

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MATO GROSSO  
FACULDADE DE CIÊNCIAS HUMANAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

**ANDRESSA PADOVANI GIL**

**CONTRIBUIÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CUIABÁ  
PARA AS INUNDAÇÕES DO PANTANAL, NO PERÍODO DE  
1985 A 2018**

**CÁCERES - MT**

**2022**

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MATO GROSSO**  
**FACULDADE DE CIÊNCIAS HUMANAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

**ANDRESSA PADOVANI GIL**

**CONTRIBUIÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CUIABÁ  
PARA AS INUNDAÇÕES DO PANTANAL, NO PERÍODO DE  
1985 A 2018**

Dissertação apresentada à Universidade do Estado de Mato Grosso (Unemat), como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Geografia (PPGGeo), para obtenção do título de Mestre em Geografia.

Orientadora: Profa. Dra. Célia Alves de Souza

**CÁCERES - MT**

**2022**

## FICHA CATALOGRÁFICA

Walter Clayton de Oliveira CRB 1/2049

G463c	<p>GIL, Andressa Padovani. Contribuição da Bacia Hidrográfica do Rio Cuiabá para as Inundações do Pantanal, no Período de 1985 a 2018 / Andressa Padovani Gil – Cáceres, 2022. 150 f.; 30 cm. (ilustrações) Il. color. (sim)</p> <p>Trabalho de Conclusão de Curso (Dissertação/Mestrado) – Curso de Pós-graduação Stricto Sensu (Mestrado Acadêmico) Geografia, Faculdade de Ciências Humanas, Câmpus de Cáceres, Universidade do Estado de Mato Grosso, 2022. Orientador: Célia Alves de Souza</p> <p>1. Bacia do Alto Paraguai. 2. Pantanal. 3. Rio Cuiabá. 4. Inundações. 5. Sigs. I. Andressa Padovani Gil. II. Contribuição da Bacia Hidrográfica do Rio Cuiabá para as Inundações do Pantanal, no Período de 1985 a 2018.</p> <p>CDU 910</p>
-------	---

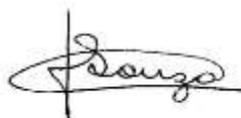
**ANDRESSA PADOVANI GIL**

**CONTRIBUIÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CUIABÁ PARA AS  
INUNDAÇÕES DO PANTANAL, NO PERÍODO DE 1985 A 2018**

Essa dissertação foi julgada e aprovada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geografia.

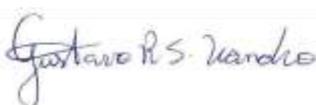
Cáceres, MT, 18 de março de 2022.

**Banca examinadora**



---

Profa. Dra. Célia Alves de Souza  
Orientadora  
*Universidade do Estado de Mato Grosso (Unemat)*



---

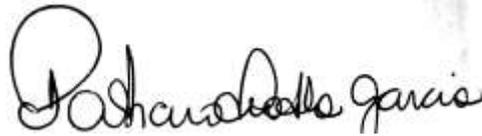
Prof. Dr. Gustavo Roberto dos Santos Leandro  
Avaliador Interno  
*Universidade do Estado de Mato Grosso (Unemat)*



---

Profa. Dra. Leila Nalis Paiva da Silva Andrade

Avaliadora Interna  
*Universidade do Estado de Mato Grosso (Unemat)*

A handwritten signature in black ink, reading "Patricia Helena Garcia". The signature is written in a cursive style with a large initial "P".

---

Profa. Dra. Patricia Helena Mirandola Garcia  
Avaliador Externo  
*Universidade Federal do Mato Grosso do Sul (UFMS)*

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho com muito amor e muita saudade a meus pais, Paulo e Daisy, que partiram durante a execução desta pesquisa. Esta conquista também é de vocês, que estão comigo sempre e sei que festejaram junto comigo no dia da defesa.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente a minha orientadora, Prof<sup>a</sup> Célia, por toda a paciência, preocupação, aprendizado e guia, sem a qual essa pesquisa não teria sido possível. Agradeço, também, toda a equipe do PPGGEO Unemat e também em especial os professores e professoras cujas disciplinas tive a honra de poder cursar. Agradeço ao Prof<sup>o</sup> Dr. André Coelho da UFES, meu primeiro orientador, por toda a torcida, preocupação e presença nesta caminhada também.

Agradeço aos meus amigos, que com muito amor me ampararam em todos os momentos tão difíceis que enfrentei durante o período de execução desta pesquisa. Meus amigos de Vitória, de Corumbá, de Cáceres, de Mogi... da vida. Ninguém chega a lugar nenhum sozinho e vocês me fizeram mais forte.

Agradeço a minha família e em especial meu tio Carlos Padovani, por novamente estender a mão em apoio absolutamente desmedido. Saiba que você foi um dos principais pilares que sustentaram a realização deste mestrado. Obrigada, tio!

Agradeço a minha equipe de trabalho e aos meus alunos do Colégio Guarani, que me motivam diariamente nos caminhos da Geografia e reforçam minha crença na ciência como força de mudança positiva de vida.

Agradeço a meu parceiro Michel e sua família, Elza e Amaro, que me acolheram como uma segunda filha num momento em que me vi perdendo meus pais. Ao Michel, que me salvou tantas vezes neste último ano, e que literalmente me ajudou a levantar de todas as quedas reais e simbólicas.

Agradeço aos meus pais, Daisy e Paulo, e jamais haveriam palavras para descrever o tamanho da saudade que sinto. Agradeço por serem o maior e mais bonito exemplo de compaixão, lealdade e empatia que eu poderia ter na vida. Sou uma pessoa melhor, graças a vocês. Essa conquista é nossa.

## RESUMO

O rio Cuiabá tem suas nascentes localizadas na parte alta da Bacia do Alto Paraguai, fluindo no sentido sudoeste até desaguar no rio Paraguai, principal tronco coletor das águas do Pantanal. Possui grande importância para a formação do Pantanal, desenvolvendo o segundo maior megaleque da planície. O Pantanal, uma das maiores áreas úmidas do mundo, possui uma dinâmica hídrica marcada pelos eventos de seca e de cheia, sendo desconhecido na literatura o papel efetivo dos rios para as inundações locais. Nesse sentido, a presente pesquisa buscou analisar a contribuição da bacia hidrográfica do rio Cuiabá para as inundações do Pantanal, através do entendimento dos condicionantes ambientais da bacia hidrográfica para a entrada de água no Pantanal e das inundações no Pantanal do Cuiabá, identificando as áreas de conectividade rio-planície. O mapeamento das inundações foi feito através de técnicas de sensoriamento remoto em ambiente SIG (Sistemas de Informações Geográficas), com a aplicação do Índice da Diferença Normalizada da Água Modificado, processado em imagens do satélite Landsat, utilizando-se da série histórica de imagens no período de cheia do rio de 1985 a 2018. Para análise das inundações, o trecho percorrido pelo rio Cuiabá no Pantanal foi dividido em três compartimentos: montante, médio e jusante. Os resultados da pesquisa identificaram que a bacia hidrográfica do rio Cuiabá tem importante contribuição para as inundações do Pantanal, considerando que ela registra maiores precipitações que a planície pantaneira e suas características morfométricas, litológicas e pedológicas favorecem maior escoamento superficial, contribuindo para a vazão do rio Cuiabá. Por outro lado, o Pantanal possui características altimétricas e pedológicas que favorecem o escoamento superficial, com solos encharcados e relevo baixo e plano que permitem a permanência de vastas áreas inundadas por um longo período. O rio Cuiabá extravasa e inunda grandes áreas do Pantanal nos períodos de cheia, e a presença de diversos paleocanais abandonados ao longo de sua evolução geomorfológica é importante, pois são reativados nesses períodos e estabelecem caminhos para o fluxo de água. A contribuição do rio Cuiabá ocorre de maneira distinta em cada compartimento de análise: no primeiro, ao adentrar no Pantanal, ocorrem as maiores perdas de água para a planície, onde o rio assume um padrão distributário (multicanal) e inunda uma área de aproximadamente 785,25 km<sup>2</sup>. No segundo compartimento, no trecho médio, o rio possui a menor contribuição, voltando a fluir num canal meandrante único e inundando uma área de 199,25 km<sup>2</sup>. No terceiro compartimento, de jusante, o rio possui alguns pontos de rompimento da margem e se conecta com algumas lagoas da planície, inundando uma área de aproximadamente 495,71 km<sup>2</sup>; totalizando 1.389,48 km<sup>2</sup> de área inundada em todo o trecho da planície. Conclui-se que o rio Cuiabá possui um papel significativo para as inundações do Pantanal, considerando ainda que suas águas extravasadas se misturam às áreas inundadas pelos demais rios da planície, em especial do rio Paraguai.

**Palavras-chave:** Bacia do Alto Paraguai; Pantanal; Rio Cuiabá; inundações; SIGs.

## ABSTRACT

The Cuiabá river has its springs located in the Upper Paraguay Basin, running in a southwesterly direction until it flows into the Paraguai river, the main collecting trunk of the Pantanal waters. It has great importance for the formation of the Pantanal, developing the second largest megafan in the plain. The Pantanal, one of the largest wetlands in the world, has a water dynamic marked by drought and flood events, and the effective role of rivers in local flooding is unknown in the literature. Thus, this research sought to analyze the contribution of the Cuiabá river basin to the Pantanal floods, through the understanding of the environmental conditions of the basin for the entry of water into the Pantanal and the mapping of the floods in the Cuiabá's Pantanal, identifying the areas of river-plain connectivity. The mapping of the floods was done using remote sensing techniques in a GIS environment (Geographical Information Systems), with the application of the Modified Normalized Water Difference Index, processed in Landsat satellite images, using the historical series of images in the river flood period from 1985 to 2018. To analyze the floods, the stretch covered by the Cuiabá river in the Pantanal was divided into three compartments: upstream, medium and downstream. The research results identified that the Cuiabá river basin has an important contribution to the flooding of the Pantanal, considering that it registers higher rainfall than the Pantanal plain and its morphometric, lithological and pedological characteristics favor greater surface runoff, contributing to the flow of the Cuiabá river. The Pantanal, on the other hand, has altimetric and pedological characteristics that favor surface runoff, with soaked soils and low, flat relief that allow the permanence of vast flooded areas for a long period. The Cuiabá river overflows and floods large areas of the Pantanal during flood periods, and the presence of several abandoned paleochannels throughout its geomorphological evolution is important, as they are reactivated in these periods and establish paths for the flow of water. The contribution of the Cuiabá river occurs in a different way in each analysis compartment: in the first, when entering the Pantanal, there are the greatest losses of water to the plain, where the river assumes a distributary pattern (multichannel) and floods an area of approximately 785.25 km<sup>2</sup>. In the second compartment, in the middle section, the river has the smallest contribution, flowing again in a single meandering channel and flooding an area of 199.25 km<sup>2</sup>. In the third compartment, downstream, the river has some breaking points on the bank and connects with some lakes in the plain, flooding an area of approximately 495.71 km<sup>2</sup>; totaling 1389.48 km<sup>2</sup> of flooded area along the entire stretch of the plain. It is concluded that the Cuiabá river plays a significant role in the flooding of the Pantanal, considering that its overflow waters are mixed with the areas flooded by other rivers in the plain, especially the Paraguai river.

**Key words:** Alto Paraguai Basin; Pantanal; Cuiabá river; floods; GIS.

## LISTA DE SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
BAP	Bacia do Alto Paraguai
BDiA	Banco de Dados de Informações Ambientais
CPRM	Serviço Geológico do Brasil
Dd	Densidade de Drenagem
EDIBAP	Estudo de Desenvolvimento Integrado da Bacia do Alto Paraguai
EVI	<i>Enhanced Vegetation Index</i> - Índice de Vegetação Melhorado
GPS	<i>Global Positioning System</i> - Sistema de Posicionamento Global
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDW	<i>Inverse Distance Weighting</i> - Inverso da Distância Ponderada
Ic	Índice de Circularidade
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Kc	Coeficiente de Compacidade
LabISA	Laboratório de Instrumentação de Sistemas Aquáticos
LSWI	<i>Land Surface Water Index</i> - Índice de Água da Superfície
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MNDWI	<i>Modified Normalized Difference Water Index</i> - Índice da Diferença Normalizada da Água Modificado
NDVI	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada
NDWI	<i>Normalized Difference Water Index</i> - Índice da Diferença Normalizada da Água
PCBAP	Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai
RGB	Red, Green, Blue
SIG	Sistemas de Informações Geográficas
SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
SWIR 2	<i>Short-Wave Infrared</i> - Infravermelho de Ondas Curtas
TIN	<i>Triangular Irregular Network</i>
UHE	Usina Hidrelétrica
UNESP	Universidade Estadual Paulista
USGS	<i>United States Geological Survey</i> - Serviço Geológico Americano
UTM	Universal Transversa de Mercator

**LISTA DE TABELAS**

<b>Tabela 1</b> -	Demonstração da organização dos dados de nível do rio e cálculo da cota de permanência.....	47
<b>Tabela 2</b> -	Parâmetros morfométricos analisados.....	49
<b>Tabela 3</b> -	Estações pluviométricas coletadas e período de lacuna de dados.....	59
<b>Tabela 4</b> -	Estações fluviométricas coletadas e período de lacuna de dados.....	61
<b>Tabela 5</b> -	Imagens Landsat coletadas para o período de cheia do rio Cuiabá.....	62
<b>Tabela 6</b> -	Parâmetros morfométricos da área de estudo.....	96
<b>Tabela 7</b> -	Resumo das informações de precipitação e vazão média.....	107
<b>Tabela 8</b> -	Comparação entre os dados hidrológicos na estação Barão de Melgaço.....	111
<b>Tabela 9</b> -	Comparação entre os dados hidrológicos na estação Porto do Alegre.....	136
<b>Tabela 10</b> -	Síntese das áreas inundadas no Pantanal do Cuiabá.....	151

**LISTA DE QUADROS**

<b>Quadro 1 -</b> Dados geoambientais secundários.....	44
--	----

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Localização da BAP, do Pantanal e da bacia hidrográfica do rio Cuiabá.....	16
<b>Figura 2</b> - Esquema de bacias e sub-bacias de drenagem.....	24
<b>Figura 3</b> - Características da bacia hidrográfica que determinam a morfologia e a dinâmica fluvial.....	27
<b>Figura 4</b> - Bloco diagrama sequencial de processos de avulsão fluvial.....	32
<b>Figura 5</b> - Classificação de padrões de canais fluviais.....	34
<b>Figura 6</b> - Captura de tela do site do Serviço Geológico Americano, com sobreposição das cenas que registram o trecho do rio Cuiabá no Pantanal.....	48
<b>Figura 7</b> - Fluxograma da coleta de dados ao processamento das imagens de satélite.....	55
<b>Figura 8</b> - Localização das estações fluviométricas e pluviométricas.....	60
<b>Figura 9</b> - Sistemas deposicionais do Pantanal.....	64
<b>Figura 10</b> - Compartimentos geomorfológicos do megaleque do rio Cuiabá.....	66
<b>Figura 11</b> - Localização da bacia hidrográfica do rio Cuiabá e do Pantanal do Cuiabá.....	68
<b>Figura 12</b> - Geologia da bacia hidrográfica do rio Cuiabá.....	69
<b>Figura 13</b> - Hidrogeologia da bacia hidrográfica do rio Cuiabá.....	70
<b>Figura 14</b> - Geologia do Pantanal do Cuiabá.....	74
<b>Figura 15</b> - Hidrogeologia do Pantanal do Cuiabá.....	75
<b>Figura 16</b> - Geomorfologia da bacia hidrográfica do rio Cuiabá.....	77
<b>Figura 17</b> - Geomorfologia do Pantanal do Cuiabá.....	80
<b>Figura 18</b> - Pedologia da bacia hidrográfica do rio Cuiabá.....	82
<b>Figura 19</b> - Pedologia do Pantanal do Cuiabá.....	86
<b>Figura 20</b> - Perfil longitudinal do rio Cuiabá.....	88
<b>Figura 21</b> - Hierarquia fluvial da bacia hidrográfica do rio Cuiabá.....	89
<b>Figura 22</b> - Rede de drenagem do Pantanal do Cuiabá.....	90
<b>Figura 23</b> - Hipsometria da bacia hidrográfica do rio Cuiabá.....	92
<b>Figura 24</b> - Hipsometria do Pantanal do Cuiabá.....	93
<b>Figura 25</b> - Declividades da bacia hidrográfica do rio Cuiabá.....	94

<b>Figura 26</b> - Declividades do Pantanal do Cuiabá.....	95
<b>Figura 27</b> - Isoietas anuais médias da bacia hidrográfica do rio Cuiabá.....	97
<b>Figura 28</b> - Isoietas anuais médias do Pantanal do Cuiabá.....	99
<b>Figura 29</b> - Vazão média mensal do rio Cuiabá.....	101
<b>Figura 30</b> - Precipitação média mensal sobre o rio Cuiabá.....	102
<b>Figura 31</b> - Precipitação e vazão média mensal no período de 1986 a 2018 para as estações Quebó e Acorizal.....	103
<b>Figura 32</b> - Precipitação e vazão média mensal no período de 1986 a 2018 para as estações Cuiabá e Barão de Melgaço.....	104
<b>Figura 33</b> - Precipitação e vazão média mensal no período de 1986 a 2018 para as estações Porto Cercado, Ilha Camargo e Porto do Alegre.....	106
<b>Figura 34</b> - Divisão entre os compartimentos de análise.....	109
<b>Figura 35</b> - Mapeamento do rio Cuiabá e áreas de conectividade direta com seu leito, para o compartimento I.....	110
<b>Figura 36</b> - Análise das inundações na área à nordeste do rio Cuiabá em março de 1996.....	113
<b>Figura 37</b> - Perfis topográficos A e B.....	114
<b>Figura 38</b> - Conectividade do rio Cuiabá com a Baía do Porto de Fora e as áreas as inundadas à leste do rio.....	115
<b>Figura 39</b> - Corixo que conecta o rio Cuiabá à Baía do Porto de Fora.....	116
<b>Figura 40</b> - Corixo que conecta o rio Cuiabá à Baía Acurizal.....	116
<b>Figura 41</b> - Conexão do rio Cuiabá com os corpos d'água do paleoleque.....	117
<b>Figura 42</b> - Compartimento I - conectividade do rio Cuiabá com o sistema lacustre Cachororé e bifurcações do canal.....	118
<b>Figura 43</b> - Compartimento I - inundações entre a estação Barão de Melgaço e Porto Cercado.....	120
<b>Figura 44</b> - Vazão média mensal para as estações Cuiabá, Barão de Melgaço e Porto Cercado.....	121
<b>Figura 45</b> - Compartimento I - soma das áreas inundadas.....	122
<b>Figura 46</b> - Mapeamento do rio Cuiabá e áreas de conectividade direta com seu leito, para o compartimento II.....	124

