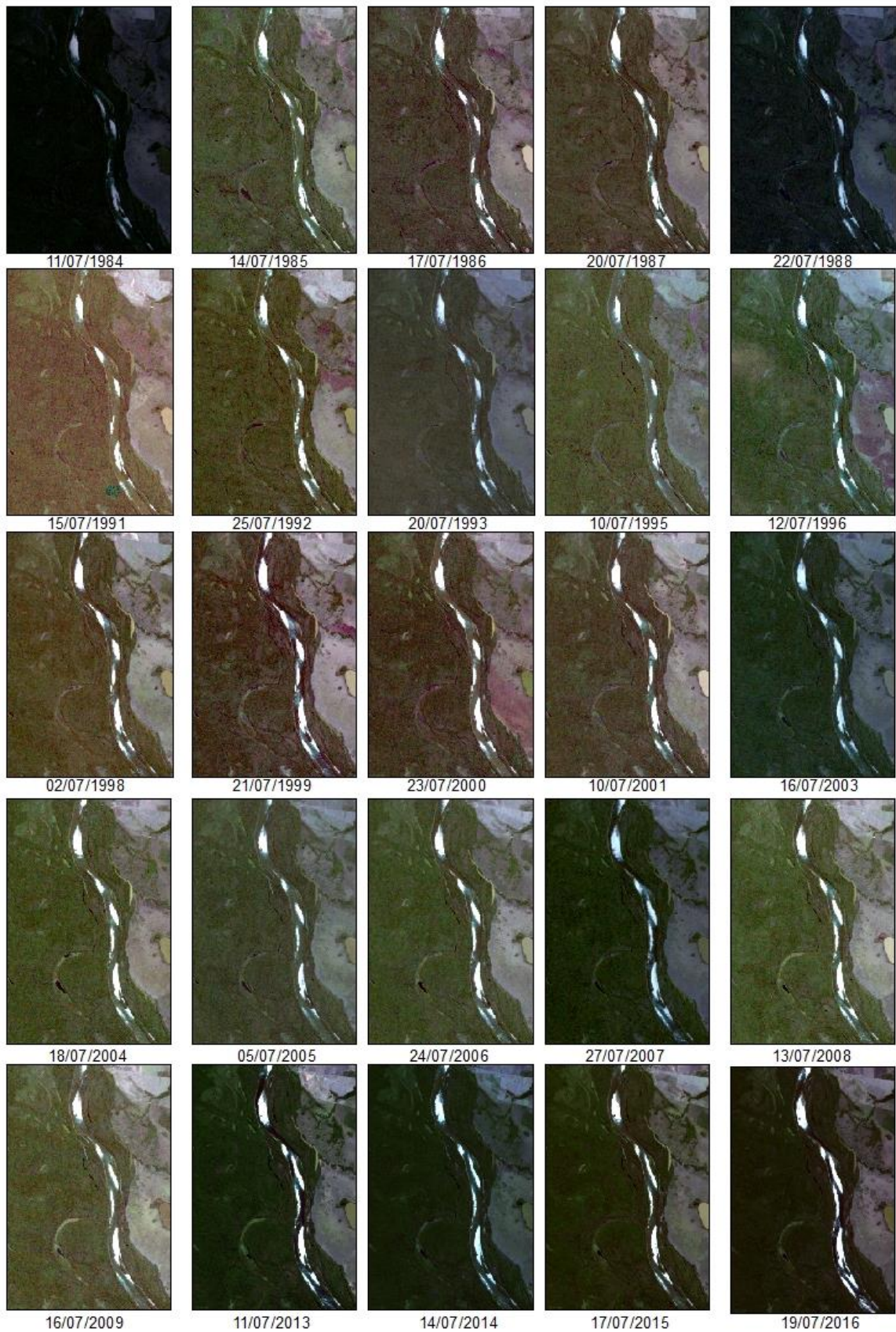
Essa diferença no comportamento dos bancos de areia pode ser explicada devido os condicionantes hidráulicos do Javaés serem de menor intensidade em relação ao rio Araguaia, que se apresenta como um rio de maiores dimensões, então com maior capacidade de transporte de sedimentos.

Relacionando a área superficial dos rios com as extensões das áreas expostas dos bancos de areia dos trechos analisados (órbita 223-067), chegou-se a uma relação da proporção representativa dos bancos de areia em cada rio. A **Tabela 9** indica os valores máximos da relação área de bancos de areia e área superficial do rio encontrados anualmente para o rio Araguaia e o rio Javaés.

Observa-se que para o rio Araguaia o valor máximo atingido foi para o ano de 2010, quando os bancos de areia chegaram a representar 38,38% da área superficial do rio analisada. Para o rio Javaés o valor máximo observa-se em 2007 com 45,78% da sua área sendo representada por bancos de areia expostos. Considerando-se que na estação úmida os bancos de areia apresentam-se completamente sobrepostos pelos rios, tendo representatividade de 0% de sua área superficial, a variabilidade anual do comportamento dos bancos de areia no sistema Araguaia-Javaés é bastante expressiva.



**Figura 11.** Avaliação da variação interanual dos bancos de areia do rio Araguaia no mês de julho. **Fonte:** autor.



**Figura 12.** Avaliação da variação interanual dos bancos de areia do rio Javaés no mês de julho. **Fonte:** autor.

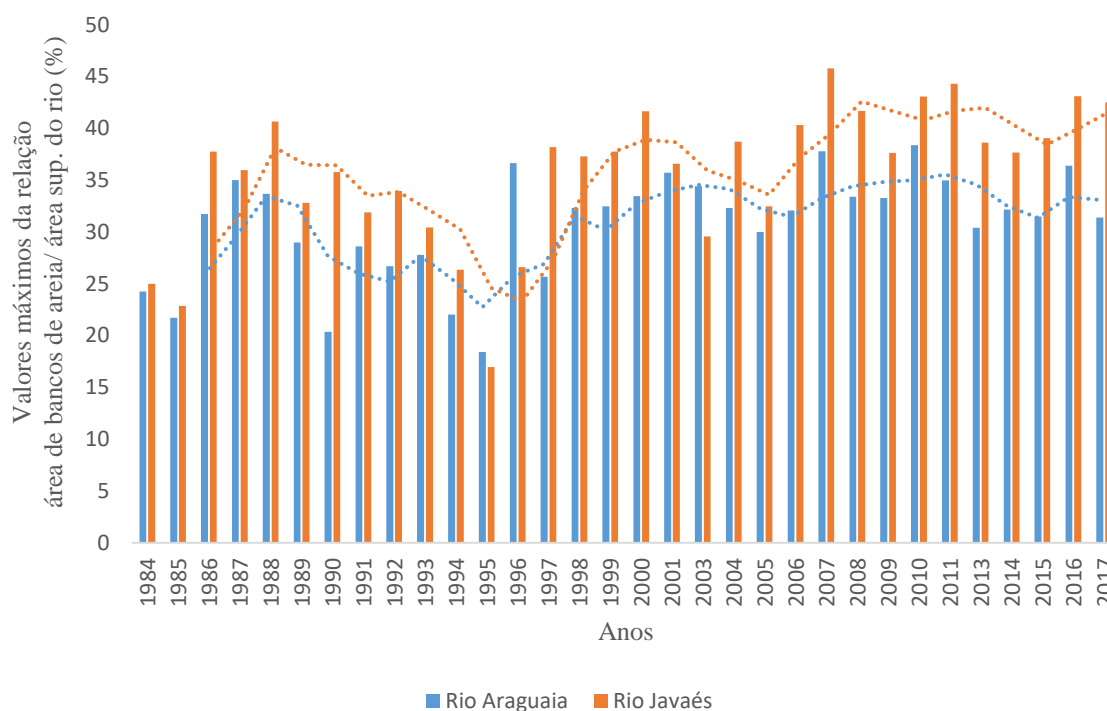
**Tabela 9.** Valor máximo da relação entre os bancos de areia e a área superficial dos rios Araguaia e Javaés.

Rio Araguaia		Rio Javaés	
Ano	Relação bancos de areia / área superficial do rio (%)	Ano	Relação bancos de areia / área superficial do rio (%)
1984	24,25	1984	25,01
1985	21,73	1985	22,87
1986	31,72	1986	37,76
1987	35,00	1987	35,96
1988	33,67	1988	40,65
1989	28,97	1989	32,82
1990	20,35	1990	35,78
1991	28,60	1991	31,88
1992	26,69	1992	33,97
1993	27,78	1993	30,44
1994	22,04	1994	26,34
1995	18,41	1995	16,96
1996	36,66	1996	26,60
1997	25,69	1997	38,20
1998	32,33	1998	37,30
1999	32,47	1999	37,76
2000	33,47	2000	41,64
2001	35,73	2001	36,58
2003	34,41	2003	29,58
2004	32,33	2004	38,71
2005	29,99	2005	32,48
2006	32,06	2006	40,33
2007	37,80	2007	45,78
2008	33,39	2008	41,67
2009	33,29	2009	37,63
2010	38,38	2010	43,07
2011	34,98	2011	44,30
2013	30,40	2013	38,63
2014	32,16	2014	37,66
2015	31,50	2015	39,06
2016	36,41	2016	43,11
2017	31,38	2017	42,53

Outra forma de interpretar os dados da **Tabela 9** está representada na **Figura 13**. Nela podemos observar a tendência dos valores máximos da relação das áreas de bancos de areia e a área superficial dos rios analisados. Pode-se perceber que o rio Javaés possui uma maior representatividade de bancos de areia do que o rio Araguaia, assim como nota-se que possui uma tendência de aumento mais significativa que a apresentada no rio Araguaia. Esta

diferença pode estar relacionada com as mudanças no uso da terra mais intensas na margem direita do rio Javaés, se comparadas às mudanças na margem esquerda do rio Araguaia.

A diferença do comportamento do rio Araguaia e do Javaés pode ser resumida na análise de suas médias e desvio padrão. Enquanto o rio Araguaia apresenta uma média dos valores de relação área de bancos de areia e área superficial do rio de 30,75% com desvio padrão de 5,12%, o rio Javaés apresenta uma média de 35,72% e desvio padrão de 6,73%.



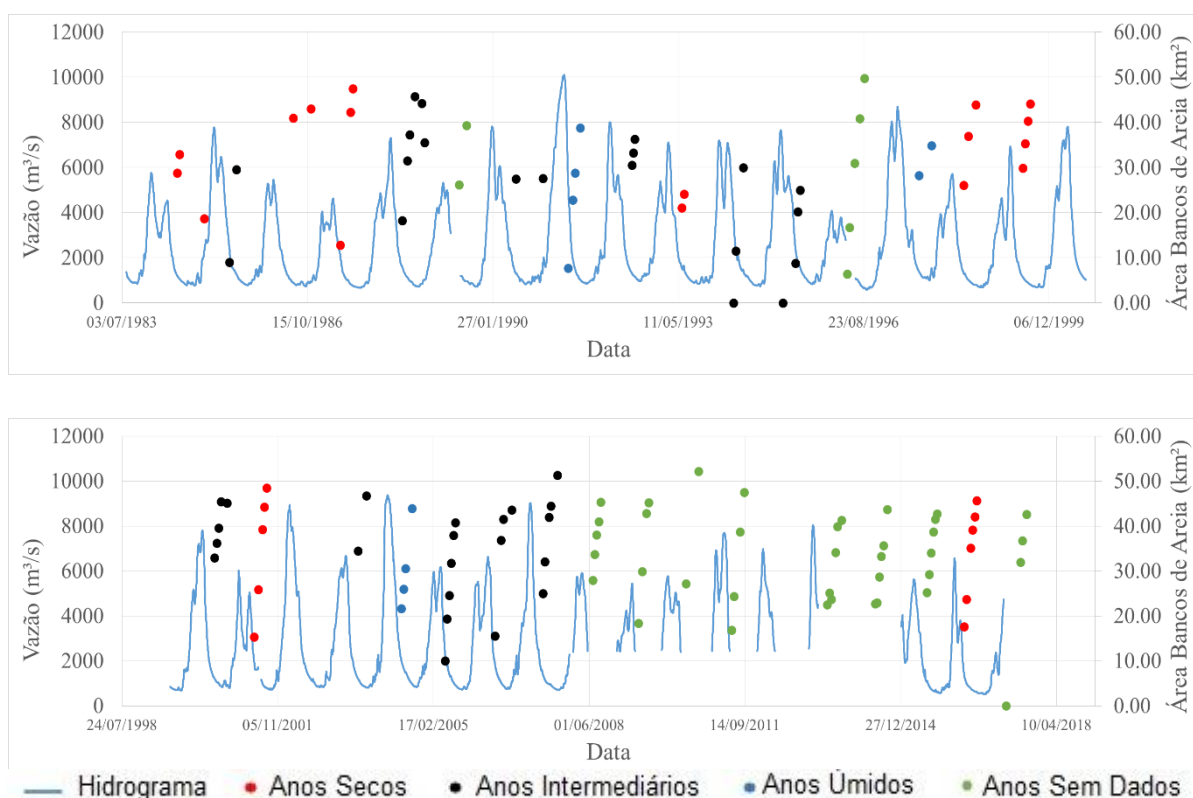
**Figura 13.** Comparação dos valores máximos da representatividade dos bancos de areia nos rios Araguaia e Javaés e suas tendências ao longo dos anos. As linhas pontilhadas correspondem a média móvel de três anos. **Fonte:** autor.

### 6.3 RELAÇÃO ENTRE EVENTOS HIDROLÓGICOS EXTREMOS E BANCOS DE AREIA

Uma forma de representar a relação da hidrologia com o comportamento temporal das barras acrescidas é sobrepondo os valores das áreas com o hidrograma dos rios. As **Figuras 14 e 15** demonstram este comportamento nos rios Araguaia e Javaés, respectivamente. Para melhor visualização os hidrogramas foram divididos em duas partes, a primeira representando os anos hidrológicos de 1984 até 1999 e a segunda de 2000 até 2017. Os valores areais dos bancos de areia estão identificados com a mesma cor para cada ano e estão separados

conforme o comportamento hidrológico dos anos em que estão inseridos. Em vermelho estão os anos de comportamento considerados secos, enquanto os anos intermediários estão em preto, os úmidos em azul e, por fim, os anos que tiveram que ser desconsiderados devido a falta de dados hidrológicos estão representados em verde.