<b>Figura 47</b> - Vazão média mensal para as estações Porto Cercado e Ilha Camargo.....	125
<b>Figura 48</b> - Comparação entre os meandros abandonados nos compartimentos I e II.....	126
<b>Figura 49</b> - Pontos de extravasamento do rio Cuiabá no compartimento II A.....	127
<b>Figura 50</b> - Área de confluência do rio São Lourenço com o rio Cuiabá.....	128
<b>Figura 51</b> - Pontos de extravasamento do rio Cuiabá no compartimento II B.....	129
<b>Figura 52</b> - Pontos de extravasamento do rio Cuiabá no compartimento II C.....	130
<b>Figura 53</b> - Compartimento II - soma das áreas inundadas.....	132
<b>Figura 54</b> - Mapeamento do rio Cuiabá e áreas de conectividade direta com seu leito, para o compartimento III.....	134
<b>Figura 55</b> - Pontos de extravasamento do rio Cuiabá no compartimento III A.....	137
<b>Figura 56</b> - Vazão média mensal para as estações Ilha Camargo, Pousada Taiamã e Porto do Alegre.....	138
<b>Figura 57</b> - Evolução geomorfológica do canal do rio Cuiabá, do Holoceno Médio (à esquerda) para o período atual (à direita).....	140
<b>Figura 58</b> - Pontos de extravasamento e conectividade do rio Cuiabá no compartimento III B.....	141
<b>Figura 59</b> - Conectividade do rio Cuiabá no compartimento III B1.....	142
<b>Figura 60</b> - Conectividade do rio Cuiabá no compartimento III B2 - corixo Boca do Ricardo.....	143
<b>Figura 61</b> - Conectividade do rio Cuiabá no compartimento III B2.....	144
<b>Figura 62</b> - Conectividade do rio Cuiabá no compartimento III B2, III B3 e III B4....	145
<b>Figura 63</b> - Conectividade do rio Cuiabá no compartimento III B5.....	146
<b>Figura 64</b> - Conectividade do rio Cuiabá no compartimento III B6.....	147
<b>Figura 65</b> - Compartimento III - soma das áreas inundadas.....	148
<b>Figura 66</b> - Inundações no Pantanal do Cuiabá - corpos d'água em conectividade com o rio Cuiabá no período de 1985 a 2018.....	150

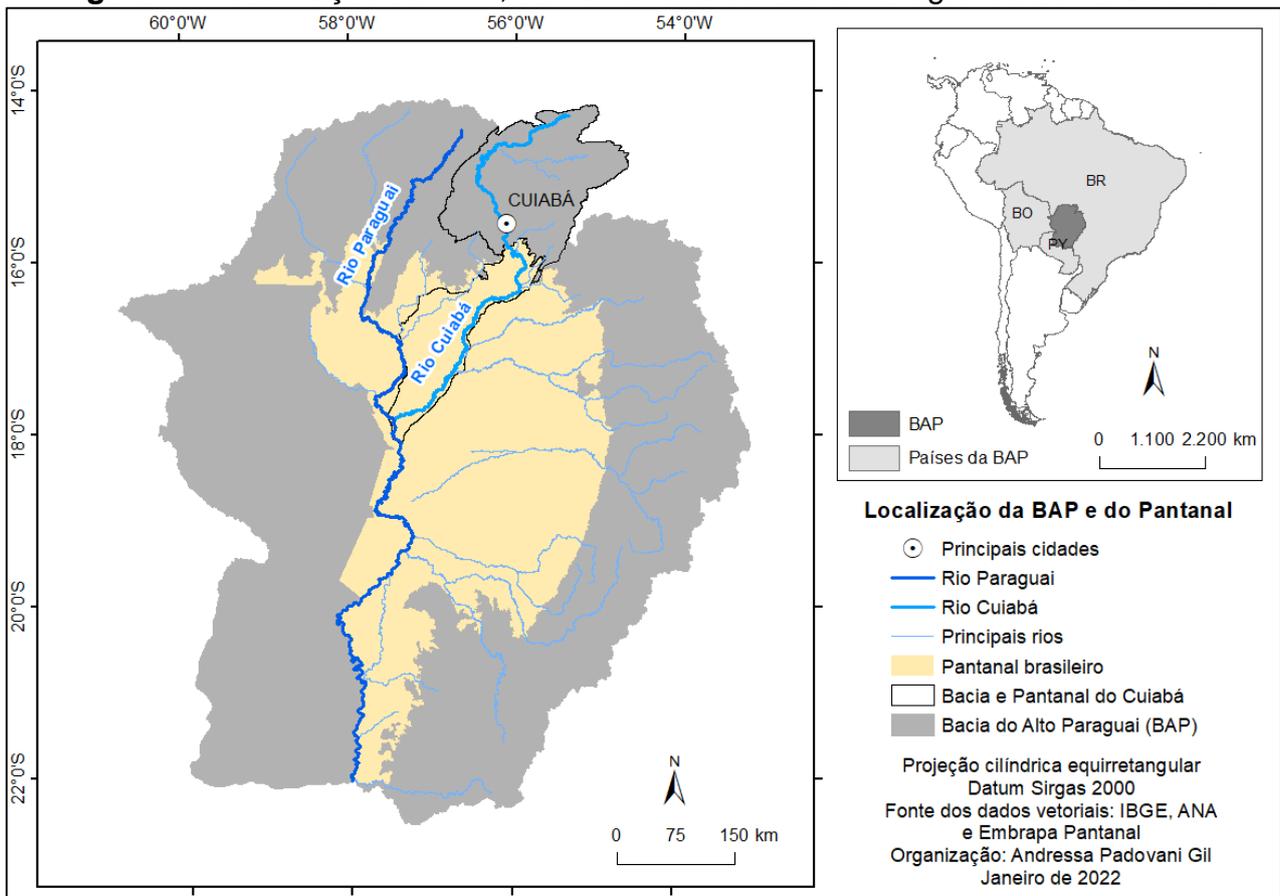
## SUMÁRIO

1	Introdução.....	16
2	Referencial teórico.....	20
2.1	Paisagem como categoria de análise geográfica.....	20
2.2	Bacias hidrográficas: definições e funcionamento geral.....	23
2.3	Sistemas fluviais: estrutura e funcionalidade.....	27
2.3.1	Inundação fluvial, pulso de inundação e conectividade.....	29
2.3.2	Tipos de canais fluviais.....	33
2.4	A Bacia do Alto Paraguai (BAP) e o Pantanal.....	36
2.5	Geotecnologias e sua aplicação à análise do Pantanal.....	39
3	Materiais e métodos.....	43
3.1	Revisão bibliográfica.....	43
3.2	Levantamento de dados secundários.....	44
3.3	Procedimentos metodológicos.....	45
3.3.1	Escolha das imagens orbitais.....	45
3.3.2	Caracterização da área de estudo.....	48
3.3.3	Aplicação do MNDWI.....	53
3.4	Análise e interpretação dos dados.....	58
4	Resultados e discussões.....	59
4.1	Organização dos dados secundários.....	59
4.2	Caracterização geoambiental da bacia hidrográfica do rio Cuiabá e do Pantanal do Cuiabá.....	63
4.2.1	Morfometria da bacia hidrográfica do rio Cuiabá e do Pantanal do Cuiabá.....	88
4.3	Precipitação e vazão.....	96
4.3.1	Correlação entre a precipitação e vazão na bacia hidrográfica do rio Cuiabá.....	102
4.4	Análise das inundações do rio Cuiabá no Pantanal do Cuiabá.....	108
4.4.1	Compartimento I - setor a montante.....	109
4.4.2	Compartimento II - setor médio.....	123
4.4.3	Compartimento III - setor a jusante.....	133
4.4.4	Síntese das análises de inundação.....	149
5	Considerações finais.....	153
6	Referências.....	156

## 1 INTRODUÇÃO

A Bacia do Alto Paraguai (BAP) possui aproximadamente 345.000 km<sup>2</sup> em território brasileiro, situada entre os estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, e compreende duas principais áreas em condições consideravelmente distintas quanto aos aspectos físicos e biológicos: o planalto e a planície pantaneira (ou Pantanal), como se observa na Figura 1. A região do planalto que circunda o Pantanal conta com altitudes de 200 até mais de 1.000 metros, e são as principais fontes de água e sedimentos que alimentam a planície. O Pantanal, com altitudes de até 200 metros, é a maior planície contínua sazonalmente inundada no mundo e caracteriza-se por uma extensa planície aluvial cortada por numerosos rios, vazantes e corixos; e pela presença de leques aluviais dos principais rios (BRASIL, 2006; PADOVANI, 2010).

**Figura 1 - Localização da BAP, do Pantanal e da bacia hidrográfica do rio Cuiabá.**



**Fonte:** Elaborado pela autora.

A bacia hidrográfica do rio Cuiabá se localiza no estado do Mato Grosso, na porção norte da BAP (no planalto). O rio Cuiabá tem suas nascentes localizadas nas encostas da Serra Azul, no município de Rosário do Oeste, e forma um sistema deposicional (megaleque) de 15.300 km<sup>2</sup> ao adentrar no Pantanal (PUPIM, 2014). É um dos principais afluentes do rio Paraguai em sua margem esquerda, e possui grande importância para a formação da planície pantaneira.

Diversos estudos foram realizados a fim de compreender o funcionamento geral do Pantanal, podendo citar importantes documentos oficiais elaborados por instituições públicas para fins de planejamento da bacia hidrográfica, tais como o Estudo de Desenvolvimento Integrado da Bacia do Alto Paraguai - EDIBAP (BRASIL, 1979); o Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai - PCBAP (BRASIL, 1997b); o Programa de Ações Estratégicas para o Gerenciamento Integrado do Pantanal e Bacia do Alto Paraguai (ANA, 2004); e o Caderno da Região Hidrográfica do Paraguai (BRASIL, 2006). Além disso, importante citar também o mapeamento realizado pelo projeto RadamBrasil (BRASIL, 1982a, 1982b), que fornece informações importantes sobre a BAP.

Pesquisadores da Universidade Estadual Paulista (Unesp) têm se dedicado sobre os aspectos geológicos e geomorfológicos do Pantanal, podendo citar algumas das pesquisas realizadas por Assine (2003), Silva (2010), Corradini (2011), Merino (2011), Pupim (2014), Macedo (2017), entre outros.

Apesar do aumento da quantidade de estudos realizados por universidades e centros de pesquisa para o avanço do conhecimento sobre o Pantanal, poucos objetivaram realizar uma análise espacial detalhada ou mapeamento das inundações e das conexões hidrológicas, podendo citar as pesquisas de Silva (1991), que utilizou de imagens Landsat 5 em conjunto com dados levantados em campo para avaliar a dinâmica de inundação num trecho do Pantanal; Padovani (2010), que modelou a sazonalidade das inundações do Pantanal através da modelagem de mistura espectral em imagens do sensor Modis e mapeou os principais fluxos e armazenagem de água e Zarista (2013) realizou monitoramento da dinâmica da inundação em pequeno trecho do Pantanal norte com a utilização dos índices Índice de Água da Superfície - *Land Surface Water Index* (LSWI) e do Índice de Vegetação Melhorado - *Enhanced Vegetation Index* (EVI) do produto do sensor Modis, obtendo resultados satisfatórios para o monitoramento de áreas alagadas

(considerando suas limitações). Esses estudos, entretanto, não objetivaram correlacionar a fundo a conectividade rio-planície de inundação.

Deste modo, não se sabe com clareza qual a contribuição direta dos rios principais para as inundações do Pantanal, lacuna esta reconhecida pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), no âmbito do projeto de elaboração de estudos de avaliação dos efeitos da implantação de empreendimentos hidrelétricos na região hidrográfica do Paraguai. Diante desta realidade, justifica-se a realização desta pesquisa, a fim de contribuir para o melhor entendimento da dinâmica superficial das águas da planície pantaneira, identificando a contribuição do rio Cuiabá para as suas inundações.

Considerando a importância ecológica do Pantanal a nível global e a sua complexidade hídrica, bem como a relação direta entre o planalto e planície da BAP, se faz de extrema importância compreender o papel dos rios principais para a manutenção do pulso de inundação do Pantanal, visto que quaisquer mudanças promovidas em suas bacias hidrográficas ou em seus cursos d'água poderão repercutir no regime de inundações a jusante.

Considerando os rios como parte de um sistema (o sistema fluvial), para que se compreendam as inundações causadas pelos rios na planície a jusante é importante considerar a bacia hidrográfica de maneira integrada, analisando as características de montante, visto que todos os acontecimentos ocorridos dentro da bacia influenciam, direta ou indiretamente, em seus cursos d'água. A bacia hidrográfica é considerada como a unidade fisiográfica mais conveniente para o planejamento de recursos hídricos e planejamentos ambientais diversos (CHRISTOFOLETTI, 1980; COELHO, 2007).

A inundação é um fenômeno natural que ocorre quando a vazão ultrapassa a capacidade de escoamento das águas, podendo ser agravada pela ação do homem. A utilização de sistemas de informações geográficas (SIGs) juntamente com imagens obtidas através de sensoriamento remoto proporciona uma visão de conjunto de extensas áreas da superfície terrestre, possibilitando o estudo e o monitoramento de fenômenos naturais dinâmicos do meio ambiente, como no caso de áreas úmidas e vulneráveis a inundações (FLORENZANO, 2011; COELHO *et al.*, 2011).

Diante deste cenário, o presente trabalho se propôs a analisar a contribuição da bacia hidrográfica do rio Cuiabá para as inundações do Pantanal, a fim de identificar os pontos em que existe conectividade direta entre o leito do rio e as áreas alagadas na

planície. Utilizaram-se técnicas de sensoriamento remoto em imagens de satélite Landsat 5, 7 e 8 para realização do mapeamento das áreas inundáveis e para verificar a influência dos condicionantes ambientais da bacia hidrográfica do rio Cuiabá, no trecho do planalto, para a inundação do Pantanal. Portanto, o objetivo geral dessa pesquisa foi analisar a contribuição da bacia hidrográfica do rio Cuiabá para a inundação do Pantanal. Como objetivos específicos:

- Verificar a influência dos condicionantes ambientais da bacia hidrográfica do rio Cuiabá para a entrada de águas no Pantanal;
- Identificar o regime de precipitação na bacia hidrográfica do rio Cuiabá;
- Identificar a descarga líquida (vazão) do rio Cuiabá, verificando sua interferência da inundação do Pantanal;
- Analisar a dinâmica espacial da inundação na planície através do Índice da Diferença Normalizada da Água Modificado (MNDWI), identificando pontos de conectividade rio-planície.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Para compreender a contribuição da bacia hidrográfica do rio Cuiabá para as inundações do Pantanal, buscou-se solidificar os conhecimentos e conceitos acerca desta temática, a fim de nortear a pesquisa. Nesse sentido, serão apresentados neste capítulo os principais autores e discussões sobre os conceitos de paisagem como categoria de análise geográfica, bem como o conceito de bacia hidrográfica, que também pode ser utilizado como unidade de análise espacial; a definição de rios e seus processos fluviais, de modo a compreender seu funcionamento e como agem sobre a paisagem; o Pantanal, para conhecer melhor sua origem, características e dinâmicas atuais e as geotecnologias e sua aplicação à análise do Pantanal, identificando as principais pesquisas já realizadas e as vantagens da utilização dessas técnicas e produtos para as análises espaciais, neste caso, no Pantanal.

### 2.1 Paisagem como categoria de análise geográfica

No processo de desenvolvimento do pensamento geográfico várias foram as posições epistemológicas adotadas por diferentes autores para se definir o objeto e o papel da geografia enquanto ciência, passando pela pura descrição empírica da superfície terrestre ao estudo das relações entre sociedade e natureza; do determinismo de Ratzel ao possibilismo de La Blache. Podem-se citar também as muitas geografias: regional; quantitativa; crítica; a geografia enquanto “ciência de síntese”; e a tão discutida dicotomia entre uma “Geografia Física” e outra “Geografia Humana”. Vários são os conceitos-chave associados a essa ciência, dos quais se pode citar o espaço, a região, a paisagem, o lugar e o território. Serão apresentadas a seguir algumas das concepções da paisagem enquanto categoria de análise da ciência geográfica, que foi escolhida para trabalhar com a pesquisa proposta.

Na geografia, a discussão da paisagem é um tema antigo. Maciel e Lima (2011) apontam que no século XIX, o estudo da paisagem trabalhou com uma abordagem estética, descritiva e morfológica, abordando a natureza do ponto de vista de sua fisionomia e funcionalidade, a partir da descrição dos elementos físicos da paisagem. Deste modo, a paisagem era vista como uma unidade territorial cuja valorização se dava nas paisagens

morfológicas e de cobertura vegetal, abrindo caminho para que se estabelecessem distinções entre as paisagens ditas “naturais” e as paisagens culturais.

Mendonça (1996) discorre sobre o conceito de paisagem segundo a definição geral da língua portuguesa, que compreende tudo que é perceptível aos olhos, abarcando um conjunto de elementos em dada porção do planeta. O autor destaca que a paisagem, entretanto, é percebida através de uma visão científica e ganha nuances próprias de um método de pesquisa, se constituindo num dos mais antigos métodos de estudo do meio natural pertencentes à Geografia. Aponta que a noção de paisagem originou-se no século XIX com os geógrafos alemães, estando intimamente relacionada à fisionomia da natureza, originalmente ligada ao método de observações em viagens científicas realizadas pelos grandes naturalistas da época. O autor traz a definição de paisagem adotada pelo geógrafo Georges Bertrand, sendo:

[...] uma proporção do espaço caracterizada por um tipo de combinação dinâmica, portanto instável, de elementos geográficos diferenciados - físicos, biológicos e antrópicos - que, ao reagir dialeticamente uns sobre os outros, fazem da paisagem um conjunto geográfico indissociável que evolui em bloco, tanto sob os efeitos das interações entre os elementos que o constituem como sob o efeito da dinâmica própria de cada um dos seus elementos considerados separadamente (BERTRAND apud MENDONÇA, 1996, p. 46).

Troll (1997) resgata também que a palavra alemã *Landschaft* (paisagem) existe há mais de mil anos e tem uma evolução linguística muito significativa, estando presente, hoje, nas ciências e na arte. Entretanto, defende o autor, apenas a geografia deu ao seu uso um valor científico, transformando-o em eixo de toda uma teoria de investigação.