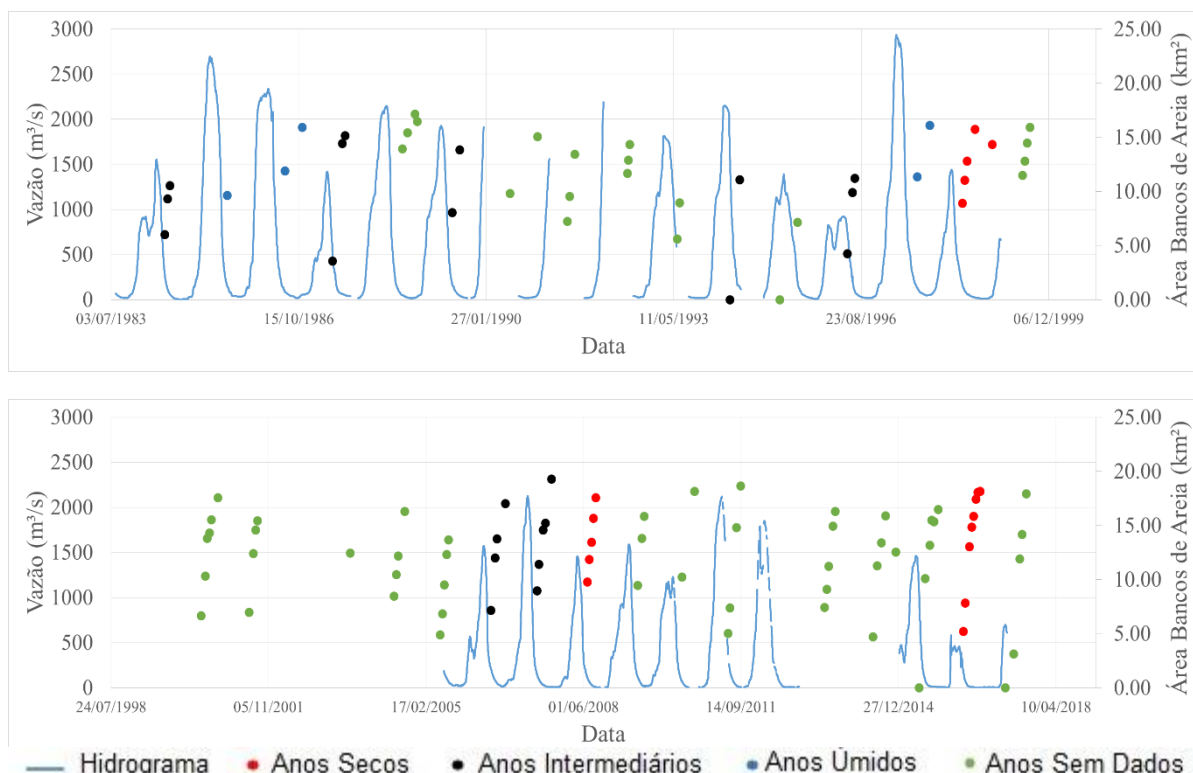
Alguns anos apresentaram falhas nos dados, o que impossibilitou a utilização para as análises. Os anos que apresentaram falhas, conforme indicado na **Figura 14**, foram os anos de 1989, 1996 e de 2008 até 2015. Alguns apresentaram falhas pontuais, porém significativas, outros, como 2013 e 2014, apresentaram falhas quase que durante todo o ano.



**Figura 14.** Relação entre o hidrograma do rio Araguaia e as áreas de bancos de areia nos anos analisados, categorizados em anos úmidos, intermediários, secos e anos sem dados. **Fonte:** autor.

Os dados de vazão obtidos para o rio Javaés apresentaram mais falhas que os do rio Araguaia. Observa-se na **Figura 15** que os anos de 1988, 1990 até 1993, 1995, 1999 até 2005, 2009 e de 2011 até 2015 tiveram que ser descartados devido a falhas nas medições.

Para ambos os rios podemos observar a relação entre a vazão e a ascensão dos bancos de areia. As primeiras aparições dos bancos de areia estão relacionados ao fim da estação úmida e início da seca, em meados de maio. Também podem ser destacados eventos extremos ao analisar os hidrogramas. O ano de maior seca para ambos os rios foi o ano de 2016, enquanto os anos mais úmidos foram 1991 e 1997.

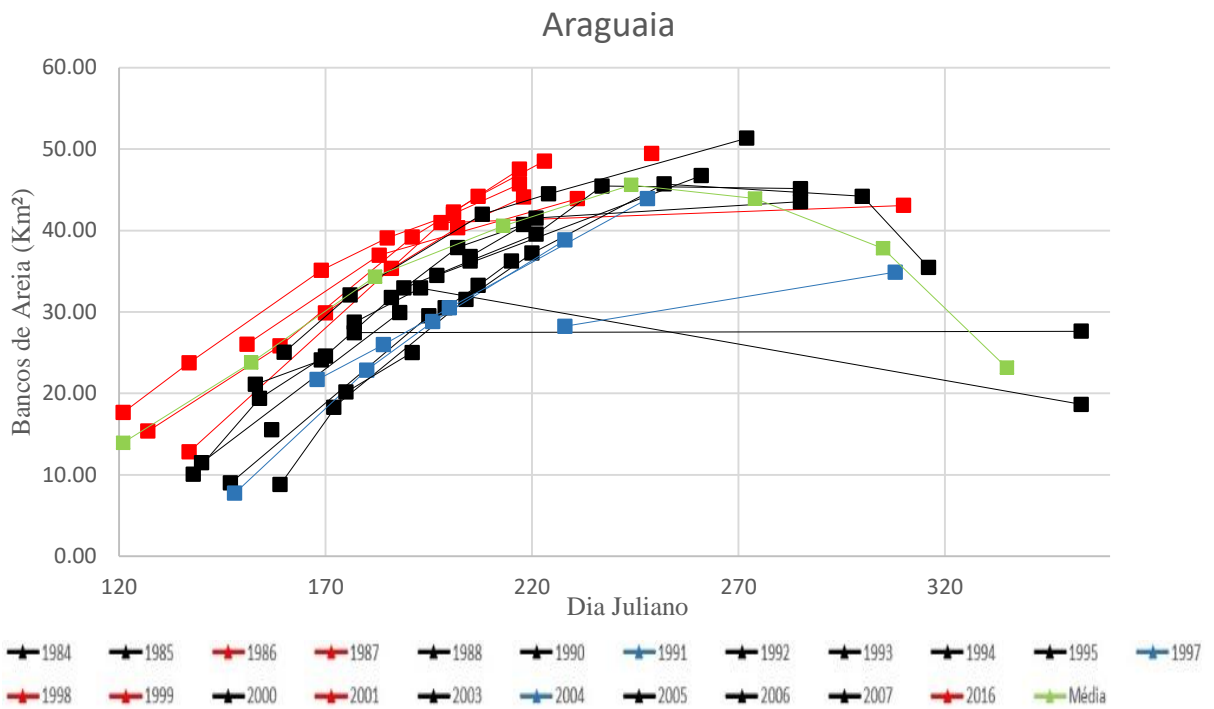


**Figura 15.** Relação entre o hidrograma do rio Javaés e as áreas de bancos de areia nos anos analisados, categorizados em anos úmidos, intermediários, secos e anos sem dados. **Fonte:** autor.

Outra forma de representar a relação da hidrologia com o comportamento dos bancos de areia é através de uma análise temporal. Nas **Figuras 16 e 17** as áreas dos bancos de areia foram relacionadas com os dias do ano em que foram obtidas. Nesta análise também foram inseridos os valores médios mensais calculados para ambos os rios. Estes valores médios apresentam o comportamento característico esperado dos bancos de areia, onde sua ascensão começa no mês de maio até atingir um máximo em setembro, e então começar um processo de recessão.

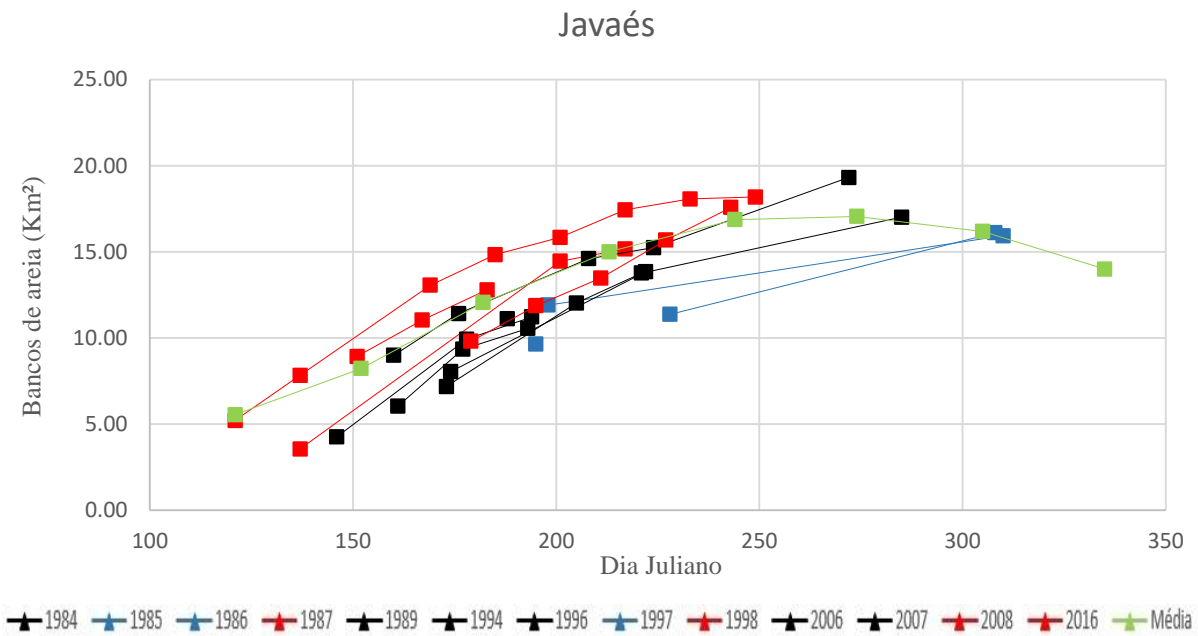
Tanto o rio Araguaia quanto o rio Javaés apresentaram comportamentos semelhantes. Anos secos representam maiores valores de extensão areais de bancos de areia do que anos médios e anos úmidos, além do seu aparecimento ser anterior em relação aos demais anos. Ou seja, em anos mais secos que a média, bancos de areia ficam expostos antes no ano, em relação a anos mais úmidos. Também pode-se observar nas **Figuras 16 e 17** que o padrão dos anos secos mantiveram-se acima da média enquanto os anos úmidos concentram-se abaixo da média, padrão observado para ambos os rios.





**Figura 16.** Relação temporal da área dos bancos de areia com o comportamento hidrológico dos anos analisados, categorizados em anos secos (vermelho), anos intermediários (preto) e anos úmidos (azul), no rio Araguaia.

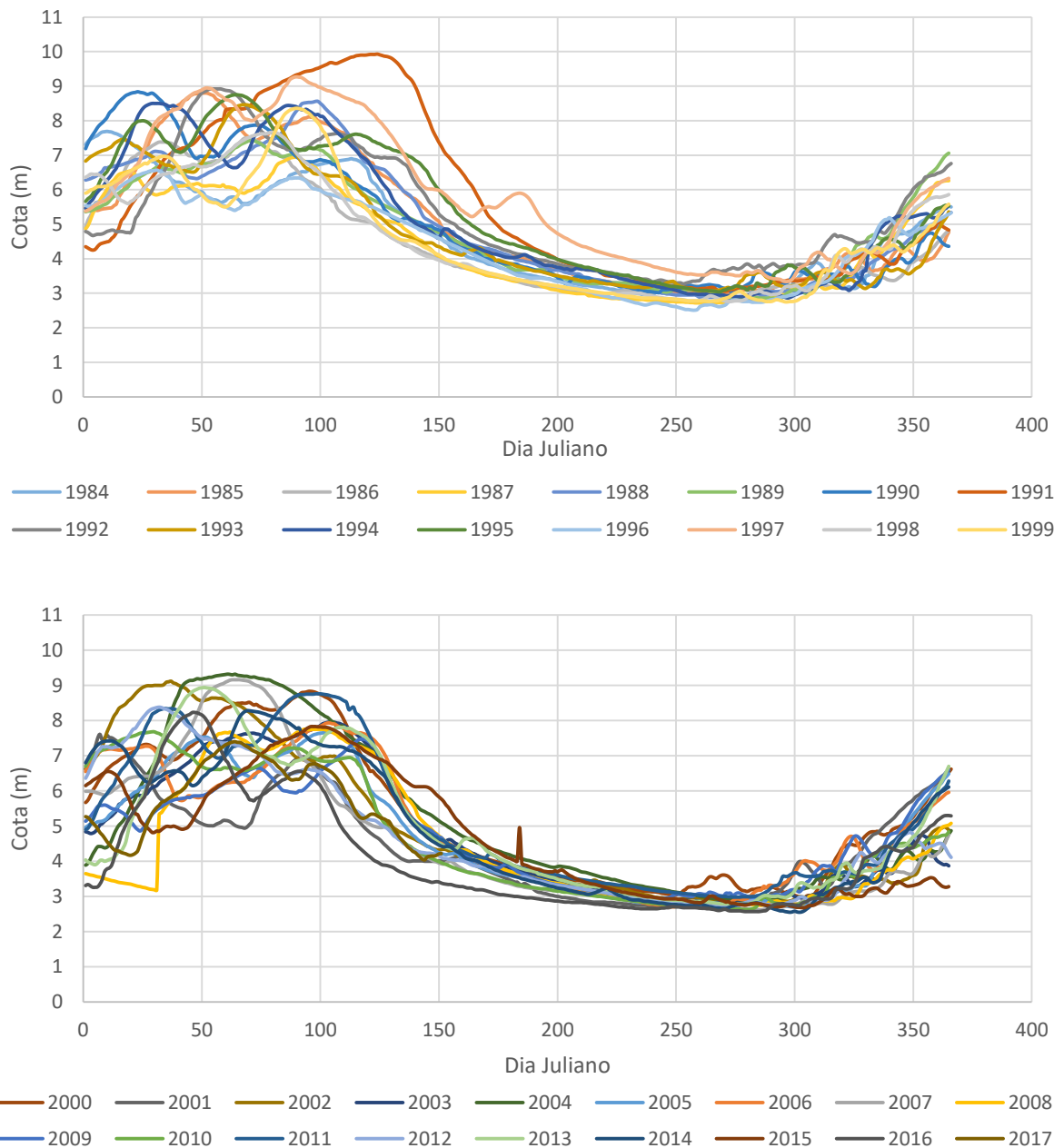
**Fonte:** autor.