Para Suertegaray (2001), em uma perspectiva clássica, os geógrafos geralmente compreendem o conceito de paisagem como a expressão materializada das relações homem/natureza em um espaço definido. Para muitos, o limite da paisagem atrelava-se aquilo que a visão alcançava; para outros, a paisagem seria algo além do visível, resultado de um processo de articulação entre seus elementos constituintes. Para a autora:

Do nosso ponto de vista, percebemos paisagem como um conceito operacional, ou seja, um conceito que nos permite analisar o espaço geográfico sob uma dimensão, qual seja o da conjunção de elementos naturais e tecnificados, socioeconômicos e culturais. Ao optarmos pela análise geográfica a partir do conceito de paisagem, poderemos concebê-la

enquanto forma (formação) e funcionalidade (organização). [...] Nela poderão persistir elementos naturais, embora já transfigurados (ou natureza artificializada). O conceito de paisagem privilegia a coexistência de objetos e ações sociais na sua face econômica e cultural manifesta (SURTEGARAY, 2001, p. 4-5).

Retomando as ideias de Bertrand (2004), o autor defende que a paisagem não é uma simples adição de elementos geográficos soltos e desconexos, mas sim resultado da combinação dinâmica de elementos. A paisagem é compreendida, então, como uma entidade global, na qual se admite implicitamente que seus elementos constituintes participam de uma dinâmica comum, mas que não corresponde, obrigatoriamente, à evolução de cada um dos elementos tomados individualmente.

Para Moraes (2005), a paisagem, posta como objeto específico da Geografia, é vista como uma associação de múltiplos fenômenos, o que mantém a concepção de ciência de síntese, que trabalha com dados das demais ciências. Segundo ele:

Esta perspectiva apresenta duas variantes, para a apreensão da paisagem: uma, mantendo a tônica descritiva, se determinaria na enumeração dos elementos presentes e na discussão das formas – daí ser denominada de morfológica. A outra se preocuparia mais com a relação entre os elementos e com a dinâmica destes, apontando para um estudo de fisiologia, isto é, do funcionamento da paisagem (MORAES, 2005, p. 32).

A perspectiva da morfologia apresenta fundamentos oriundos da estética, na qual caberia ao investigador observar o horizonte abarcado por sua visão, e da contemplação adviria a explicação dos fenômenos. No outro lado, a perspectiva na fisiologia da paisagem seria como um organismo, com funções vitais e elementos interagindo entre si. Ao geógrafo, caberia buscar as inter-relações entre os fenômenos de distintas qualidades que coabitam uma determinada porção do espaço (MORAES, 2005).

Costa e Rocha (2010) também apontam que, na Geografia, o conceito de paisagem aparece inicialmente ligado a paisagem natural, entendida através da composição dos elementos naturais (relevo, solo, vegetação, clima, etc), e posteriormente a paisagem humanizada, compreendida como resultado das relações homem/natureza.

Esta pesquisa se propõe a trabalhar utilizando-se do entendimento da paisagem seguindo as ideias de Suertegaray (2001) e Bertrand (2004), considerando paisagem enquanto expressão materializada das relações homem com a natureza e sendo uma entidade global, cujos elementos são inter-relacionados. Acredita-se que esta abordagem

integrada da paisagem seja adequada para analisar as inundações do Pantanal, considerando-o em suas características naturais e nos elementos transformados pelo homem. Conforme será abordado a seguir, a própria bacia hidrográfica enquanto unidade espacial de análise pressupõe, também, uma análise integrada entre os elementos naturais e sociais que juntos promovem a constante evolução da paisagem.

## **2.2 Bacias hidrográficas: definições e funcionamento geral**

A bacia hidrográfica, ou bacia de drenagem, possui diversas conceituações, das mais simples às mais complexas, estas últimas que buscam analisar o caráter integrador desta unidade, considerando suas formas e processos hidrológicos e geomorfológicos. A seguir, serão apresentadas as conceituações feitas por importantes autores e pesquisas realizadas nesta temática, bem como a importância da adequação de planejamentos territoriais para a unidade de bacias.

O conceito de bacia hidrográfica apresentado no dicionário geológico-geomorfológico de Guerra (1978) define-a como um conjunto de terras drenadas por um rio principal e seus afluentes, implicando a existência de cabeceiras (ou nascentes), divisores de água, cursos d'água principais, afluentes, subafluentes, entre outros, onde a água escoar dos pontos mais altos aos mais baixos. Indica, ainda, que o conceito deve incluir uma noção de dinamismo, por causa das modificações que ocorrem nas linhas divisoras de água sob o efeito dos agentes erosivos, alargando ou diminuindo a área da bacia.

Christofolletti (1980) define bacia de drenagem como uma área drenada por um determinado rio ou sistema fluvial, cuja quantidade de água recebida depende do tamanho da área ocupada pela bacia, da precipitação total e das perdas devidas à evapotranspiração e à infiltração.

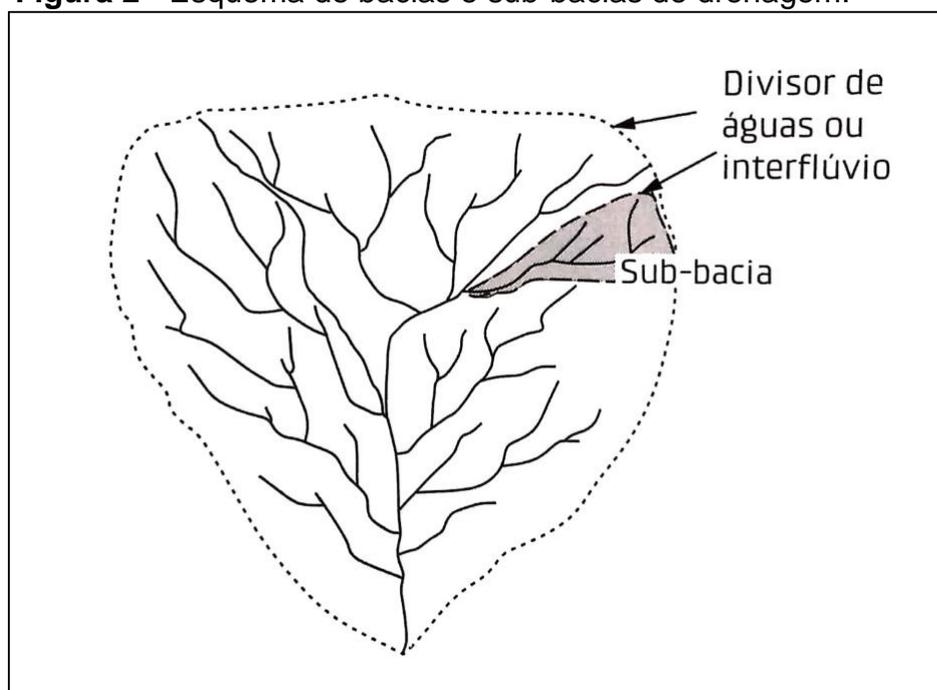
Para Coelho (2007), a bacia de drenagem compreende uma área na superfície terrestre topograficamente definida que drena não apenas água, incluindo sedimentos e materiais dissolvidos para uma saída comum, cujas configurações espaciais refletem a estrutura geológica e a composição morfogenética da área da bacia.

Stevaux e Latrubesse (2017) também defendem que a bacia hidrográfica corresponde não apenas à rede de canais (ou rede de drenagem), mas toda a área de captação de água pluvial (e de neve) que pode escoar sob a forma de fluxo superficial acanalado, fluxo superficial não acanalado (fluxos laminares em vertentes) e fluxo

subterrâneo (água freática); sendo limitada por um divisor de águas (ou interflúvio). Desta forma, a rede de drenagem de uma bacia hidrográfica constitui seu sistema de canais que transportam água e sedimento, formado pelo rio principal e seus tributários. Esta rede é formada por uma sequência de canais fluviais interconectados, nos quais a água se movimenta por gravidade. Partindo das porções mais elevadas da bacia hidrográfica, os canais juntam-se sucessivamente para formar cursos de maior porte, sendo construída uma rede de canais hierarquizados.

A bacia de drenagem pressupõe múltiplas dimensões espaciais, desde a escala de micro ou sub-bacias com poucos metros quadrados a bacias de grande extensão, como a do rio Amazonas. Nesse sentido, as bacias podem ser desmembradas em um número qualquer de sub-bacias (Figura 2), dependendo do ponto de saída ao longo de seu coletor principal, constituindo um sistema de drenagem hierarquicamente organizado (COELHO NETTO, 2001).

**Figura 2** - Esquema de bacias e sub-bacias de drenagem.



**Fonte:** Stevaux e Latrubesse (2017).

A bacia de drenagem é considerada uma unidade hidrogeomorfológica, que realiza troca de energia e matéria com outros sistemas ambientais adjacentes. Conforme levantado por Coelho Netto (2001, p. 98):

Chorley (1962), advogando sobre o uso do pensamento sistêmico em Geomorfologia, enfatizou a analogia direta entre a operação dos sistemas abertos clássicos e os sistemas geomorfológicos. A bacia de drenagem, enquanto uma unidade hidrogeomorfológica, constitui um exemplo típico de sistema aberto na medida em que recebe impulsos energéticos das forças climáticas atuantes sobre sua área e das forças tectônicas subjacentes, e perde energia por meio da água, dos sedimentos e dos solúveis exportados pela bacia no seu ponto de saída. A organização interna do sistema bacia de drenagem, isto é, os elementos de forma e os processos característicos, influencia as relações de entrada e saída (Gregoy e Walling, 1973). Assim, mudanças externas no suprimento de energia e massa conduzem a um autoajuste das formas e dos processos, de modo a ajustar essas mudanças. Chorley (1962) ressalta que o princípio de autoajuste no desenvolvimento do relevo foi apontado no trabalho clássico de Gilbert (1877) – “... como um membro do sistema pode influenciar todos os demais, então, cada membro é influenciado por todos os outros. Há uma interdependência por meio do sistema”.

Seguindo este conceito de autoajuste, considera-se que as alterações ocorridas na composição ambiental de uma determinada área da bacia hidrográfica, sejam por processos naturais ou antrópicos, refletem em ajustamentos internos nos elementos das formas e dos processos associados. Em outras palavras, as alterações na entrada de energia em um determinado ponto da bacia hidrográfica podem refletir em um determinado ponto de saída da bacia hidrográfica, e se propagar para as bacias hidrográficas adjacentes.

Além disso, a bacia hidrográfica também possui papel importante na evolução das formas do relevo, visto que os cursos d'água são importantes modeladores da paisagem. Estes aspectos devem ser levados em consideração no planejamento das formas de uso e ocupação humana, mesmo se tratando de pequenas ou restritas áreas da bacia hidrográfica. Por este motivo, dado o caráter integrador da bacia hidrográfica, ela revela-se como uma unidade conveniente para a compreensão dos processos hidrológicos e geomorfológicos e das ligações espaciais entre suas distintas áreas, podendo afetar não apenas o planejamento local, mas também regional (COELHO NETTO, 2001; CUNHA e GUERRA, 2009).

Ainda sobre o caráter integrador das bacias hidrográficas, para Stevaux e Latrubesse (2017), o sistema fluvial, como todo sistema geomórfico, possui muitas variáveis cuja hierarquia, sensibilidade de inter-relação são extremamente complexas. Desta forma, a interferência antrópica num determinado ponto do sistema pode se propagar tanto

especialmente quanto temporalmente, atingindo longas distâncias por longos períodos. Christofolletti (1980) também afirma que todos os acontecimentos ocorridos na bacia de drenagem repercutem, direta ou indiretamente, nos rios. Portanto, as mudanças ocorridas nos tipos de uso e ocupação da terra da bacia e os processos erosivos podem alterar drasticamente a dinâmica fluvial, em suas formas e processos.

Cunha e Guerra (2009, p. 352-353) apontam que:

Os desequilíbrios ambientais originam-se, muitas vezes, da visão setorizada dentro de um conjunto de elementos que compõem a paisagem. A bacia hidrográfica, como unidade integradora desses setores (naturais e sociais) deve ser administrada com esta função, a fim de que os impactos ambientais sejam minimizados.

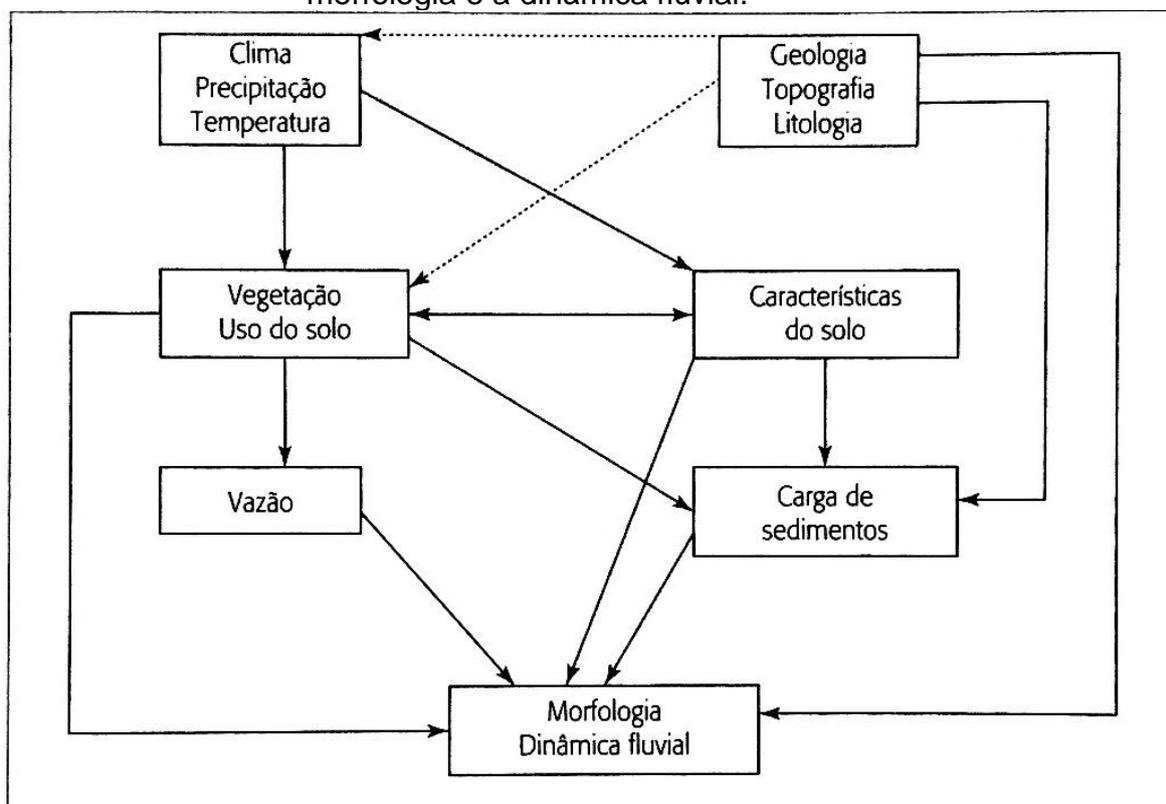
Desta maneira, desde o fim os anos 1960, a bacia hidrográfica vem sendo reconhecida como unidade espacial de análise nos estudos com foco em geografia física; e a partir da década de 1990, ela foi incorporada por outros profissionais da grande área das ciências ambientais. Entendida como célula básica de análise ambiental, a visão sistêmica e integrada do ambiente está implícita na adoção desta unidade fundamental, possibilitando “avaliar de forma integrada as ações humanas sobre o ambiente e seus desdobramentos sobre o equilíbrio hidrológico, presente no sistema representado pela bacia de drenagem” (BOTELHO e SILVA, 2014, p. 155).

Rocha (2011) e Coelho (2007) também apontam que, tradicionalmente, a bacia hidrográfica vem sendo considerada como a unidade fisiográfica mais conveniente para o planejamento de recursos hídricos e planejamentos ambientais diversos, constituindo-se um sistema aberto de fluxo hídrico, e que possibilita uma visão ampla e integrada do comportamento das condições naturais e das mudanças introduzidas pelo homem no meio. Consideram as bacias hidrográficas como excelentes unidades de gestão ambiental, presente em legislações específicas, como a Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei Federal Nº 9.433 de 1997), que prevê como um de seus fundamentos, em seu Art. 1, inciso V, que “a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos [...]” (BRASIL, 1997a).

### 2.3 Sistemas fluviais: estrutura e funcionalidade

Em uma bacia hidrográfica, o destino de todos os materiais intemperizados que são carregados pelas águas da chuva ou pelo escoamento superficial são os cursos d'água que compõem sua rede de drenagem, e destes para seu exutório. Desta forma, a morfologia e a dinâmica fluvial refletem as características da composição ambiental e de uso e ocupação de sua bacia hidrográfica, como pode se observar na Figura 3.

**Figura 3** - Características da bacia hidrográfica que determinam a morfologia e a dinâmica fluvial.



Fonte: Adaptado de Morisawa (1985, apud SABATER E ELOSEGI, 2016).

Para Suguio e Bigarella (1990, p. 3):

Geomorfologicamente, o termo rio aplica-se exclusivamente para designar “corrente canalizada” ou confinada. [...] Geologicamente a palavra rio é empregada geralmente para referir o tronco principal de um sistema de drenagem. Em outras palavras o rio constitui um corpo d’água corrente confinada num canal.

De maneira geral, os rios podem ser compreendidos como um amplo corpo d'água em movimento, funcionando como canais de escoamento de água cuja corrente, mais ou menos caudalosa, deságua em outro rio, em lagos ou no mar (CHRISTOFOLETTI, 1980; CUNHA, 2003).

A velocidade das águas de um rio depende de diversos fatores naturais, como a declividade do perfil longitudinal, o volume de água escoado, a forma do perfil transversal, a viscosidade da água e o coeficiente de rugosidade do leito. Ela ocorre de maneira desigual no rio, distribuindo-se de um lugar para o outro tanto nos sentidos vertical, transversal e longitudinal, e de maneira geral, diminui da superfície para o fundo, e do centro para as margens (CHRISTOFOLETTI, 1981; CUNHA, 2001). Estas noções são importantes, pois a velocidade e a turbulência das águas estão intimamente relacionadas com os processos fluviais executados pelo rio.

Os rios podem ser analisados e representados por seus perfis transversal e longitudinal. O perfil longitudinal expressa a relação entre seu comprimento e altimetria, mostrando seu gradiente, cujo formato reflete o ajuste do rio a diferentes fatores que atuam sobre ele, como o volume e a carga da corrente, tamanho e peso dos sedimentos transportados, declividade, geologia da calha, regime de chuvas, entre outros. Quando o rio se encontra em equilíbrio, havendo relação de igualdade entre a atuação da erosão, do transporte e da deposição, o perfil longitudinal é tipicamente côncavo, com maiores declividades nas áreas das nascentes (CUNHA, 2001).