**Figura 17.** Relação temporal da área dos bancos de areia com o comportamento hidrológico dos anos analisados, categorizados em anos secos (vermelho), anos intermediários (preto) e anos úmidos (azul), no rio Javaés. **Fonte:** autor.

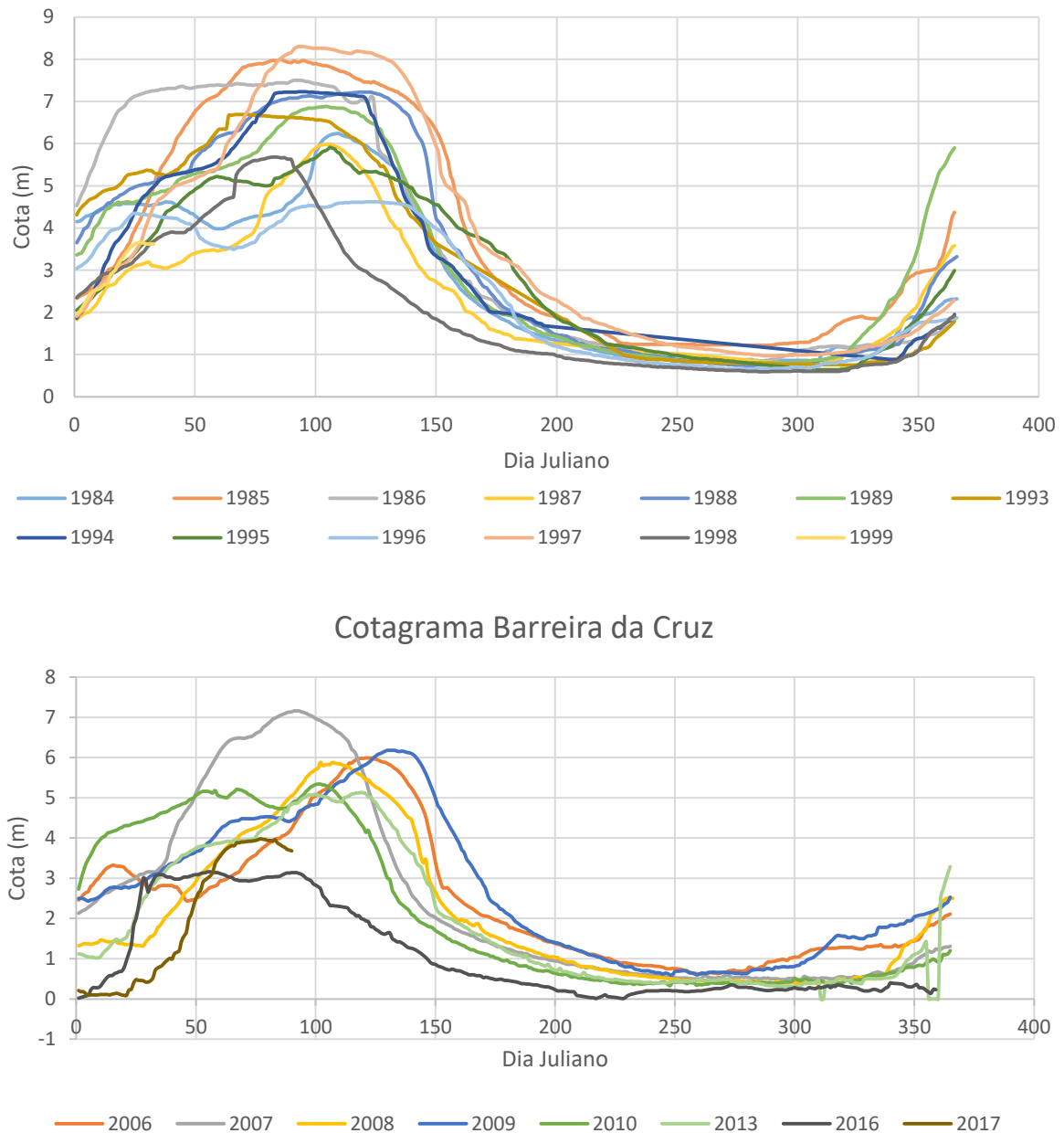
## 6.4 RELAÇÃO ENTRE COTAS DO RIO E BANCOS DE AREIA

Os cotagramas dos rios Araguaia e Javaés estão apresentados nas **Figuras 18 e 19**, respectivamente. Para melhor visualização os cotagramas foram separados em duas partes distintas. O primeiro representa os valores encontrados para os anos de 1984 até 1999, enquanto o segundo indica o comportamento do período 2000-2017. Para o rio Araguaia nenhum ano necessitou ser desconsiderado devido às falhas, mas o rio Javaés apresentou falhas significativas que inviabilizaram o tratamento dos dados de alguns anos.



**Figura 18.** Cotagramas do rio Araguaia. Parte superior apresenta cotagramas do período 1984 - 1999, enquanto a parte inferior apresenta os cotagramas para o período de 2000 – 2017. **Fonte:** autor.

Para o rio Araguaia, os anos 1991 e 1997, considerados úmidos pela metodologia especificada na seção 5.2.2, apresentaram valores de cotas mais elevados que os demais anos. O ano de 2004 também demonstrou comportamento semelhante, apesar de não tão significativo. Os anos observados que apresentaram cotas mais baixas foram os de 1984, 1987, 1996, 2001 e 2016, a maioria estando dentro da classificação de ano seco.