O perfil transversal expressa a seção transversal (ou forma) do canal, que varia com o maior ou menor volume de água, resultando do produto da profundidade média pela largura total. Ao longo da seção transversal, a turbulência e a velocidade das águas são variáveis, sendo definidos locais preferenciais de erosão (entalhamento) e de deposição das partículas, resultando em novos ajustamentos do canal diante das variáveis que atuam sobre ele, modificando sua forma (CHRISTOFOLETTI, 1981; CUNHA, 2001).

Os rios realizam um constante trabalho de erosão, transporte e deposição de sedimentos, sendo considerados importantes agentes geomorfológicos. Estes processos fluviais se alternam ao longo do tempo e são espacialmente definidos pela distribuição da velocidade e da turbulência do fluxo do canal, que varia ao longo de seu perfil. Resultam das mudanças no fluxo e da carga existente no leito, e são interdependentes, influenciando uma à outra diretamente numa relação complexa (CUNHA, 2001).

O material transportado e depositado pelos rios é fornecido principalmente pela remoção detrítica das vertentes, e secundariamente, pelo material erodido pelo próprio rio em suas margens e fundo de leito. Independentemente da origem das partículas, sua composição depende de vários fatores ambientais, como o clima, o regime hidrológico, a estrutura geológica, as condições topográficas e a cobertura vegetal da bacia hidrográfica, conferindo-as tamanhos e formas variadas (CHRISTOFOLETTI, 1981).

No canal fluvial, a velocidade e a turbulência das águas são variáveis, e definem locais preferenciais de erosão e de deposição da carga detrítica. De maneira geral, o depósito da carga sedimentar pode ocorrer em qualquer ponto ao longo do perfil longitudinal, a depender das condições de capacidade e competência de transporte do rio. A capacidade de transporte refere-se à quantidade máxima de material que ele consegue transportar em seu fluxo, e varia de acordo com a densidade da água, a declividade do canal, a rugosidade do leito, a velocidade e turbulência das águas correntes, a composição e granulometria das partículas, entre outros fatores (CHRISTOFOLETTI, 1981).

Por outro lado, a competência diz respeito ao tamanho das partículas que o fluxo consegue transportar, variando ao longo do perfil longitudinal. Esta competência diminui em direção a jusante por conta da rápida diminuição da declividade do leito e a diminuição da força de cisalhamento, diminuindo conseqüentemente a granulometria do material detrítico. Deste modo, as áreas de maior deposição da carga detrítica de um rio são aquelas que apresentam pequeno gradiente de canal, ou onde ocorrem mudanças bruscas de gradiente, de profundidade ou de velocidade das águas, neste caso havendo transporte apenas das partículas de granulometria reduzida (CHRISTOFOLETTI, 1981; CUNHA, 2001; NOVO, 2008).

### **2.3.1 Inundação fluvial, pulso de inundação e conectividade**

O escoamento dos rios faz parte do ciclo hidrológico e sua alimentação ocorre pelas águas superficiais e subterrâneas. Este escoamento compreende o volume total de água que alcança os cursos d'água, incluindo o escoamento pluvial, que ocorre imediatamente após a chuva, e a parcela das águas precipitadas que vai se juntar ao rio posteriormente, através da infiltração (CHRISTOFOLETTI, 1981).

A inundação fluvial está diretamente relacionada ao volume de água escoado nos cursos d'água, que varia ao longo do tempo por conta de uma série de fatores, como o

regime de precipitação, condições de infiltração e drenagem subterrânea. O regime fluvial de um rio corresponde à variação do nível de suas águas; e a vazão corresponde ao volume de água escoada na seção transversal, normalmente medido por metros cúbicos por segundo (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Ao longo do tempo e a depender do regime hidrológico e da topografia do canal, os cursos d'água assumem diferentes tipos de leitos, sendo "leito" o espaço ocupado pelo escoamento das águas de um rio. São tipos de leito (CHRISTOFOLETTI, 1980; TRICART, 1966 apud CUNHA, 2001):

- Leito de vazante: está inserido no leito menor, constantemente serpenteando entre suas margens e acompanhando o talvegue, que é a linha de maior profundidade do leito;
- Leito menor: corresponde à parte do canal ocupada pelas águas cuja frequência de escoamento impede o crescimento de vegetação, normalmente entre margens bem definidas;
- Leito maior periódico ou sazonal: corresponde à parte ocupada regularmente pelas cheias, pelo menos uma vez por ano;
- Leito maior excepcional: corresponde à área ocupada pelas cheias mais expressivas, no decorrer de enchentes, cuja frequência obedece a intervalos irregulares, podendo se estender a dezenas de anos.

Desde modo, as inundações fluviais podem ocorrer a partir do aumento do nível das águas em períodos de cheia, causando transbordamento das mesmas, ultrapassando o leito menor e alcançando o leito maior. Essa dinâmica está intrinsecamente relacionada aos eventos sazonais de seca e de cheia do rio. Assim, ao longo de um ano, o tamanho do espaço ocupado pelas águas pode variar substancialmente, havendo áreas ocupadas pelas águas correntes apenas nos períodos de maior nível do rio.

Segundo levantado por Rocha (2010), os conhecimentos sobre morfologia fluvial vem sendo combinados com conceitos físicos e biológicos, destacando duas principais ideias para o funcionamento dos sistemas fluviais: o conceito de continuidade dos rios, de Vannote *et al.* (1980), que se refere, principalmente, as interações longitudinais; e o

conceito de pulso de inundação, de Junk *et al.* (1989), que foca nas interações laterais dos sistemas rio-planície de inundação.

O pulso de inundação analisa e explica o intercâmbio lateral de água, nutrientes e organismos entre rios ou lagos e suas respectivas áreas alagáveis conectadas, e é aplicado ao caso do Pantanal, sendo seu fator ecológico fundamental (JUNK *et al.*, 2014). Pode ser compreendido, portanto, como a inundação sazonal, com seus ciclos de enchente, cheia, vazante e seca, sendo a principal dinâmica ecológica da planície de inundação (JUNK *et al.*, 1989).

O conceito de pulso de inundação foi proposto inicialmente por Junk *et al.* (1989), e posteriormente revisado e atualizado por Junk e Wantzen (2004), trazendo novas percepções e conhecimentos para a discussão. Nessa nova perspectiva, os autores apontam a incorporação do conceito de conectividade nas análises limnológicas por Amoros e Roux (1988, apud JUNK e WANTZEN, 2004), termo inicialmente utilizado para análises da paisagem. Nesse sentido, Junk e Wantzen (2004) apontam a importância da análise da conectividade dos corpos d'água em planícies de inundação, cujos níveis e permanência temporal podem variar caso a caso.

A incorporação do conceito de conectividade entre rios e planície de inundação se insere num conjunto de ideias relativamente recentes (SPARKS, 1995, apud ROCHA, 2010). Sobre essa incorporação, Rocha (2011) ainda pontua:

A conectividade entre o canal fluvial e ambientes aquáticos na planície de inundação foi sendo gradativamente abordada como um fator relativo a todos os processos no sistema fluvial. Assim, sua conceituação foi sendo herdada de outros conceitos que foram surgindo ao longo do tempo, como o *continuum* geomorfológico (LEOPOLD *et al.*, 1964) e ecológico (VANOTE *et al.*, 1980), a *descontinuidade serial* (WARD & STANFORD, 1983), o *pulso de inundação* (JUNK *et al.*, 1989), as *dimensões fluviais* (WARD, 1989), os *corredores hiporreicos* (STANFORD & WARD, 1993) dentre outros. Estes e vários outros estudos que buscam entender as interações hidrodinâmicas e biológicas entre os ambientes aquáticos e terrestres podem ser entendidos também como conceitos de *conectividade* (ROCHA, 2011, p. 52).

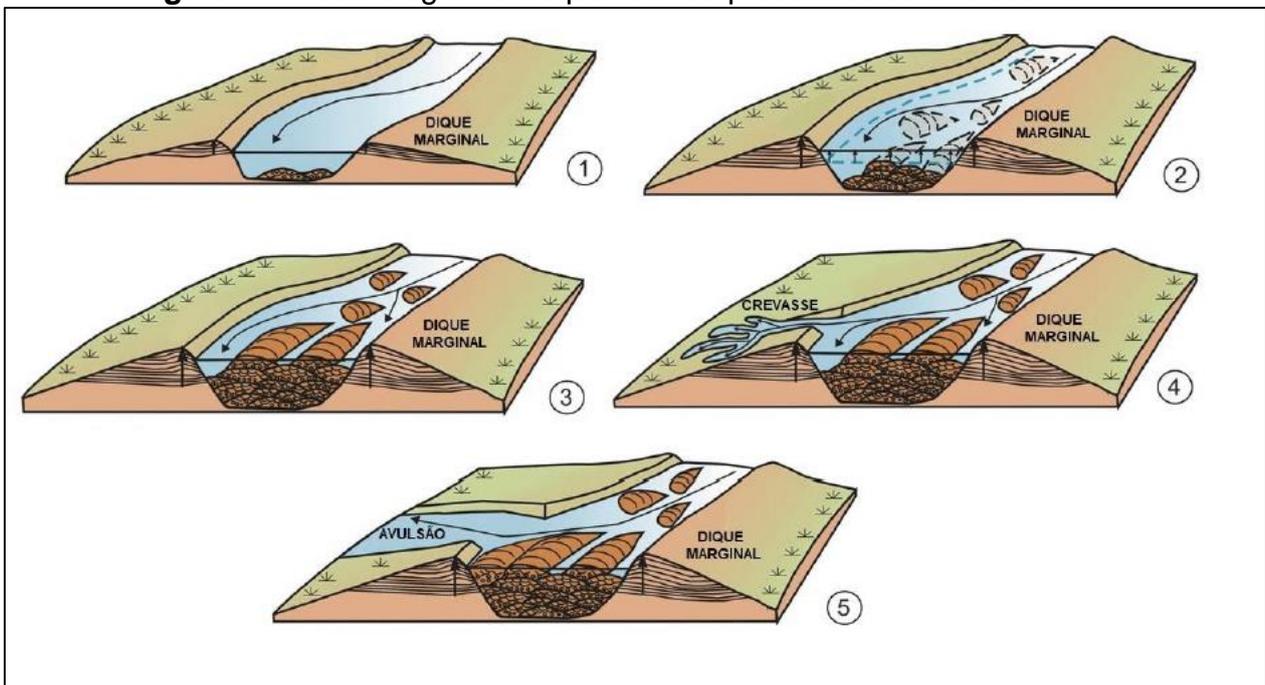
Mais adiante, o autor afirma que a conectividade hidrológica se refere à transferência de água entre o canal do rio e a planície de inundação, bem como entre os compartimentos da superfície e subsuperfície, implicando diretamente nos padrões de biodiversidade (ROCHA, 2011).

Fantin-Cruz *et al.* (2010), se utilizando do conceito de conectividade em sistemas fluviais, indicam:

Durante a inundação, os sistemas aquáticos expandem suas áreas inundando porções da planície e assim estabelecem ligações entre diferentes tipos de compartimentos. Essa conectividade pode ocorrer entre rio e planície, rio e lagoa, lagoa e planície, e entre os próprios compartimentos da planície, ou ainda entre uma combinação de todos esses ambientes. Os diferentes níveis de conectividade determinam a transferência de matéria e nutrientes, bem como a troca de organismos entre os compartimentos. Assim, dependendo da dinâmica espacial e temporal da extensão e da profundidade da água na planície, esta pode alterar entre sistema de estocagem de água para sistema de transporte de água produzido por fluxos horizontais (FANTIN-CRUZ *et al.*, 2010, p. 25).

Sobre os processos físicos que ocorrem no momento das cheias, o transbordamento das águas pode ocasionar também o rompimento dos diques marginais, causando extravasamento das águas do rio para a planície adjacente. Dependendo da magnitude do rompimento do dique, podem ocorrer fenômenos de avulsão fluvial (Figura 4), quando o rio assume nova direção (podendo correr num único sentido) ou adquire uma característica multicanal, processo bastante comum no Pantanal.

**Figura 4** - Bloco diagrama sequencial de processos de avulsão fluvial.



**Fonte:** Adaptado de Assine *et al.* (2016) por Luz (2019).

No ponto 1, o canal fluvial vai ficando mais alto que suas áreas adjacentes, limitado por seus diques marginais que são formados pelos transbordamentos do rio e deposição de sedimentos em períodos de cheia. No ponto 2, todo o complexo de leito fluvial e dique marginal vai se elevando por agradação, a partir da deposição de sedimentos que forma dunas subaquosas. No ponto 3, a constante deposição de sedimentos resulta no assoreamento do canal, levando à construção de barras que ficam emersas mesmo em períodos de cheia, e diminuindo cada vez mais a capacidade do canal reter água. No ponto 4, durante uma cheia, a força da água rompe o dique marginal e forma um leque de crevasse, causando inundações na planície adjacente; e no ponto 5, ocorre o abandono do antigo canal e o rio passa a correr em nova direção (ASSINE, 2003; ASSINE *et al.*, 2016; LUZ, 2019).

### **2.3.2 Tipos de canais fluviais**

Os canais fluviais se ajustam em sua morfologia planar, ou padrão de canal, que pode ser compreendido como a fisionomia que o rio exibe ao longo de seu curso. O padrão de canal fluvial resulta do seu ajuste à seção transversal, refletindo o inter-relacionamento entre as variáveis: descarga líquida, carga sedimentar, declividade, largura e profundidade do canal, velocidade do fluxo e rugosidade do leito. Uma bacia de drenagem pode apresentar mais de uma tipologia de canais, espacialmente setorizados ou em um mesmo setor, conforme a evolução do sistema fluvial. Mais ainda, um mesmo rio pode exibir diferentes tipologias que variam longitudinalmente ou temporalmente, como no caso de rios que apresentam tipo anastomosado em períodos de estiagem, quando há excesso de carga sedimentar no rio, e se modificam para o tipo meandrante em períodos de chuvas intensas, em eventos de cheia (CUNHA, 2001; STEVAUX e LATRUBESSE, 2017).

Na evolução dos conhecimentos em geomorfologia fluvial, vários autores propuseram distintas formas de padronização de canais, inexistindo um consenso global sobre esta tipologia. Sobre este assunto, Silva e Rodrigues (2010, p. 222) analisaram:

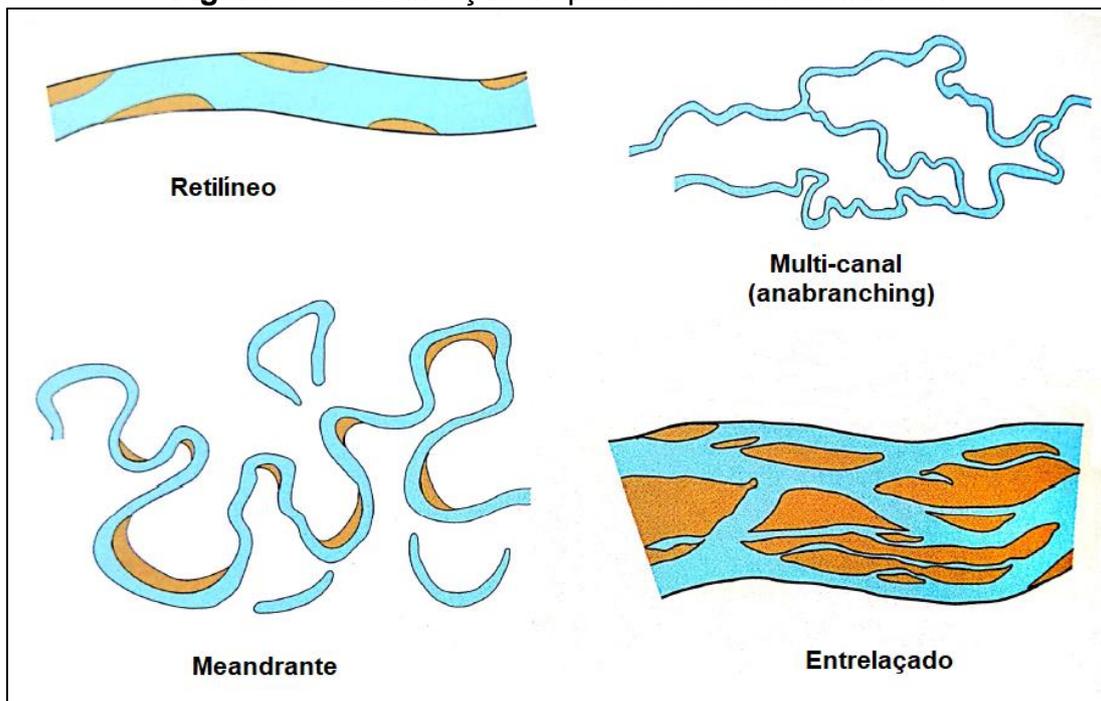
A definição de parâmetros de canais fluviais é bastante controversa na literatura. Alguns autores utilizam a carga de sedimentos transportada como parâmetro mais importante, outros utilizam a forma do canal, presença e composição de barras e ilhas, outros ainda o poder de fluxo, de maneira que um mesmo trecho de canal pode ser classificado de forma diferente de acordo com o autor tomado como referência.

Dentre as diversas tipologias propostas e discutidas na literatura, pode-se citar a de Leopold e Wolman (1957), Schumm (1963), Chitale (1970), entre outros. Sobre as classificações de padrões de canal, Stevaux e Latrubesse (2017, p. 165) apresentam:

A divisão tradicional do padrão de canal em meandrante (*meandering*), retilíneo (*straight*) e entrelaçado (*braided*) proposta por Leopold e Wolman (1957) e divulgada no Brasil por Christofolletti (1981) e Suguio e Bigarella (1979) há muito é considerada insuficiente. A ocorrência de padrões mistos ou mesmo de outros parâmetros de definição estimulou vários autores a propor classificações mais completas. Schumm (1968) e posteriormente Rust (1978) propuseram uma nova classificação considerando canais simples e múltiplos juntamente com a sinuosidade, incorporando o tipo anastomosado (*anastomosed*) à classificação anterior. No Brasil, o termo anastomosado foi primeiramente utilizado para identificar canais do tipo *braided* de Leopold e Wolman (1957) a partir do termo francês *chenal anastomosé* de Tricart (1977), o que provocou muita confusão posteriormente, quando do aparecimento do termo *anastomosed*.

Stevaux e Latrubesse (2017) sugerem uma classificação bidimensional, visto que até o momento não foi possível definir uma classificação de canais em 3D, ou baseada em seu funcionamento hidrofísico. Desta maneira, os autores adotam uma classificação baseada em dois padrões dominantes, como se observa na Figura 5: padrão de canal único (reto, meandrante ou entrelaçado) e padrão multicanal (ou *anabranching*).

**Figura 5** - Classificação de padrões de canais fluviais.



**Fonte:** Adaptado de Miall (1977, apud Riccomini *et al.*, 2009).

A seguir, serão apresentadas algumas características de cada tipo de canal fluvial.

- Canais retilíneos: os exemplos de canais naturais em padrão retilíneo são pouco frequentes, normalmente ocorrendo em trechos curtos de um rio, ou em áreas sob influência de controle estrutural (linhas tectônicas como falhas, diaclases ou fraturas). São encontrados com maior abundância quando canalizados pela ação humana (CUNHA, 2001);
- Canais meandrantés: bastante frequentes na natureza, ocorrem a partir da formação de curvas sinuosas, largas, harmoniosas e semelhantes entre si. Nestes canais, o fluxo d'água realiza um trabalho contínuo de escavação da margem côncava (também chamada de margem de ataque ou margem de degradação), onde as águas correm em maior velocidade, atribuindo-lhe maior profundidade; e de deposição na margem convexa (ou margem de agradação), onde as águas correm em menor velocidade, e a profundidade diminui por conta da deposição da carga detrítica (CUNHA, 2001).
- Canais entrelaçados: caracterizam-se por um canal maior, relativamente largo e retilíneo, onde a água escoar, em condições normais (fora dos períodos de cheia), por pequenos canais rasos e curtos, separados entre si por barras de deposição arenosas e cascalhosas. Diferente de Stevaux e Latrubesse (2017) que consideram esta tipologia como sendo de um canal único, alguns autores consideram os canais entrelaçados como de padrão multicanal, como Miall (1978, apud Riccomini *et al.*, 2009);
- Padrão multicanal ou *anabanching*: Stevaux e Latrubesse (2017) destacam que existe certa confusão na literatura sobre os termos *anabanching* e *anastomosing* (ou anastomosado, em português), se confundindo em determinados momentos. Diferentemente dos canais entrelaçados, os fluxos dos canais *anabanching* possuem certa independência e podem apresentar características bastante distintas entre si. Neste tipo de canal, as ilhas que separam os fluxos podem permanecer no sistema por centenas a milhares de anos. São canais muito comuns na natureza, e incluem os maiores rios do planeta, cuja ocorrência pode estar mais efetivamente controlada por uma combinação de aporte sedimentar numa área de geração de espaço sedimentar, como numa área em subsidência.

## 2.4 A Bacia do Alto Paraguai (BAP) e o Pantanal

A BAP constitui-se uma das mais importantes da América do Sul, por ser transnacional: se estende pelo Brasil, Bolívia, Paraguai e Argentina. Ela se divide em duas grandes unidades de relevo: o planalto, composto por áreas acima da cota de 200 metros, onde ocorrem os biomas Amazônia e Cerrado; e a planície, abaixo da cota de 200 metros, marcada pelo Pantanal. Na porção do território brasileiro, a BAP ocupa uma área de aproximadamente 362.259 km<sup>2</sup>, dos quais 52% correspondem ao Mato Grosso e 48% ao Mato Grosso do Sul (BRASIL, 2018, 1997b).

O rio Paraguai é o tronco coletor da BAP, fluindo no sentido de norte a sul, localizado na porção mais oeste da bacia hidrográfica. O planalto circunda o Pantanal em toda sua borda norte, nordeste, leste e sudeste, como se observou na Figura 1. A drenagem da bacia hidrográfica flui do planalto para o Pantanal, nestes mesmos sentidos, cujos principais afluentes do rio Paraguai são os rios Jauru, Sepotuba e Cuiabá na porção norte, São Lourenço, Taquari e Piquiri na porção oeste e Miranda, Aquidauana, e Apa na porção sul do Pantanal (CALHEIROS e OLIVEIRA, 2010).

Apesar de constituírem regiões com características distintas, o planalto e a planície pantaneira possuem uma relação de interdependência, cujos processos ecológicos e o equilíbrio ambiental do Pantanal são influenciados pelos eventos que ocorrem nas partes altas da bacia hidrográfica. Grande parte da produção hídrica da planície, que mantém o pulso de inundação, provém da região do planalto (BRASIL, 2018).

O Pantanal é uma das maiores áreas úmidas do mundo, e a maior planície contínua sazonalmente inundada, com uma área de aproximadamente 138.183 km<sup>2</sup> em território brasileiro, representando uma área de transição entre os domínios do Cerrado, do Chaco e da região Amazônica (BRASIL, 1979; PADOVANI, 2010; CUNHA e JUNK, 2014).

Sobre a gênese do Pantanal, Cunha e Junk (2014) realizam um breve relato, pautado em trabalhos de pesquisadores diversos:

A depressão do Pantanal foi formada há 2,5 milhões de anos, na última compressão dos Andes que ocorreu durante os períodos do Plioceno superior a Pleistoceno inferior (ADAMOLI, 1981; BARROS, 1982; DEL'ARCO *et al.*, 1982; ALVARENGA *et al.*, 1984; GODOI FILHO, 1986). A grande maioria das feições geomorfológicas atuais está vinculada a sua gênese e são relictos de mudanças paleoclimáticas e paleogeográficas que vêm ocorrendo desde o final do Pleistoceno (AB'SABER, 1988; ASSINE, 2005). Erosão intensiva das terras altas durante os períodos glaciais secos

levou à deposição de sedimentos pelos principais afluentes formando grandes leques aluviais no interior do Pantanal, como mostrado por estudos do leque aluvial do rio Taquari (SHORT e BLAIR, 1986; AB'SABER, 1988; ASSINE, 2005; IRION *et al.*, 2011). (CUNHA e JUNK, 2014, p. 79-80).

Do ponto de vista geomorfológico, o Pantanal é um amplo trato deposicional caracterizado por intensa sedimentação aluvial. Trata-se de uma bacia sedimentar ativa, cuja maior parte da superfície é composta por leques aluviais dominados por rios, sendo mais notável o do rio Taquari (ASSINE, 2003). A geomorfologia da região foi compartimentada pelo Projeto RadamBrasil (BRASIL, 1982a, 1982b) e trabalhada por Cunha e Junk (2014), ao proporem uma classificação dos macrohabitats do Pantanal, tais como cordilheiras, capões, campos inundados, lagoas, entre outros.

Segundo Souza e Souza (2010), o posicionamento geomorfológico e as características hidrológicas fazem com que o Pantanal exerça uma função de regulador do regime hídrico, atuando como “esponja” e provocando o retardamento e o escoamento da água. Destacam a presença de controles geológicos na porção sul do Pantanal, com algumas soleiras rochosas aflorando no leito do rio Paraguai e formando barreiras naturais, contribuindo para o retardamento do fluxo das águas fluviais. Além disso, a presença de falhas ativas no sentido contrário do escoamento ressaltadas por Orellana (1979, apud Souza e Souza, 2010) e as baixas declividades da região também favorecem a inundação. Apontam, ainda, que a inundação sofre contribuição também de água do subsolo, a partir da elevação do nível de água subterrânea no período chuvoso.

Cunha e Junk (2014) também destacam que as inundações ocorrem por transbordamento dos rios e por chuvas locais; e que devido à forma sinuosa dos rios e a baixa declividade da planície, em média de 3 a 5 cm/km no sentido norte-sul e de 12 a 15 cm/km no sentido leste-oeste (RESENDE, 2004), as águas da inundação demoram cerca de 3 a 4 meses para atravessar todo o Pantanal. Desta maneira, o pulso de inundação, na parte norte, coincide com a estação das chuvas, e na parte sul, ocorre com uma defasagem de cerca de 3 meses (ALVARENGA *et al.*, 1984, apud CUNHA e JUNK, 2014).

Do ponto de vista hidrológico, o conceito de pulso de inundação é comumente utilizado ao tratar do Pantanal (JUNK *et al.*, 1989; JUNK e DA SILVA, 1999). Ele pode ser compreendido como o fator ecológico fundamental, “a principal força direcionadora responsável pela existência, produtividade e interações da biota em sistemas rio-planície de inundação” (JUNK *et al.*, 1989). Desta forma, o Pantanal é uma área úmida sujeita a um

pulso de inundação previsível, com pronunciadas fases aquática e terrestre, alternando anualmente.

Quanto à dinâmica das águas superficiais, a drenagem do Pantanal se organiza em linhas subparalelas, constituídas por canais atuais, paleocanais episódicos ou abandonados, e por processos de construção de diques marginais. Nos períodos de cheias, os paleocanais funcionam como coletores de água, distribuindo as inundações ao receber água dos rios ou da precipitação local (ADAMOLI, 1995).

Segundo Assine (2003), no Pantanal atuam três grandes sistemas: sistemas de leques aluviais, de planícies fluviais e lacustres. Nos sistemas de leques aluviais, não ocorrem migrações laterais dos canais principais dos rios, mas sim de mudanças bruscas no curso do rio. O suprimento de sedimentos vindo da bacia de drenagem (no caso do Pantanal, das bacias do planalto) faz com que os canais dos rios sejam colmatados por agradiação.

Durante as cheias, as águas carregadas de sedimento extravasam o canal, depositando sedimentos em suas margens com a diminuição da energia de transporte, formando diques marginais que crescem verticalmente. Com o tempo, o complexo canal/dique fica mais alto que as planícies adjacentes, e a tendência é que ocorram rompimentos dos diques marginais (localmente conhecidos como arrombados), com drenagem das águas e dos sedimentos para a planície de inundação, ocorrendo avulsão do canal principal.

Fenômenos de avulsão fluvial são comuns no Pantanal, principalmente nos rios Taquari e São Lourenço, resultando em uma drenagem complexa nos sistemas distributários dos leques, com trechos de rios multicanais e bifurcações. Ocorrem, nesses rios, cinturões de meandramento confinados no ápice dos megaleques, onde os rios trabalham transportando água e materiais para as áreas mais baixas, diretamente para os lobos deposicionais atuais, enquanto os lobos abandonados não recebem água direta dos rios principais (ASSINE, 2003).

Coexistem no Pantanal os sistemas de planícies fluviais, que ocorrem em trechos do rio Paraguai, Piquiri/Itiquira e Negro. Tais sistemas apresentam, grosso modo, pequenos lagos, meandros abandonados e em construção e paleocanais que se entrecortam, contando com áreas frequentemente alagadas. Os sistemas lacustres também ocorrem,

em especial nas adjacências das planícies do rio Paraguai, recebendo a denominação de lagoas (ASSINE, 2003).

O Pantanal apresenta uma grande diversidade de ambientes por conta da diferença na disposição dos sedimentos, da diversidade de fatores morfogênicos e dos diferentes regimes de inundação. Em função disso, diversos pesquisadores propuseram diferentes delimitações de sub-regiões ou de diferentes “Pantanais”, conforme levantamento realizado por Mioto *et al.* (2012) que identificou dez diferentes delimitações dos Pantanaís por autores distintos, cada qual baseando-se em características ou critérios tais como a topografia, geologia, geomorfologia, pedologia, estrutura vegetal, hidrologia e até mesmo considerando aspectos geopolíticos.

## **2.5 Geotecnologias e sua aplicação à análise do Pantanal**

As geotecnologias são um conjunto de tecnologias voltadas para a coleta, processamento, análise e disponibilização de informações com referência espacial. Dentre elas, é possível destacar os SIGs, a cartografia digital, o sensoriamento remoto, o sistema de posicionamento global (GPS) e a topografia (ROSA, 2005).

Fitz (2008) complementa que as geotecnologias podem ser entendidas como as novas tecnologias ligadas às geociências e ciências correlatas, as quais trazem avanços significativos no desenvolvimento de pesquisas, planejamento, gestão, manejo, entre outros aspectos ligados à estrutura do espaço geográfico. Juntamente com a evolução do pensamento geográfico houve uma evolução tecnológica acelerada, fazendo com que a ciência geográfica buscasse se adaptar diante dos avanços científico-tecnológicos.

O nome Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) designa um conjunto de ferramentas computacionais composto por equipamentos e programas – *hardwares* e *softwares*, capaz de integrar dados, pessoas e instituições. Utilizando-se de técnicas específicas, possibilitam a coleta, o armazenamento, o processamento, a análise e a oferta de informações georreferenciadas produzidas por atores diversos. Além dos equipamentos e programas, são elementos componentes dos SIGs os dados, os usuários e as metodologias de análise empregadas em cada estudo (ROSA, 2005).

O sensoriamento remoto consiste na captação e registro de informações de um objeto ou alvo, sem que haja contato físico com ele. Essas informações são obtidas a partir da utilização da radiação eletromagnética refletida ou emitida pelos alvos na superfície

terrestre (ROSA, 2005; FITZ, 2008). O processamento, a análise e a interpretação desses dados também integram o sensoriamento remoto, que é considerado uma ciência por diversos autores (FLORENZANO, 2011). Desta maneira, os principais produtos de sensoriamento remoto utilizados na análise geográfica são as imagens orbitais (ou imagens de satélite).

Os objetos da superfície terrestre, como a vegetação, água e solo, possuem distintas características biofísicas e químicas que fazem com que a reflexão, absorção e transmissão da radiação eletromagnética de cada objeto varie. Assim, as imagens orbitais são geralmente produzidas individualmente em preto e branco, para diferentes canais. A quantidade de energia absorvida ou refletida por cada objeto vai determinar sua representação nas imagens em diferentes tons de cinza, entre a cor branca (quando refletem toda a energia recebida) e a preta (quando absorvem toda a energia) (FLORENZANO, 2011).

As melhores regiões do espectro eletromagnético para distinguir terra de água pura são o infravermelho próximo e médio (comprimento de ondas entre 0,74 e 2,5  $\mu\text{m}$ ). Nessas regiões, os corpos d'água aparecem muito escuros, inclusive pretos, pois absorvem praticamente todo o fluxo radiante incidente sobre eles, especialmente quando a água é pura (sem presença de materiais em suspensão ou matéria orgânica). Antagonicamente, outros tipos de cobertura da terra como vegetação e solo exposto refletem bastante energia, apresentando tonalidades mais claras. A presença de materiais em suspensão, sejam orgânicos ou não, pode alterar drasticamente a resposta espectral da água, por conta do espalhamento causado pela presença dos materiais, podendo deixá-la com uma tonalidade tão clara quanto algumas feições do terreno próximas a ela (JENSEN, 2009).

A partir das imagens individuais em preto e branco, é possível gerar imagens coloridas através da combinação de bandas, utilizando filtros coloridos azul, verde e vermelho. A composição cor verdadeira possibilita a visualização da cena em sua cor natural como enxerga o olho humano, combinando as bandas vermelho, verde e azul aos filtros de suas respectivas cores (banda vermelha associada ao filtro vermelho, banda verde associada ao filtro verde e banda azul associada ao filtro azul). Essa composição possibilita, por exemplo, separar as nuvens (em branco) e suas respectivas sombras (em preto), tarefa que fica mais difícil nas imagens em preto e branco (FLORENZANO, 2011).

Existem também outros diversos tipos de combinações coloridas, que realçam determinados alvos a depender do objetivo utilizado. Essas composições são comumente chamadas de falsa-cor, pois a cor dos objetos, em geral, é falsa, ou seja: difere daquela que o olho humano pode enxergar (FLORENZANO, 2011).

Sobre as vantagens da utilização de imagens orbitais, Florenzano (2005) defende que proporcionam uma visão de extensas áreas da superfície terrestre em diversas escalas espaciais e temporais, possibilitando estudos integrados dos ambientes e sua transformação. Segundo a autora:

Elas mostram os ambientes e a sua transformação, destacam os impactos causados por fenômenos naturais como as inundações e a erosão do solo (frequentemente agravados pela intervenção do homem) e antrópicos, como os desmatamentos, as queimadas, a expansão urbana, ou outras alterações do uso e da ocupação da terra (FLORENZANO, 2002). Através das imagens de satélite o ambiente mais distante ou de difícil acesso torna-se mais acessível. Ao retratarem parte, ou uma face da superfície terrestre, elas permitem fazer a ligação entre o pontual, ou o local, e o global [...]. A análise de um espaço local constitui referência para a compreensão de outros espaços, pois no local está embutido o regional, o continental, o global e vice-versa (FLORENZANO, 2005, p. 24-25).

Sobre os diferentes usos e aplicações dos produtos de sensoriamento remoto no estudo dos fenômenos ambientais, Florenzano (2011) cita a meteorologia, com o monitoramento das nuvens; a detecção e monitoramento de queimadas, a partir da identificação de focos de incêndio e de fumaça; o desmatamento e o mapeamento temporal do uso e cobertura da terra; identificação dos locais de erosão, de escorregamento e deslizamento de massa; as áreas inundáveis, a partir da comparação de imagens no período de vazante e de cheia dos rios e as plumas de sedimentos na água, bem como a determinação da direção dos ventos na área analisada.

Os produtos de sensoriamento remoto são bastante utilizados para estudos hidrológicos, contribuindo para o conhecimento dos processos fluviais (NOVO, 2008). Além da análise das áreas inundáveis e da identificação dos processos e forma resultantes em distintos períodos do ciclo hidrológico, o sensoriamento remoto também vem contribuindo positivamente com as análises qualitativas da água.

No ano de 2019, o Laboratório de Instrumentação de Sistemas Aquáticos (LabISA) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) publicou o livro “Introdução ao sensoriamento remoto de ambientes aquáticos” (BARBOSA *et al.*, 2019), disponibilizado

gratuitamente no endereço eletrônico do laboratório. O livro apresenta os principais conceitos, questões e aplicações do uso de sensoriamento remoto óptico para o estudo e monitoramento dos sistemas aquáticos, em especial no que diz respeito aos parâmetros de qualidade da água.

No Pantanal, a utilização de geotecnologias vem sendo adotada desde o início dos anos 90, com Silva (1991) que avaliou a dinâmica de inundação em um trecho do Pantanal a partir da utilização de imagens Landsat, em conjunto com dados coletados em campo. O próprio PCBAP (BRASIL, 1997) utilizou-se de geoprocessamento para integração dos dados, resultando em diagnósticos e prognósticos para o planejamento ambiental da bacia hidrográfica.

No ano de 1995 ocorreu o 1º Encontro sobre Sensoriamento Remoto aplicado a estudos no Pantanal, com o intuito de divulgar as técnicas de sensoriamento remoto no estudo de áreas alagáveis e contribuir para despertar o interesse no estudo do Pantanal (INPE e EMBRAPA, 1995). Além deste evento, desde 2006 ocorre o GeoPantanal (Simpósio de Geotecnologias no Pantanal), tendo sua 7ª edição ocorrida no ano de 2018. O simpósio reúne profissionais de diversas áreas e comunidade acadêmica, desde o nível técnico ao nível de pós-graduação, contribuindo para a disseminação e ampliação do conhecimento das geotecnologias para o estudo de áreas úmidas.