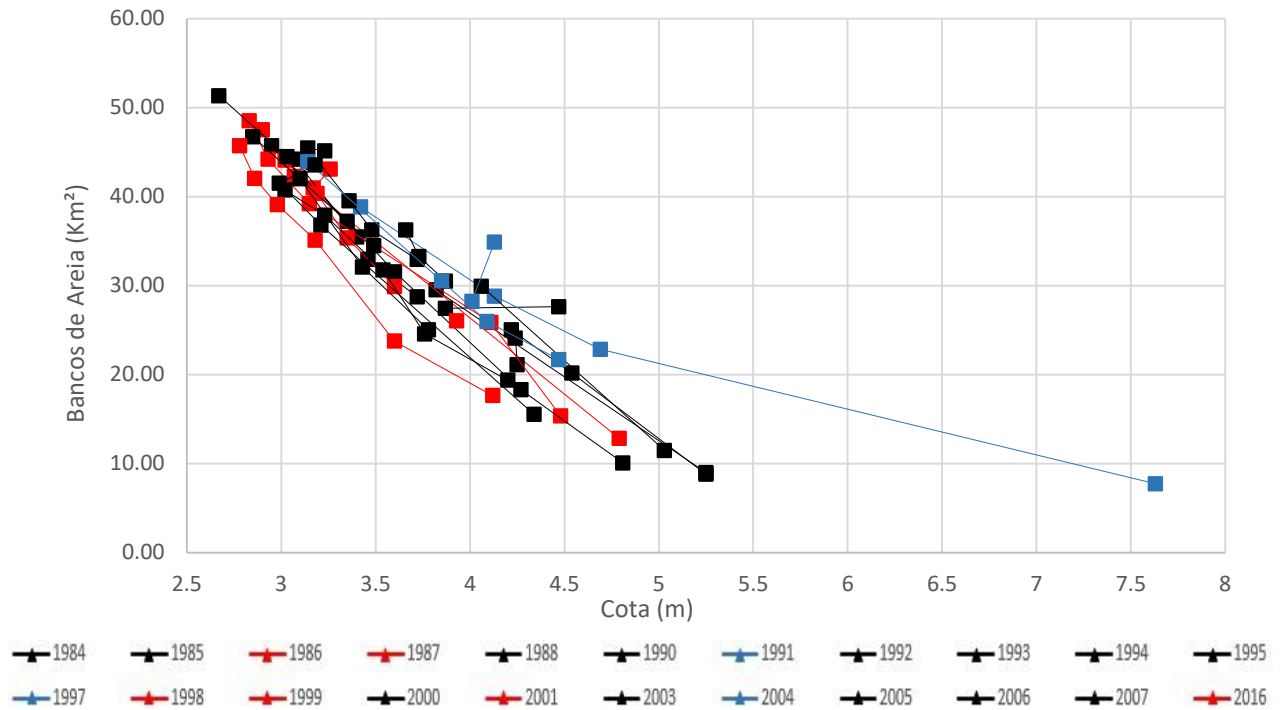


**Figura 19.** Cotagramas do rio Javaés. Parte superior apresenta cotagramas do período 1984 - 1999, enquanto a parte inferior apresenta os cotagramas para o período de 2000 - 2017. **Fonte:** autor.

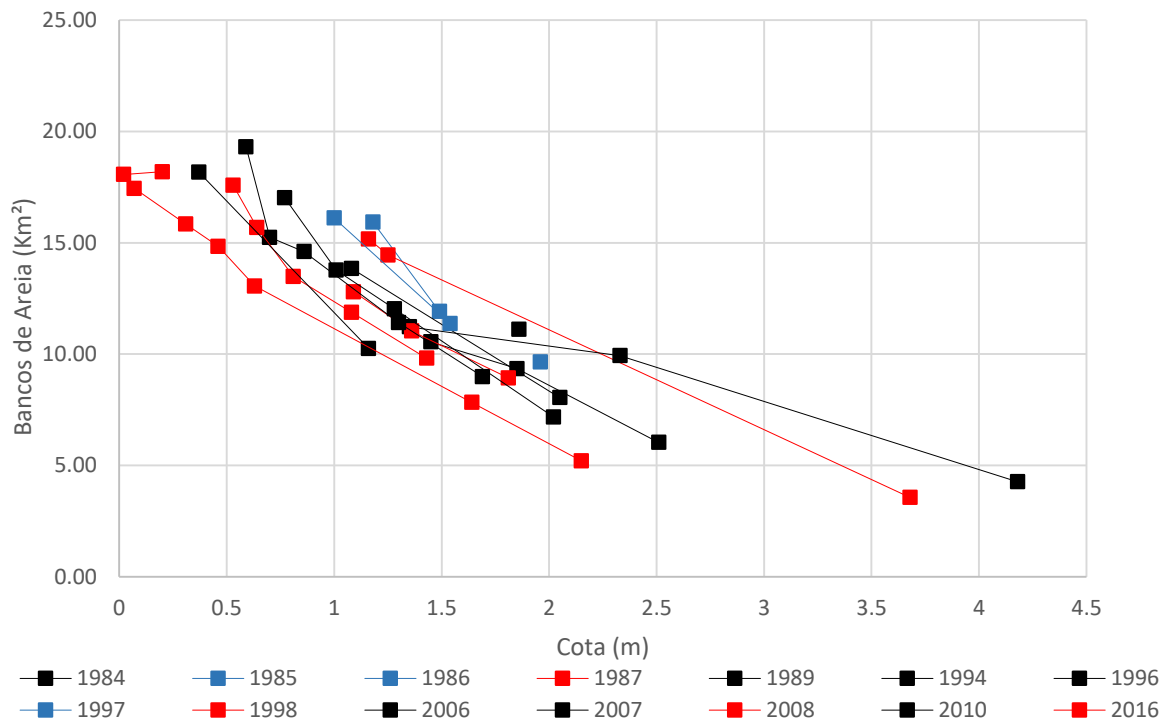
O rio Javaés apresentou comportamento semelhante ao rio Araguaia, tendo os anos de 1985, 1986 e 1997 com maiores cotas observadas, todos estes definidos como anos úmidos. As menores cotas ficaram por conta dos anos 1987, 1996, 1998 e o ano mais atípico observado, 2016, com exceção de 1996 todos na categoria de anos secos. Os anos desconsiderados foram: 1990 a 1992, 2000 a 2005, 2011, 2012 e por fim 2014 e 2015.

Os bancos de areia dos rios Araguaia e Javaés também foram correlacionados com suas cotas. Observando as **Figuras 20 e 21** percebe-se que para um mesmo valor de cota, há uma considerável variação da área de bancos de areia. A maior variação para o rio Araguaia pode ser observada na cota de 4,1 m, sendo que o menor valor de banco de areia está representado no ano seco com valor de 17,7 km<sup>2</sup>, enquanto para o ano úmido, para a mesma cota, temos um valor de 34,9 km<sup>2</sup>, representando uma diferença de aproximadamente o dobro. Considerando que a seção do rio se manteve constante (a partir da ausência de informações no portal Hidroweb sobre mudanças na seção de observação), estas variações das áreas expostas dos bancos de areia para o mesmo nível observado são indicativos da grande variabilidade interanual que o comportamento dos bancos de areia do sistema Araguaia-Javaés apresenta. Esta relação negativa entre os bancos de areia e o nível é esperada pelas análises anteriores.

As possíveis influências dos eventos extremos também podem ser observadas pela análise das **Figuras 20 e 21**. Os comportamentos mais atípicos apresentados estão justamente nos anos de maior seca ou cheia, sendo o ano de 2016 o representante da maior seca e da linha mais inferior, enquanto o ano de 1991 representa a maior cheia e a linha mais dispersa na análise.