A utilização de imagens orbitais e sistemas de informações geográficas têm sido empregados aos estudos do Pantanal, podendo citar Assine (2003), Zani (2008), Zani *et al.* (2009), Padovani (2010), Silva (2010), Corradini (2011), Merino (2011), Zarista (2013), Pupim (2014), Macedo (2017), entre outros.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para alcançar o objetivo proposto, a pesquisa foi realizada em quatro etapas apresentadas a seguir.

#### 3.1 Revisão bibliográfica

A primeira etapa consistiu na aquisição e leitura bibliográfica sobre a temática trabalhada, a fim de nortear a pesquisa com um referencial teórico bem definido e buscar informações sobre a área de estudo. Foram utilizados:

- Livros clássicos de geografia, geomorfologia fluvial, pedologia e geotecnologias, podendo citar como alguns exemplos Christofolletti (1980 e 1981), Cunha (2001 e 2003), Fitz (2008), Florenzano (2008 e 2011), Lepsch (2010), entre outros. Muitos destes livros podem ser encontrados em bibliotecas universitárias.
- Publicações e estudos oficiais da área pesquisada, tais como Adamoli (1995), ANA (2004), Brasil (1979, 1982, 1997, 2006 e 2018). Foram consultados na biblioteca da Embrapa Pantanal, em Corumbá (MS), sendo alguns também disponíveis gratuitamente de maneira digital.
- Manuais técnicos de solos e pedologia, como Embrapa (2018), IBGE (2015), disponíveis gratuitamente de maneira digital.
- Dissertações, teses, artigos científicos, estudos e publicações diversas sobre a temática ou sobre a área de estudo, disponíveis gratuitamente de maneira digital.

Os arquivos consultados digitalmente foram buscados por palavras-chave como: rio Cuiabá; bacia do rio Cuiabá; geologia do Pantanal; geomorfologia do Pantanal; inundações no Pantanal; mapeamento de inundações; geotecnologias Pantanal; entre outros; nas plataformas

- Google acadêmico (<https://scholar.google.com.br/>);
- *Scielo* (<https://scielo.org/>);
- *Science Direct* (<https://www.sciencedirect.com/>);
- Periódicos CAPES (<https://www-periodicos-capes-gov-br.ezl.periodicos.capes.gov.br/index.php?>);

- Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações - BDTD (<http://bdtd.ibict.br/vufind/>).

### 3.2 Levantamento de dados secundários

A segunda etapa foi de aquisição e organização dos dados secundários a serem utilizados na análise da área de estudo. São eles (Quadro 1):

**Quadro 1 - Dados geoambientais secundários**

Dados geoambientais secundários		
Tipo de dado	Autoria	Disponível em:
Dados geológicos, geomorfológicos e pedológicos em formato <i>shapefile</i> , para caracterização da área de estudo e confecção dos mapas. Os dados disponibilizados pelo BDIA foram confeccionados com base nos mapeamentos do Projeto RadamBRASIL, atualizados e compatibilizados para a escala de 1:250.000.	Banco de Dados de Informações Ambientais (BDiA) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2019).	<a href="https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/home">https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/home</a>
Dados de elevação digital do terreno da missão SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) em formato <i>raster</i> , com resolução espacial de 30 metros, coletados no endereço eletrônico do Serviço Geológico Americano (USGS, 2019). Foram coletadas doze cenas que abrangem toda a bacia hidrográfica e o Pantanal do Cuiabá, são elas: 15-W055, 15-W056, 15-W057, 16-W055, 16-W056, 16-W057, 17-W056, 17-W057, 17-W058, 18-W057, 18-W058 e 19-W058.	Missão SRTM da Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço (NASA).	<a href="https://earthexplorer.usgs.gov/">https://earthexplorer.usgs.gov/</a>
Dados de precipitação das estações disponíveis no planalto e no Pantanal, para o período de 1985 a 2018, coletados no portal HidroWeb da Agência Nacional das Águas (ANA, 2019).	Agência Nacional de Águas (ANA).	<a href="http://www.snirh.gov.br/hidroweb/">http://www.snirh.gov.br/hidroweb/</a>
Dados de vazão média mensal do rio Cuiabá nas estações disponíveis no planalto e no Pantanal, para o período de 1985 a 2018, coletados no portal HidroWeb da Agência Nacional das Águas (ANA, 2019).	Agência Nacional de Águas (ANA).	<a href="http://www.snirh.gov.br/hidroweb/">http://www.snirh.gov.br/hidroweb/</a>

Dados de cotas de nível diário do rio Cuiabá para a estação Cuiabá (cód. 66260001) para identificação dos períodos de cheias do rio.	Agência Nacional de Águas (ANA) e CPRM.	<a href="http://www.snirh.gov.br/hidroweb/">http://www.snirh.gov.br/hidroweb/</a>
Imagens <i>raster</i> do satélite Landsat nas séries 5, 7 e 8, disponíveis gratuitamente no site do Serviço Geológico Americano (USGS - United States Geological Survey, 2019).	Programa Landsat da Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço (NASA).	<a href="https://earthexplorer.usgs.gov/">https://earthexplorer.usgs.gov/</a>
Dados <i>shapefile</i> de cursos d'água e bacias hidrográficas	Agência Nacional de Águas (ANA)	<a href="https://metadados.snirh.gov.br/geonetw/ork/srv/por/catalog.search#/home">https://metadados.snirh.gov.br/geonetw/ork/srv/por/catalog.search#/home</a>
Dados <i>shapefile</i> de limites municipais e estaduais	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)	<a href="https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html?=&amp;t=downloads">https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html?=&amp;t=downloads</a>
Dados <i>shapefile</i> do bioma Pantanal	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)	<a href="https://www.ibge.gov.br/apps/biomas/">https://www.ibge.gov.br/apps/biomas/</a>

**Fonte:** Organizada pela autora.

### 3.3 Procedimentos metodológicos

Serão descritos a seguir os procedimentos metodológicos realizados desde a utilização e adaptação dos dados secundários até a produção dos mapas de áreas inundadas no Pantanal sob influência do rio Cuiabá.

Os mapeamentos e processamento de todos os dados vetoriais e matriciais foram realizados no ambiente SIG *ArcGIS* 10.7 e transformados para o Datum Sirgas 2000, Zona 21 sul. Todos os dados vetoriais trabalhados foram no formato *shapefile*, portanto, na descrição dos procedimentos serão chamados de *shapefile*.

#### 3.3.1 Escolha das imagens orbitais

Para analisar a contribuição do rio Cuiabá para as inundações do Pantanal e identificar os pontos de conectividade rio-planície, optou-se por utilizar técnicas de sensoriamento remoto em imagens dos satélites Landsat 5, 7 e 8, aplicando o Índice da Diferença Normalizada da Água Modificado (MNDWI), nos momentos em que o rio extravasa e perde água para a planície. Este índice mapeia automaticamente os corpos

d'água presentes na área de estudo, e será melhor explicado no item 3.3.3. A escolha das imagens Landsat se deu por sua alta cobertura temporal (com imagens disponíveis desde 1984), por sua resolução espacial de 30 metros e pela facilidade de acesso às imagens, disponibilizadas gratuitamente.

Para assegurar que o mapeamento fosse o mais abrangente possível, optou-se por utilizar todas as imagens orbitais disponíveis (com qualidade adequada) no período de cheia do rio Cuiabá, utilizando os dados históricos de nível diário do rio no período de 1985 a 29 de junho de 2018. A escolha desse período se justifica por coincidir com a disponibilidade das imagens Landsat 5 (1984 -2011), Landsat 7 (1999 - 2003) e Landsat 8 (2013 até hoje), bem como a disponibilidade de dados diários de nível do rio, disponibilizados pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM).

A curva de permanência é uma função que caracteriza a frequência da oferta de vazões de um rio, ou seja: ela indica a porcentagem de tempo em que um determinado valor de vazão é igualado ou superado, considerando uma série histórica de dados (CRUZ e TUCCI, 2008). Assim, uma curva de permanência de 10% identifica o valor de vazão que ocorreu apenas durante 10% do tempo de todo o período analisado.

Este mesmo cálculo pode ser aplicado para se obter os níveis (ou cotas) de cheia de um rio, sendo utilizado nos boletins de previsão hidrológica e de alerta de enchentes no Pantanal Mato-grossense da CPRM, que adota a cota de permanência de 10% como zona de atenção para o período de cheia do rio Cuiabá (CPRM, 2020). Deste modo, optou-se por adotar o cálculo da cota de permanência de 10% para identificar os valores de cheia do rio Cuiabá.

Para realização do cálculo da cota de permanência foi utilizado o programa Microsoft Excel, organizado da seguinte maneira (Tabela 1): na coluna A foram inseridas as datas e na coluna B seus respectivos valores de nível do rio, sendo ordenados do maior para o menor. Na coluna C foi atribuída uma ordem para os valores, sendo o maior valor com ordem 1, o segundo maior valor com ordem 2, o terceiro maior valor com ordem 3, e assim sucessivamente até o último valor registrado (totalizaram 12.222 valores). Na coluna D, calculou-se a cota de permanência, dividindo o número de ordem (coluna C) por 12.222 (que corresponde ao último valor). Ao identificar a cota de permanência de 10%, foi verificado se o valor de nível (coluna B) nela registrado era repetido em outras datas, e caso fosse, estender-se-ia a coleta para todas as datas que registram esse mesmo valor.

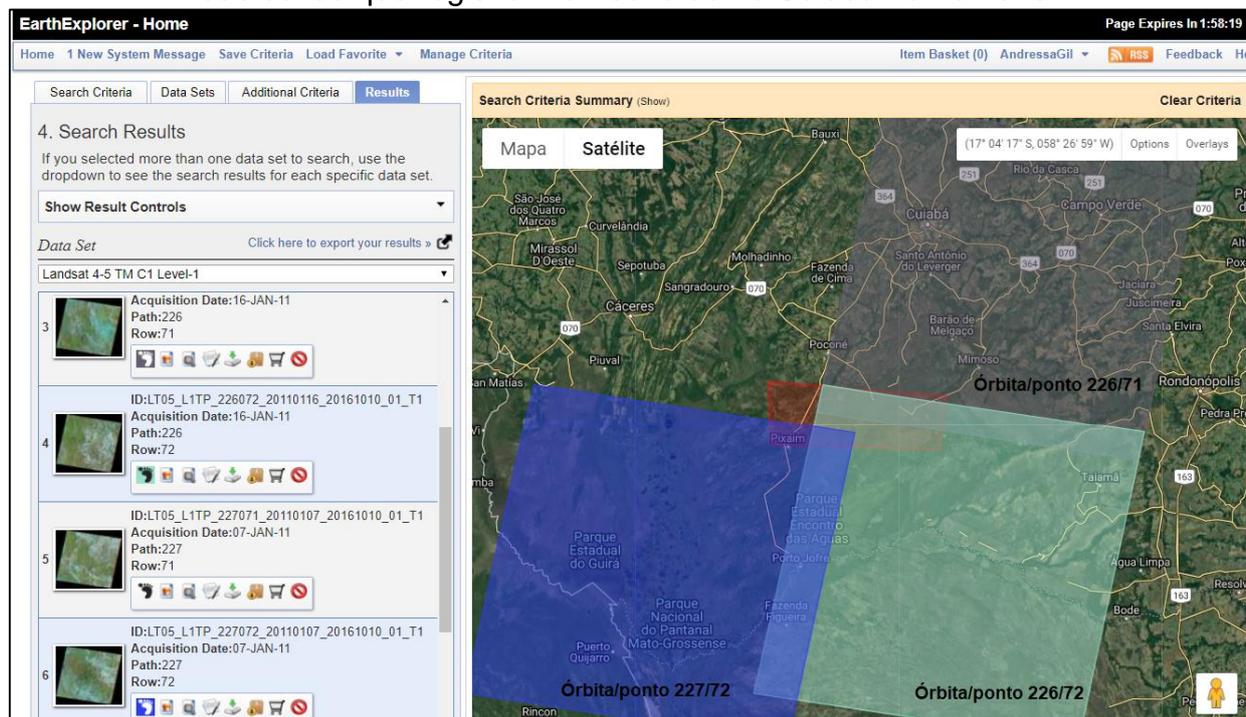
**Tabela 1** - Demonstração da organização dos dados de nível do rio e cálculo da cota de permanência

<b>COLUNA A</b>	<b>COLUNA B</b>	<b>COLUNA C</b>	<b>COLUNA D</b>
<b>Data</b>	<b>Nível (cm)</b>	<b>Nº de ordem</b>	<b>Cota de permanência</b>
07/02/1995	1035	1	0,01%
08/02/1995	1001	2	0,02%
12/01/1995	976	3	0,02%
13/01/1995	974	4	0,03%
11/01/1995	962	5	0,04%
		...	
14/03/2000	378	1218	9,97%
06/04/2009	378	1219	9,97%
24/03/1986	377	1220	9,98%
06/03/1992	377	1221	9,99%
<b>03/04/1992</b>	<b>377</b>	<b>1222</b>	<b>10,00%</b>
13/04/1993	377	1223	10,01%
04/03/1995	377	1224	10,01%
23/02/2003	377	1225	10,02%
06/02/2017	377	1226	10,03%

**Fonte:** Organizada pela autora.

Identificado o valor da cota de permanência de 10% do rio Cuiabá, prosseguiu-se com a busca das imagens orbitais para todo o período de cheia do rio. As imagens dos satélites Landsat 5, 7 e 8 foram buscadas em três cenas (órbita/ponto), que registram todo o percurso do rio Cuiabá dentro do Pantanal, sendo elas: órbita/ponto 226/71, que abrange o trecho de montante, logo ao entrar no Pantanal; órbita/ponto 226/72, que abrange o trecho médio; e órbita/ponto 227/72, que abrange o trecho de jusante, na desembocadura com o rio Paraguai (Figura 6).

**Figura 6** - Captura de tela do site do Serviço Geológico Americano, com sobreposição das cenas que registram o trecho do rio Cuiabá no Pantanal.



Fonte: USGS (2019).

Em função do tamanho da área estudada, para poder visualizar em maior escala os mapeamentos produzidos, a mesma foi compartimentada em três, considerando as cenas das imagens orbitais utilizadas: compartimento I - montante, compartimento II - médio e compartimento III - jusante. Portanto, quando forem utilizados estes termos, é importante frisar que se tratam de compartimentos de análise dentro do Pantanal, desconsiderando o trecho do rio Cuiabá em sua bacia no planalto da BAP. Como as imagens orbitais se sobrepõem em alguns trechos das bordas (como se observa na Figura 6), os compartimentos de análise também se sobrepõe, como será observado no capítulo 4, na apresentação dos resultados.

### 3.3.2 Caracterização da área de estudo

Para a caracterização da área de estudo, foram adaptados os mapas temáticos de geologia, geomorfologia e pedologia através dos arquivos *shapefile* obtidos nos órgãos oficiais. Os *shapefiles* foram recortados para os limites da área de estudo através da ferramenta *Clip*, no menu *Geoprocessing*.

A caracterização morfométrica da área de estudo foi realizada a partir de análises areais, lineares e hipsométricas, que segundo apontado por Christofolletti (1980), começaram a ser produzidas por pesquisadores como Robert E. Horton e Arthur N. Strahler.

Na análise areal, foram utilizados os parâmetros de área, perímetro, coeficiente de compacidade, densidade de drenagem, fator de forma e índice de circularidade. Na análise hipsométrica, foram utilizados os parâmetros de altitude máxima, média e mínima, amplitude altimétrica e índice de rugosidade. Na análise linear, foi utilizado o parâmetro de comprimento do rio principal, gradiente de canais e hierarquia fluvial. A Tabela 2 apresenta os parâmetros utilizados, a equação calculada para obtenção dos parâmetros e o padrão de referência e interpretação dos dados obtidos.

**Tabela 2 - Parâmetros morfométricos analisados.**

Parâmetros	Equação e autor	Padrão de referência
<b>Areal</b>		
Coeficiente de compacidade	Proposto por Villela e Mattos (1975):	Interpretação de Nardini <i>et al.</i> (2013), adaptado de Villela e Mattos (1975)
	$Kc = 0,28 \times \frac{P}{\sqrt{A}}$	1,00 - 1,24: alta propensão a enchentes
	Kc = coeficiente de compacidade	1,25 - 1,50: média propensão a enchentes
	P = perímetro (km)	1,50 - 1,70: não propensas a enchentes
	A = área (km <sup>2</sup> )	> 1,70: com tendência a conservação (nada propensa a enchente)
Densidade de drenagem	Proposta por Christofolletti (1980):	Interpretação de Nardini <i>et al.</i> (2013), adaptado de Horton (1945); Strahler (1957) e França (1968):
	$Dd = \frac{Lt}{A}$	< 1,5: baixa. Baixo escoamento superficial e maior infiltração
	Dd = densidade de drenagem (km/km <sup>2</sup> )	1,50 - 2,5: média. Tendência mediana de escoamento superficial.
	Lt = comprimento total de todos os canais (km)	2,5 - 3,0: alta. Alta tendência ao escoamento superficial e enxurradas.
	A = área (km <sup>2</sup> )	> 3,0: super alta. Alta tendência ao escoamento superficial, enxurradas e erosão
Fator de forma	Proposto por Horton (1945):	Interpretação de Nardini <i>et al.</i> (2013), adaptado de Villela e Mattos (1975)

	$Ff = \frac{A}{C^2}$	1,00 - 0,75: circular, alta tendência a enchentes
	Ff = fator de forma A = área (km <sup>2</sup> )	0,75 - 0,50: ovalada, tendência mediana
	C = comprimento do curso d'água (km)	0,50 - 0,30: oblonga, baixa tendência < 0,30: comprida, com tendência a conservação (nada propensa a enchente)
Índice de circularidade	Proposta por Schumm (1956):	Interpretação de Nardini <i>et al.</i> (2013), adaptado de Villela e Mattos (1975)
	$Ic = \frac{12,57 \times A}{P^2}$	1,0 - 0,8: circular, alta tendência a enchentes
	Ic = índice de circularidade A = área (km <sup>2</sup> )	0,8 - 0,6: ovalada, tendência mediana
	P = perímetro (km)	0,6 - 0,40: oblonga, baixa tendência < 0,40: comprida, com tendência a conservação (nada propensa a enchente)
<b>Hipsométrica</b>		
Altitude média	$Hm = \frac{AM}{Am} / 2$	-
	Hm = altitude média (m) AM = maior altitude (m) Am = menor altitude (m)	
Amplitude altimétrica	$H = AM - Am$	-
	H = amplitude altimétrica (m) AM = maior altitude (m) Am = menor altitude (m)	
Índice de rugosidade	Proposta por Melton (1957), apud Christofolletti (1980):	Interpretação de Castro e Carvalho (2009): Quanto maior for o índice, mais colinoso e dissecado o relevo (maiores declividades) e canais mais entalhados.
	$Ir = H \times Dd$ Ir = índice de rugosidade H = amplitude altimétrica (m) Dd = densidade de drenagem (km/km <sup>2</sup> )	
<b>Linear</b>		
Comprimento do rio principal	-	-

Hierarquia fluvial	Strahler (1957)	Para Strahler (1957), os menores canais, sem tributários, são considerados como de 1ª ordem. Os canais de 2ª ordem surgem da confluência de dois canais de primeira ordem, recebendo apenas afluentes de 1ª ordem. Os canais de 3ª ordem surgem da confluência de dois canais de 2ª ordem, podendo receber afluentes de 1ª e 2ª ordens, e assim sucessivamente.
Proposta por Horton (1945):		
Gradiente de canais	$G_c = \frac{AM}{C_{cp}} \cdot 1000$ <p>G<sub>c</sub> = gradiente de canais (%)  AM = altitude máxima (m)  C<sub>cp</sub> = comprimento do canal principal (m)</p>	De acordo com Horton (1945, apud Nardini <i>et al.</i> , 2013), o gradiente de canais tem por finalidade indicar a declividade dos cursos d'água

**Fonte:** Organizada pela autora.

Quanto a morfometria da bacia hidrográfica, para identificação de sua área e perímetro, foi utilizado o *shapefile* do limite da bacia hidrográfica. Ao abrir a tabela de atributos, foram criadas duas colunas nas quais se aplicaram a ferramenta *Calculate Geometry* para calcular a área e o perímetro em km<sup>2</sup>.

Para a análise linear se utilizaram os dados SRTM seguindo o passo a passo da metodologia proposta por Coelho (2007b). O primeiro passo foi criar um mosaico com as dez imagens coletadas, de modo a torna-las um único arquivo. Para isso, foi utilizada a ferramenta *Mosaic to New Raster*. Em seguida, foram utilizadas as ferramentas do pacote *Hydrology*:

- Aplicação da ferramenta *Fill* para correção dos dados;
- *Flow direction*, para avaliar a direção do fluxo;
- *Flow accumulation*, para cálculo do fluxo acumulado;
- *Stream Link* e *Stream Order* para hierarquia fluvial seguindo a metodologia de Strahler (1957);
- *Stream to Feature*, para converter a rede fluvial gerada de imagem para dado vetorial de linha (*shapefile* de linha).

Com o *shapefile* da hidrografia gerado, foram calculados os comprimentos dos cursos d'água através da ferramenta *Calculate Geometry*, para realizar o cálculo da densidade de drenagem da bacia hidrográfica, que é a razão do comprimento total dos canais pela área da bacia hidrográfica (STEVAUX e LATRUBESSE, 2017).

Por fim, para a análise hipsométrica, se utilizaram ainda dos dados SRTM. O mapa hipsométrico foi elaborado utilizando-se a estrutura de grade triangular, conhecida como TIN (*Triangular Irregular Network*). O TIN é um modelo digital do terreno criado com base em curvas de nível e/ou pontos cotados, realizando a interpolação dos valores de altitude por meio da criação de triângulos entre uma linha e outra, gerando um modelo matemático com valores de altitude (SILVA, s/d).

Para criação do TIN, primeiro foi preciso gerar as curvas de nível a partir dos dados SRTM, através da ferramenta *Contour*, onde são geradas as curvas de nível com intervalo de 10 metros, em um novo *shapefile* de linhas. Com o *shapefile* das curvas de nível, foi gerado o TIN através da ferramenta *Create TIN*.

Para o mapa de declividades, foi utilizado o mosaico das imagens SRTM e aplicada a ferramenta *Slope*, selecionando o percentual de declividade como unidade de medida. A classificação das declividades da bacia hidrográfica foi elaborada com base na classificação da Embrapa (2018), sendo elas: relevo plano declividades de 0 a 3%; suave ondulado declividades de 3 a 8%; ondulado declividades de 8 a 20%; forte ondulado com declividades de 20 a 45%; montanhoso com declividades de 45 a 75% e escarpado com declividades superiores a 75%.

Para análise do comportamento pluviométrico da área de estudo, foi gerado o mapa de isoietas anuais médias para o período de 1985 a 2018. Utilizando-se dos dados das dezesseis estações coletadas, foram feitos os seguintes passos:

- Cálculo da média de precipitação anual de 1985 a 2018 para cada estação.
- Atribuição do valor da média anual de cada estação na tabela de atributos do *shape* de pontos das estações pluviométricas.
- Interpolação dos dados de chuva pelo método do Inverso da Distância Ponderada, através da ferramenta IDW.

O método de interpolação pelo Inverso da Distância Ponderada (do inglês *Inverse Distance Weighting* - IDW) é um dos principais métodos de interpolação de dados de precipitação utilizados (ANJOS *et al.*, 2017, p. 6), e consiste em predizer o valor para um

local não medido utilizando-se dos valores amostrados a sua volta, atribuindo maior peso ao ponto mais próximo, e diminuindo esse peso conforme a distância aumenta (VARGAS *et al.*, 2018).

Para a análise das inundações, foram utilizadas as imagens coletadas dos satélites Landsat 5, 7 e 8. As imagens foram reamostradas para pixel de tamanho de 10 metros e técnica de reamostragem de convolução cúbica. Tais configurações foram testadas e apresentaram melhor resultado final no mapeamento gerado pelo MNDWI.

### 3.3.3 Aplicação do MNDWI

O Índice da Diferença Normalizada da Água (NDWI - *Normalized Difference Water Index*) é um método desenvolvido por McFeeters (1996), com a finalidade de delinear as águas abertas e realçá-las em imagens de satélite. Trata-se de uma variação do NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada), trocando as variáveis para obter resultados melhores voltados para o mapeamento das águas. O NDWI permite: maximizar a refletância da água através do uso da banda verde; minimizar a baixa refletância da água na banda do infravermelho próximo e aumentar o contraste entre água, vegetação e solo. O índice se utiliza da banda verde e da banda do infravermelho próximo, seguindo a seguinte equação (MCFEETERS, 1996):

$$MNDWI = \frac{\text{banda verde} - \text{infravermelho próximo}}{\text{banda verde} + \text{infravermelho próximo}}$$

A aplicação da equação acima para o satélite Landsat 5 corresponde a: NDWI = (banda 2 - banda 4) / (banda 2 + banda 4). Para o Landsat 8, a equação fica: NDWI = (banda 3 - banda 5) / (banda 3 + banda 5).

O NDWI gera uma nova imagem, cujo valor dos pixels varia de -1 a 1, sendo 0 o limiar entre os alvos que são água e o que não são água. Ou seja: todos os pixels com valor igual ou menor que zero não são água (NDWI ≤ 0), e todos os pixels que possuírem valor maior que 0 são água (NDWI > 0). Assim, na imagem gerada pelo NDWI, os corpos d'água são evidenciados, conferindo maior valor de brilho, enquanto as feições de solo e vegetação são minimizadas.

Posteriormente, Xu (2006) propôs uma modificação na equação do modelo, criando o Índice da Diferença Normalizada da Água Modificado (MNDWI - *Modified Normalized Difference Water Index*), que substitui a banda do infravermelho próximo para o infravermelho médio, a fim de obter melhores resultados em regiões que possuem áreas construídas, visto que no NDWI estas se misturam com os corpos d'água. A equação do MNDWI de Xu (2006) é:

$$MNDWI = \frac{\text{banda verde} - \text{infravermelho médio}}{\text{banda verde} + \text{infravermelho médio}}$$

Segundo o autor, o MNDWI permite que a água apresente valores ainda mais positivos, visto que a banda do infravermelho médio absorve mais energia nos corpos d'água que a banda do infravermelho próximo; distinguir a água das áreas construídas, pois o uso da banda do infravermelho médio atribui, no índice, valores negativos às áreas construídas; e promover maior contraste com as áreas de solo, que possuem maior refletância na banda do infravermelho médio do que no infravermelho próximo. O autor conclui, ainda, que o MNDWI revela maiores detalhes dos corpos d'água do que o NDWI, promovendo uma melhoria considerável na separação dos alvos "água" e "não água".

Optou-se por utilizar o MNDWI modificado por Xu (2006), por apresentar melhores resultados em trabalhos já realizados anteriormente no Pantanal (GIL *et al.*, 2019). As bandas utilizadas foram: verde e infravermelho médio 2, ou infravermelho de ondas curtas 2 (SWIR 2), ficando a equação:

Landsat 5 e 7:

$$MNDWI = \frac{b2 - b7}{b2 + b7}$$

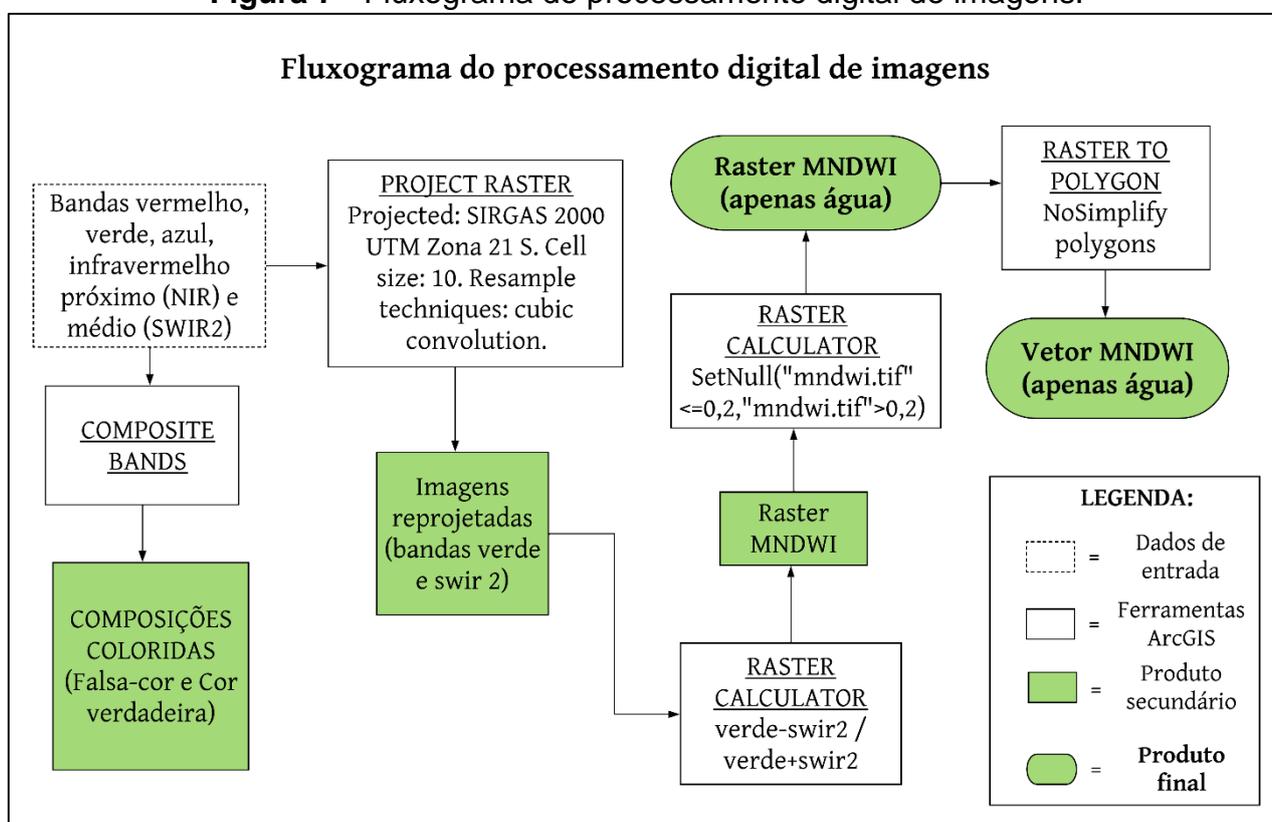
Landsat 8:

$$MNDWI = \frac{b3 - b7}{b3 + b7}$$

Além disso, após diversos testes visuais realizados, adotou-se o limiar de 0,2 para diferenciar os alvos água de não-água, que apresentou melhores resultados para o mapeamento de canais estreitos, que são bastante comuns no Pantanal.

A Figura 7 apresenta fluxograma geral do trabalho de coleta e processamento de dados. Após a coleta de dados dos níveis do rio, cálculo da curva de 10% e coleta de imagens Landsat para os períodos de cheia do rio Cuiabá, os processamentos de imagem se iniciaram com a realização das composições coloridas, a fim de auxiliar o processo de interpretação visual dos mapeamentos gerados pelo MNDWI.

**Figura 7 - Fluxograma do processamento digital de imagens.**



Fonte: Elaborado pela autora.

Para a realização da composição em cor verdadeira, para as imagens dos satélites Landsat 5 e 7 foi realizada a combinação RGB<sup>1</sup> com as bandas 3 (vermelho), 2 (verde), 1

<sup>1</sup> RGB: significa *Red, Green and Blue*. É a sigla, em inglês, do sistema de cores vermelho, verde e azul, respectivamente. Comumente, em sensoriamento remoto, as combinações são denominadas "RGB", seguidas da indicação do número das bandas (imagens) associadas, a cada filtro R (vermelho) G (verde) e B (azul), respectivamente. Ou seja: uma composição "RGB 321", significa

(azul), respectivamente. Para as imagens do Landsat 8, a composição RGB foi realizada com as bandas 4 (vermelho), 3 (verde) e 2 (azul), respectivamente.

Além dessa, a composição falsa-cor que é comumente utilizada combina as bandas do infravermelho médio, do infravermelho próximo e do vermelho. Para esta composição, Florenzano (2008) identificou que os corpos d'água com presença de material em suspensão apresentam cor azul, enquanto que as águas mais limpas e/ou profundas apresentam coloração preta. Esta identificação é bastante útil, pois auxilia na distinção de áreas ocupadas pela água do rio, que possuem maior turbidez, daquelas águas paradas e com material de fundo, na planície inundada. Para os satélites Landsat 5 e 7, essa é a combinação RGB 543, e para o Landsat 8, a combinação é RGB 654.

Posteriormente, realizou-se a reprojeção das bandas verde e swir 2 (bandas 2 e 7 para o Landsat 5 e 7 e bandas 3 e 7 para o Landsat 8), através ferramenta *Project Raster*, para o datum Sirgas 2000, projeção UTM zona 21 S, com tamanho de célula de 10 metros e reamostragem por convolução cúbica. Após a realização de testes, essa reamostragem possibilitou ao mapeamento gerado pelo MNDWI o traçado mais preciso de canais estreitos, que nas imagens com resolução espacial de 30 metros não eram mapeados ou resultavam em traçados grosseiros e desproporcionais.

Com as bandas verde e swir 2 reprojatadas, foi realizada a geração do MNDWI através da ferramenta *Raster Calculator*. Após isto, a partir do MNDWI foi gerada uma nova imagem contendo apenas os pixels referentes à água, a partir da ferramenta *Raster Calculator*. A nova imagem de água foi, por fim, transformada em *shapefile* através da ferramenta *Raster to Polygon*. A transformação da imagem do MNDWI contendo apenas dados de água em arquivo vetorial permite uma melhor visualização das áreas inundadas, dos pontos em que ocorre conectividade entre o rio e os corpos d'água da planície e possibilita o cálculo da área inundada.

Considerando a alta quantidade de imagens processadas nesse estudo (33 imagens), os processamentos foram feitos de modo automatizado através da ferramenta *Model Builder* do ArcGIS.

---

que a banda 3 foi associada ao filtro R (vermelho), a banda 2 associada ao filtro G (verde) e a banda 1 associada ao filtro B (azul). Uma composição "RGB 432" significa que a banda 4 foi associada ao filtro R (vermelho), a banda 3 ao filtro G (verde) e a banda 2 ao filtro B (azul). Adaptado de Florenzano (2011).

Nas áreas em que há conectividade do rio com a planície, o polígono do canal do rio principal ficou unido a esses corpos d'água da planície, como uma feição única. Entretanto, por conta da complexidade da dinâmica de águas superficiais do Pantanal, nem toda a área dos corpos d'água conectada ao rio Cuiabá foi inundada por extravasamento do seu leito. Durante as cheias, a precipitação local que incide sobre a planície, cujas declividades são muito baixas, também contribui para a inundação, enchendo de água os paleocanais que são reativados e formam uma grande massa de água, que pode se juntar com o leito do rio.

Por este motivo, para não superestimar as áreas que inundam por extravasamento do rio Cuiabá, os dados vetoriais foram separados em dois polígonos: um que considera toda área conectada o rio; e outro que considera apenas as áreas onde há extravasamento do rio. A separação dos polígonos foi feita pela edição vetorial: ferramenta *Editor – Cut Polygons Tool*, utilizando como apoio os dados de vazão das estações fluviométricas: foi considerada como área que recebe extravasamento do rio Cuiabá apenas os trechos em que ocorre diminuição dos valores de vazão. Além disso, também se utilizou como apoio para identificação das áreas que recebem extravasamento do rio Cuiabá pesquisas realizadas por outros autores na área de estudo, que são discutidas no capítulo de resultados.

Os polígonos de conectividade do rio e de extravasamento do rio de cada uma das datas de cada compartimento (montante, médio e jusante) foram unificados em dois únicos *shapes*, através da ferramenta Union. Posteriormente, os *shapes* dos três compartimentos também foram unificados através da ferramenta Union, obtendo por fim dois *shapes* que contemplam toda a área do Pantanal do Cuiabá: um de extravasamento do rio e um de conectividade com o rio.

Buscando compreender melhor os eventos de maior inundação e maior nível do rio dentre as imagens mapeadas em cada compartimento, foram comparados os dados hidrológicos de precipitação total mensal, vazão média mensal e nível médio mensal. Considerando que os solos do Pantanal possuem características naturais que os mantêm com alta umidade ou mesmo encharcados, é importante analisar os dados hidrológicos dos últimos meses dos eventos de inundação, visto que a condição de umidade prévia nos solos influencia diretamente em sua saturação e capacidade de infiltração. Assim, utilizou-se dos dados do último trimestre para esses eventos, como por exemplo: para a inundação de

janeiro de 1988 do compartimento I, foram coletados os dados de novembro e dezembro de 1987 e janeiro de 1988.

Importante citar também que em todos os compartimentos analisados, existem algumas imagens com lacunas nos *shapes* do rio Cuiabá e sua conectividade com as áreas inundadas, por conta da cobertura de nuvem sobre os alvos. A coloração branca da nuvem é oposta à resposta espectral dos corpos d'água (escuro / preto), deste modo, o MNDWI considera estes trechos como pixels não água, deixando lacunas nos corpos d'água.