**Figura 20.** Relação da área dos bancos de areia com as cotas do rio Araguaia e sua hidrologia, categorizada em anos secos (vermelho), anos intermediários (preto) e anos úmidos (azul). **Fonte:** autor.



**Figura 21.** Relação da área dos bancos de areia com as cotas do rio Javaés e sua hidrologia, categorizada em anos secos (vermelho), anos intermediários (preto) e anos úmidos (azul). **Fonte:** autor.

## 7 DISCUSSÃO

A importância do trecho dos rios Araguaia e Javaés analisados está vinculada ao fato de a região ser um ecótono entre a amazônia e o cerrado, além de ser um dos últimos redutos de preservação do bioma considerado o segundo mais degradado por influências antrópicas no Brasil, o cerrado. Desmatamentos e mudanças no uso do solo ocorridas nas últimas quatro décadas na região do Alto Araguaia vêm afetando a dinâmica fluvial atual, registradas em processos erosivos e de sedimentação no setor do médio Araguaia (Latrubesse & Stevaux, 2006).

Esses processos hidrossedimentológicos influenciam o comportamento da dinâmica ecológica e suas alterações podem causar danos a espécies nativas, como a tartaruga-da-amazônia, o maior quelônio de água doce da América do Sul, que usa as barras acrescidas (bancos de areia) do sistema Araguaia-Javaés para desova e que possui grande importância para a população ribeirinha local (Moreira, 2014).

Por outro lado, há um interesse em explorar o potencial energético da região pelo governo federal. Segundo Latrubesse & Stevaux (2006), existem planos federais para incrementar a hidrovia Araguaia-Tocantins, expandindo assim as fazendas de soja nas áreas intactas do Cerrado e escoar os produtos da região central brasileira para os portos do Norte.

Desta forma, os estudos da dinâmica comportamental dos bancos de areia se fazem necessários para auxiliar na compreensão dos possíveis impactos que as ações antrópicas possam ter, conforme evidenciado em Latrubesse & Stevaux (2006). Embora estudos realizados por Morais (2002) avaliem as mudanças históricas na morfologia do canal do rio Araguaia, a variação interanual do comportamento dos bancos de areia não foi considerada, e apresenta-se como uma forma de interpretar as mudanças de suas características ao longo dos anos. Pode-se perceber que existem diferenças entre o rio Araguaia e o rio Javaés, onde o Araguaia demonstra uma maior variabilidade no comportamento de suas barras, apresentando mudanças de forma, tamanho e tipo de bancos de areia. Já o Javaés apresenta-se mais estável, com seus bancos de areia sofrendo principalmente variações de tamanho. Essa diferença pode ser explicada devido os condicionantes hidráulicos do Javaés serem de menor intensidade do que o rio Araguaia, que se apresenta como um rio de maiores dimensões, então com maior capacidade de transporte de sedimentos.

Estudos conduzidos por Moraes (2008) consideraram os processos geomorfológicos na planície aluvial do médio Araguaia e descreveram qualitativa e semi-quantitativamente os bancos de areia do rio Araguaia, porém não consideraram o rio Javaés e a relação entre hidrologia e os bancos de areia. Desta forma, a relação entre a hidrologia e os bancos de areia foi analisada e apresentou-se bem evidenciada para ambos os rios do sistema Araguaia-Javaés. Para as mesmas datas analisadas, os anos secos não só apresentaram maior extensão areal dos bancos de areia como também apareceram de forma antecipada. Da mesma forma, os anos úmidos apresentaram comportamento oposto, possuindo menores extensões de bancos de areia e comportamento temporal tardio. Os comportamentos extremos também estão de acordo com o observado nos hidrogramas. O ano de maior seca, 2016, foi o que apresentou as maiores extensões de bancos de areia, enquanto o ano mais úmido, 1991, apresentou os menores valores.

A relação das cotas dos rios com os bancos de areia apresentou uma relação inversa. Quanto maior o nível observado, menor a extensão dos bancos de areia. Porém, essa relação não demonstrou uma influência única dos processos hidrológicos. Ao analisar as variações anuais sob a mesma cota, pode-se inferir que os processos hidrossedimentológicos atuantes influem de forma significativa no comportamento e na magnitude dos bancos de areia. Para a mesma cota, se observa valores distintos de ano a ano dos bancos de areia. Este comportamento reitera a variabilidade interanual a que as barras acrescidas estão submetidas devido à dinâmica dos processos de erosão e sedimentação típicos da região.

Por outro lado, pode-se especular sobre a influência dos eventos extremos no comportamento dos bancos de areia e sua relação com a cota. Os anos mais extremos, 1991 e 2016, foram os que apresentaram comportamento mais atípico. Eventos de grandes cheias ou grandes secas podem influenciar no comportamento hidrossedimentológico a ponto de acelerar o processo de erosão, transporte de sedimentos e sedimentação dos rios em análise, modificando a conformação das barras acrescidas.

Devido ao fato de os rios na região estudada estarem livres de barramentos atualmente, as variações relacionadas ao comportamento dos bancos de areia podem ser atribuídas a mudanças hidrológicas ou devido às consequências das grandes mudanças no uso do solo ocasionadas pela influência antrópica, além da própria dinâmica natural do sistema. Isto torna a região um alvo de interesse para estudos hidroclimáticos. Desta forma, a análise dos bancos de areias como *proxies* hidroclimáticos demonstrou ser promissora, especialmente para anos que apresentem comportamentos extremos, exemplificados pelos anos 1991 e 2016 na análise.

## 8 CONCLUSÃO

A região deste estudo merece destaque por possuir grande interesse tanto ambiental quanto econômico. Os grandes desmatamentos causados por ações antrópicas em prol da expansão de atividades agrícolas e pecuárias na região e o interesse em expandir as atividades ainda mais em uma das últimas fronteiras de preservação do Cerrado justificam estudos na região.

Desta forma, este trabalho teve o objetivo de avaliar o comportamento dos bancos de areia presentes no sistema Araguaia-Javaés, na bacia do médio Araguaia, e relacioná-los com a hidrologia destas bacias. Para tal utilizou-se de técnicas de sensoriamento remoto com classificação de imagens de órbita-ponto 223-067 obtidas dos satélites da missão Landsat 5 e Landsat 8 para os anos de 1984 a 2017.

Estas imagens foram processadas utilizando-se a metodologia “*isocluster unsupervised classification*”, gerando valores de bancos de areia para as 123 imagens obtidas para o rio Araguaia e as 113 imagens do rio Javaés. Estes valores foram subsequentemente relacionados com dados hidrológicos (vazão e cota) obtidos da Agência Nacional de Águas (ANA), com a intenção de se observar relações referentes ao nível dos rios e os bancos de areia, estabelecendo categorias entre os anos analisados.

O rio Araguaia apresentou maior variação interanual de formato e movimentação em seus bancos de areia que o rio Javaés, que demonstrou basicamente apenas variações de tamanho. A proporção de bancos de areia e área superficial do rio Javaés foi mais significativa que o rio Araguaia, apresentando média de 35,72 % e desvio de 6,73%, enquanto o rio Araguaia apresentou média de 30,75% com desvio de 5,12%.

Em ambos os rios anos secos tiveram maiores extensões areais de bancos de areia e também apresentaram aparecimento mais precoce que os demais anos intermediários e úmidos.

A relação das cotas dos rios e sua área de bancos de areia demonstrou que para uma mesma cota, anos distintos apresentaram diferentes áreas, independente do comportamento hidrológico do ano em questão.

Os resultados obtidos mostraram ser promissores, o que justifica estudos mais detalhados para investigar mais a fundo a relação dos bancos de areia com eventos extremos na região estudada.



*Perspectivas futuras:*

Para melhorar a compreensão do comportamento dos bancos de areias e sua relação com a hidrologia e seu possível uso como *proxies* hidroclimáticos, estudos que ampliem a resolução espacial e temporal das imagens de forma a se obter mais dados para a análise são necessários, assim como expandir o estudo acrescentando dados sedimentológicos de forma a aprimorar a compreensão do comportamento dos bancos de areia e seus mecanismos de formação. Analisar quantitativamente o impacto das mudanças do uso da terra e as tendências das alterações comportamentais dos bancos de areia em relação a essas mudanças também merece destaque como um próximo passo a ser realizado. Outra questão a ser abordada no futuro é a inclusão de um estudo climatológico que defina o comportamento das chuvas regionais de forma criteriosa, assim como analisar outros rios em diferentes regiões que possuam barramentos antrópicos (barragens) e relacionar o impacto que estes possam ter nos bancos de areia.

## REFERÊNCIAS

- AQUINO, S. et al. Regime hidrológico e aspectos do comportamento morfohidráulico do rio Araguaia. *Revista Brasileira de Geomorfologia* - Ano, v. 6, n. 2, 2005.
- BAYER, M; DE CARVALHO, T.M. Processos morfológicos e sedimentos no canal do rio Araguaia. *Revista de estudos ambientais*, v. 10, n. 2, p. 24-31, 2008.
- BRICE, J. C. Channel patterns and terraces of the Loup Rivers in Nebraska. US Government Printing Office, 1964.
- CARVALHO, T.M. Avaliação do transporte de carga sedimentar no médio rio Araguaia. *Geosul*, v. 24, n. 47, p. 147-160, 2009.
- COE, M. T. et al. The effects of deforestation and climate variability on the streamflow of the Araguaia River, Brazil. *Biogeochemistry*, v. 105, n. 1-3, p. 119-131, 2011.
- ELETROBRAS. Diagnóstico das condições sedimentológicas dos principais rios brasileiros. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 1992. 99 p.
- FLEISCHMANN, A. S. et al. Avaliação da seca de 2016 do Rio Javaés (bacia do Rio Araguaia) com uso de dados de múltiplos satélites. *Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Santos, Maio 2017.
- GRUPO DE PESQUISA EM HIDROLOGIA DE GRANDE ESCALA. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, UFRGS. Manual do Programa Super Manejo de Dados. Versão 1.1, Porto Alegre, 2016.
- IRION, G. et al. Araguaia River Floodplain: Size, Age, and Mineral Composition of a Large Tropical Savanna Wetland. *Wetlands*, v. 36, n. 5, p. 945-956, 2016.
- LATRUBESSE, E. M.; STEVAUX, J.C. Características físico-bióticas e problemas ambientais associados à planície aluvial do rio Araguaia, Brasil central. *Revistageociências-UnG*, v. 5, n. 1, p. 65-73, 2006.
- LATRUBESSE, E. M. et al. The geomorphologic response of a large pristine alluvial river to tremendous deforestation in the South American tropics: The case of the Araguaia River. *Geomorphology*, v. 113, n. 3, p. 239-252, 2009.
- LEEDER, Mike R. *Sedimentology and sedimentary basins: from turbulence to tectonics*. John Wiley & Sons, 2009.

- 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.
- MARCUZZO, F. F. N.; GOULARTE, E. R. P. Caracterização do ano hidrológico e mapeamento espacial das chuvas nos períodos úmido e seco do estado do Tocantins. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 06, n. 01 p. 91-99, 2013.
- MELO, DHCT B. Uso de dados Ikonos II na análise urbana: testes operacionais na zona leste de São Paulo. São José dos Campos:INPE, 2002.
- MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. de. Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto. Embrapa Cerrados-Livros técnicos (INFOTECA-E), 2012.
- MONTGOMERY, D. R.; BUFINGTON, J. M. Channel processes, classification, and response. *River Ecology and Management.-Lessons from the Pacific Coastal Ecoregion*. New York: Springer-Verlag, p. 13-42, 1998.
- MORAIS, R. P. Mudanças históricas na morfologia do canal do Rio Araguaia no trecho entre a cidade de Barra do Garças (MT) e a foz do Rio Cristalino na Ilha do Bananal no período entre as décadas de 60 e 90. 175 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pesquisa e Pós Graduação em Geografia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia. 2002.
- MORAIS, R. P. et al. Morfometria de sistemas lacustres da planície aluvial do médio rio Araguaia. *ActaScientiarum. BiologicalSciences*, v. 27, n. 3, p. 203-213, 2005.
- MORAIS, R. P. A Planície Aluvial do médio Rio Araguaia: processos geomorfológicos e suas implicações ambientais. 178 f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) – Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia. 2006.
- MORAIS, R. P. et al. Morfometria de sistemas lacustres da planície aluvial do médio rio Araguaia. *ActaScientiarum. BiologicalSciences*, v. 27, n. 3, p. 203-213, 2005.
- MOREIRA, P. K. F. N.; SILVA, W. V.; BALESTRA, R. A. M. A conservação da tartaruga-da-amazônia em unidades de conservação no médio rio Araguaia. Artigo de TCC, PUC Goiás, 2014.
- REES, W. G. *Physical principles of remote sensing*. Cambridge university press, 2012.
- RICCOMINI, C.; GIANNINI, P. C. F.; MANCINI, F. Rios e Processos Aluviais. In: Wilson Teixeira (et al). *Decifrando a Terra*. Local: Editora, 2000. p. 191-214.

RUST, B. R. A classification of alluvial channel systems. In: MIALL, A. (Ed.) *Fluvial Geomorphology*. Canadian Soc. Petrol. Geol. pp 187-197, 1978.

SILVA, AJCL P.; ARAGÃO, M. A. N. F.; MAGALHÃES, A. J. C. *Ambientes de Sedimentação Siliciclástica do Brasil*. Beca-BALL Edições, 2008.

SINHA, R. et al. Quaternary fluvial systems of tropics: Major issues and status of research. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 356, p. 1-15, 2012.

VALENTE, C. R. et al. 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.

VALENTE, C. R.; LATRUBESSE, E. M. Fluvial archive of peculiar avulsive fluvial patterns in the largest Quaternary intracratonic basin of tropical South America: the Bananal Basin, Central-Brazil. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 356, p. 62-74, 2012.