### **3.4 Análise e interpretação dos dados**

Na quarta etapa da pesquisa foi realizada a análise e a interpretação dos dados. Após o processamento dos dados coletados, foi realizado o mapeamento e análise da dinâmica de inundação do Pantanal na área de estudo, buscando identificar a influência do rio Cuiabá para as inundações da planície de entorno.

Nesta etapa de análise, foram utilizados como apoio as imagens orbitais em composições coloridas de cor verdadeira e falsa-cor, a fim de auxiliar no processo de fotoidentificação e fotointerpretação dos alvos da imagem. Foram produzidos os mapas de inundação da área de entorno do rio Cuiabá, apresentando os resultados no capítulo final da dissertação.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Organização dos dados secundários

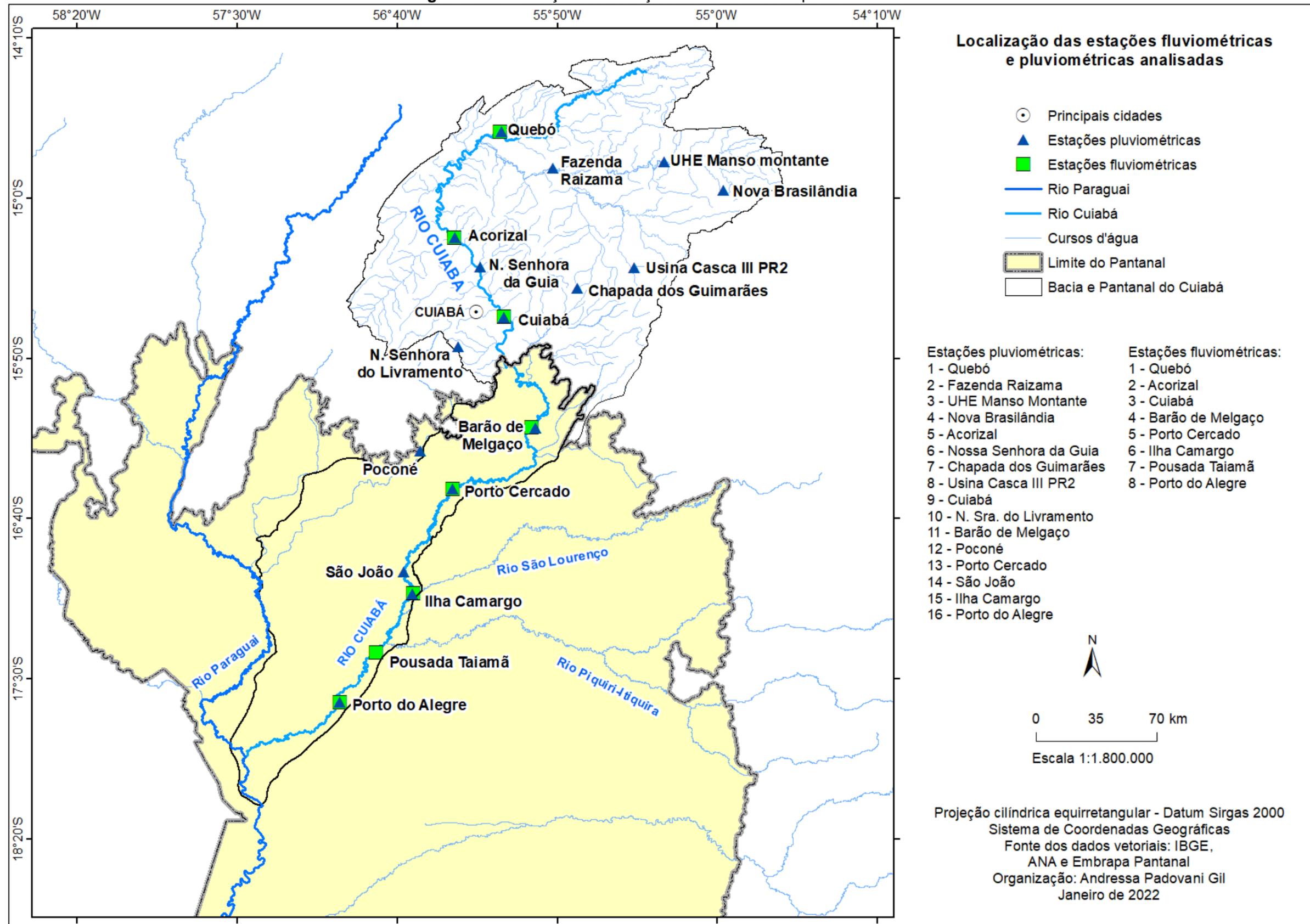
Os dados coletados para a caracterização da precipitação média anual da área estudo abrangeram dezesseis estações pluviométricas, totalizando: dez estações para o planalto e seis estações para o Pantanal. No período analisado, existem lacunas de dados de precipitação mensal para algumas estações, portanto, os anos com ausência de dados foram desconsiderados da análise. A Tabela 3 apresenta as estações coletadas e o período de lacuna de dados que não foi analisado, e a Figura 8 apresenta o mapa de localização das estações fluviométricas e pluviométricas utilizadas.

**Tabela 3** - Estações pluviométricas coletadas e período de lacuna de dados.

<b>Código</b>	<b>Nome</b>	<b>Local</b>	<b>Período de lacuna de dados</b>
1556005	Acorizal	Planalto	1991, 2017 e 2018
1555001	Chapada dos Guimarães	Planalto	1985, 1986, 1994, 2016 a 2018
1556002	Cuiabá	Planalto	1990 a 1992, 1994 a 1997, 2008 e 2009
1455008	Fazenda Raizama (Coimbra)	Planalto	1990 à 1994, 2006 e 2007
1556000	Nossa Senhora da Guia	Planalto	1987, 2000 e 2004
1556001	Nossa Senhora do Livramento	Planalto	1991, 1992, 1994, 2002, 2007, 2008, 2011, 2015 e 2016
1454002	Nova Brasilândia	Planalto	1989 à 1992, 1994, 2000 e 2008
1456004	Quebó	Planalto	2017 e 2018
1455004	UHE Manso montante	Planalto	1989, 1990, 1992 à 1994, 2000, 2004, 2005, 2010, 2013, 2014, 2017 e 2018
1555007	Usina Casca III PR2	Planalto	1991, 1994, 2007, 2017 e 2018
1655002	Barão de Melgaço	Pantanal	1990, 1991 e 2000
1756000	Ilha Camargo	Pantanal	1989, 1990, 2007, 2015 e 2016
1656002	Poconé	Pantanal	1987, 1989 à 1992, 2007, 2015 e 2016
1656001	Porto Cercado	Pantanal	1989 à 1994, 2008, 2015 e 2016
1756003	Porto do Alegre	Pantanal	1987 à 1990, 1993, 1994, 2007, 2008 e 2014
1656004	São João	Pantanal	1989, 1990, 2007, 2008, 2015 e 2016

**Fonte:** Organizada pela autora.

**Figura 8 - Localização das estações fluviométricas e pluviométricas.**



Fonte: Elaborado pela autora.

Os dados de vazão média mensal do rio Cuiabá foram coletados a fim de analisar o comportamento da vazão ao longo de seu perfil longitudinal. Foram coletados dados de oito estações fluviométricas, sendo três estações no planalto e cinco no Pantanal. No período analisado, existem lacunas de dados de vazão para algumas estações, portanto, os anos com ausência de dados foram desconsiderados da análise. A Tabela 4 apresenta as estações fluviométricas coletadas e o período de lacuna de dados que não foi analisado.

**Tabela 4** - Estações fluviométricas coletadas e período de lacuna de dados.

<b>Código</b>	<b>Nome</b>	<b>Local</b>	<b>Período de lacuna de dados</b>
66255000	Acorizal	Planalto	1992, 2009, 2010, 2017 e 2018
66260001	Cuiabá	Planalto	-
66160000	Quebó	Planalto	1994, 2009, 2010, 2017 e 2018
66280000	Barão de Melgaço	Pantanal	1985, 1986, 1989 à 1993, 2018
66370000	Ilha Camargo	Pantanal	1989 à 1992
66340000	Porto Cercado	Pantanal	1985, 1989 à 1993, 1998
66750000	Porto do Alegre	Pantanal	1989 à 1992
66710000	Pousada Taiamã	Pantanal	1986 à 1997

**Fonte:** Organizada pela autora.

Os dados de cotas de nível diário do rio para a estação Cuiabá (cód. 66260001) foram coletados para realização do cálculo da cota de permanência. O período de análise escolhido foi de 1985 a 29 de junho 2018, coincidindo com o período disponível das imagens Landsat 5 (1984 -2011), Landsat 7 (1999 - 2003) e Landsat 8 (2013 até hoje), e com os dados de nível do rio disponibilizados pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM). Em todo esse período, totalizaram 12.222 dados de nível diário do rio Cuiabá.

O valor da cota de permanência de 10% foi de 377 cm, que se estendeu até a cota de permanência de 10,03%. Dentro do período de cheia do rio, totalizaram 1.226 dados de nível diário do rio, cujas datas foram utilizadas para busca de imagens de satélite.

Do total de 1.226 datas buscadas, foram obtidas 33 imagens com boa qualidade, considerando dois fatores: a resolução temporal do satélite Landsat, que leva 16 dias; e a alta cobertura de nuvens no período buscado, visto que a grande maioria das datas correspondentes ao período de cheia do rio corresponde também aos meses de maior precipitação na bacia hidrográfica: entre dezembro a março. Das 33 imagens: 13 são do compartimento de montante do rio, 13 do compartimento médio e 7 do compartimento de jusante. A Tabela 5 apresenta a lista de imagens coletadas.

**Tabela 5** - Imagens Landsat coletadas para o período de cheia do rio Cuiabá.

<b>Data</b>	<b>Nível</b>	<b>Órbita/ponto</b>	<b>Compartimento</b>	<b>Satélite/ sensor</b>
17/01/1988	500	226/71	Montante	L5 / TM
20/02/1989	509	226/71	Montante	L5 / TM
24/03/1989	792	226/71	Montante	L5 / TM
21/10/1990	405	226/71	Montante	L5 / TM
14/01/1993	623	226/71	Montante	L5 / TM
03/03/1993	480	226/71	Montante	L5 / TM
27/03/1996	397	226/71	Montante	L5 / TM
04/03/2002	664	226/71	Montante	L7 / ETM +
31/03/2009	432	226/71	Montante	L5 / TM
16/04/2009	447	226/71	Montante	L5 / TM
26/12/2014	418	226/71	Montante	L8 / OLI-TIRS
18/03/2016	484	226/71	Montante	L8 / OLI-TIRS
01/02/2017	380	226/71	Montante	L8 / OLI-TIRS
17/01/1988	500	226/72	Médio	L5 / TM
24/03/1989	792	226/72	Médio	L5 / TM
21/10/1990	405	226/72	Médio	L5 / TM
08/02/1996	460	226/72	Médio	L5 / TM
27/03/1996	397	226/72	Médio	L5 / TM
20/03/1999	452	226/72	Médio	L5 / TM
04/03/2002	664	226/72	Médio	L7 / ETM +
23/03/2003	438	226/72	Médio	L7 / ETM +
29/01/2004	483	226/72	Médio	L5 / TM
16/04/2009	447	226/72	Médio	L5 / TM
13/03/2014	400	226/72	Médio	L8 / OLI-TIRS
26/12/2014	418	226/72	Médio	L8 / OLI-TIRS
18/03/2016	484	226/72	Médio	L8 / OLI-TIRS
20/03/1985	478	227/72	Jusante	L5 / TM
21/04/1985	403	227/72	Jusante	L5 / TM
08/01/1994	432	227/72	Jusante	L5 / TM
26/02/2006	615	227/72	Jusante	L5 / TM
19/03/2008	500	227/72	Jusante	L5 / TM
31/01/2014	492	227/72	Jusante	L8 / OLI-TIRS
12/03/2017	425	227/72	Jusante	L8 / OLI-TIRS

**Fonte:** Organizada pela autora.

O compartimento de jusante possui a menor quantidade de imagens disponíveis em boa qualidade, e as imagens de 2008, 2014 e 1994 possuem certa cobertura de nuvens próximo a foz do rio Cuiabá, o que causou lacunas no mapeamento gerado. Entretanto, por

conta da pequena quantidade de imagens disponível, optou-se por utilizá-las mesmo assim; caso contrário, a quantidade de imagens analisada neste compartimento seria ainda menor.

#### **4.2 Caracterização geoambiental da bacia hidrográfica do rio Cuiabá e do Pantanal do Cuiabá**

O rio Cuiabá percorre duas unidades ambientais distintas, com sua bacia hidrográfica localizada na porção mais alta da Bacia do Alto Paraguai, na região do planalto, e posteriormente passa a correr dentro da planície do Pantanal, a partir da cidade de Santo Antônio do Leverger (MT). Considerando todo o traçado do rio Cuiabá, ele corre predominantemente na direção sudoeste, e desagua na margem esquerda do rio Paraguai. Suas nascentes estão localizadas nas encostas da Serra Azul, no município de Rosário do Oeste (MT), tendo como formadores os rios Cuiabá da Larga e Cuiabá do Bonito, numa altitude de aproximadamente 306 metros. Da confluência destes rios forma-se o rio Cuiabazinho, que ao encontrar com o rio Manso, passa ser designado como rio Cuiabá (HELFER *et al.*, 2003). A bacia hidrográfica do rio Cuiabá, no setor do planalto, possui uma área de aproximadamente 28.628,96 km<sup>2</sup>.

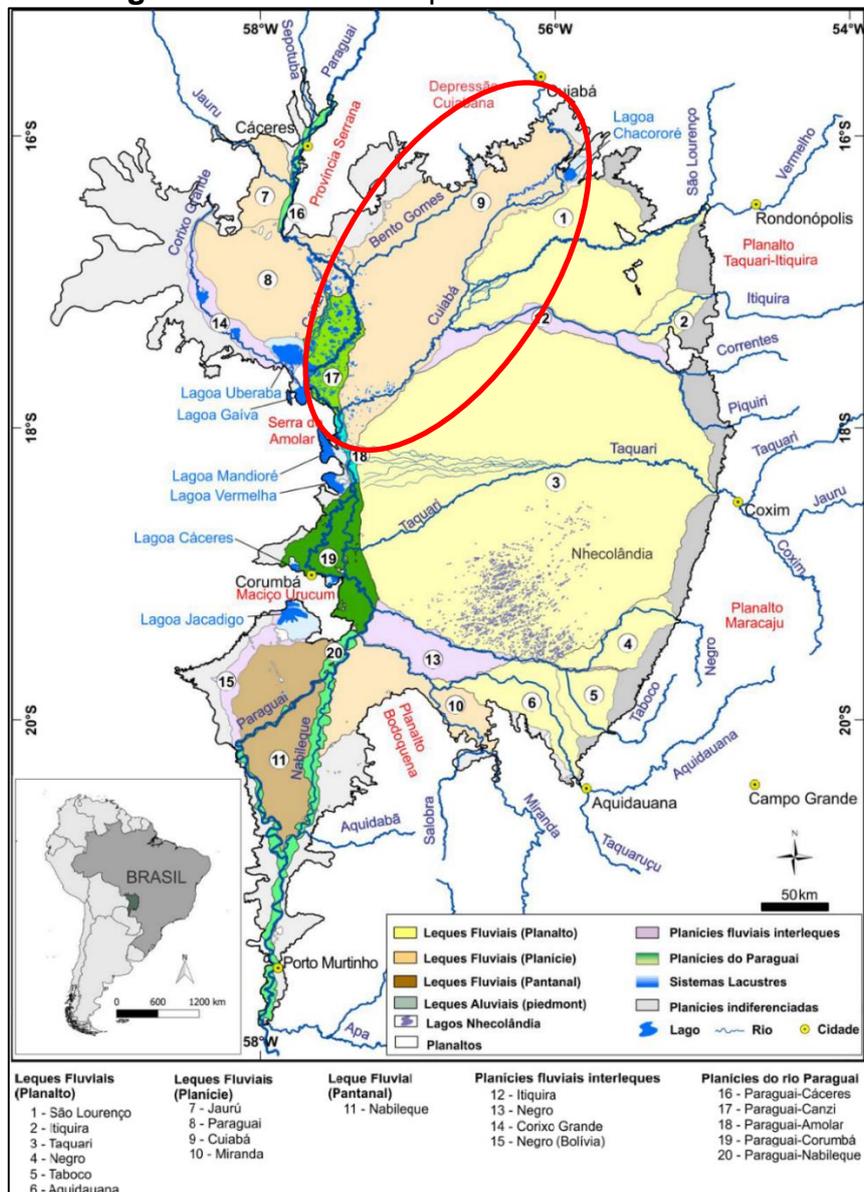
Por conta das características heterogêneas e da diversidade de ambientes no Pantanal, considerando a discussão já abordada anteriormente sobre os diversos “Pantanais”, torna-se complexo falar da existência de uma “bacia hidrográfica do rio Cuiabá” nessa planície. Divisões das sub-regiões do Pantanal como as de Franco e Pinheiro para o projeto RADAMBRASIL (BRASIL, 1982a), Adámoli (1995), Silva e Abdon (1998) e Padovani (2010) não consideram o rio Cuiabá dentro de uma única sub-região, mas sim como parte de diversas outras sub-regiões, inclusive como sendo o limite entre algumas delas.

Essas divisões, que consideram o rio Cuiabá no limite entre regiões distintas, podem ser compreendidas pelo fato evidenciado por Adámoli (1995), que destaca que o rio Cuiabá desenvolve um leque de configuração dendrítica invertida, marcadamente assimétrico, pois seu leito corre recostado sobre as bordas dos depósitos sedimentares dos demais leques dos rios São Lourenço e Taquari, a leste. Desta forma, seus braços defluentes se manifestam apenas na margem direita, a oeste, convertendo-se em tributários do rio Paraguai. Nesse sentido, o rio Cuiabá seria um divisor natural entre ambientes distintos,

sendo que à sua margem esquerda estariam as áreas que não sofrem influência de suas inundações.

O sistema deposicional formado pelo rio Cuiabá no Pantanal proposto por Pupim (2014) assume as mesmas características citadas por Adámoli (1995), no qual o rio corre bem próximo à borda leste do leque, por vezes coincidindo com ela. A Figura 9 apresenta os sistemas deposicionais do Pantanal por Assine *et al.* (2015, apud Luz, 2019) na qual pode-se observar o leque do rio Cuiabá destacado em vermelho, entre o leque do rio São Lourenço, à leste; o leque do rio Taquari à sudeste e os sistemas do rio Paraguai à oeste, que formam leques e planícies.

**Figura 9 - Sistemas deposicionais do Pantanal.**



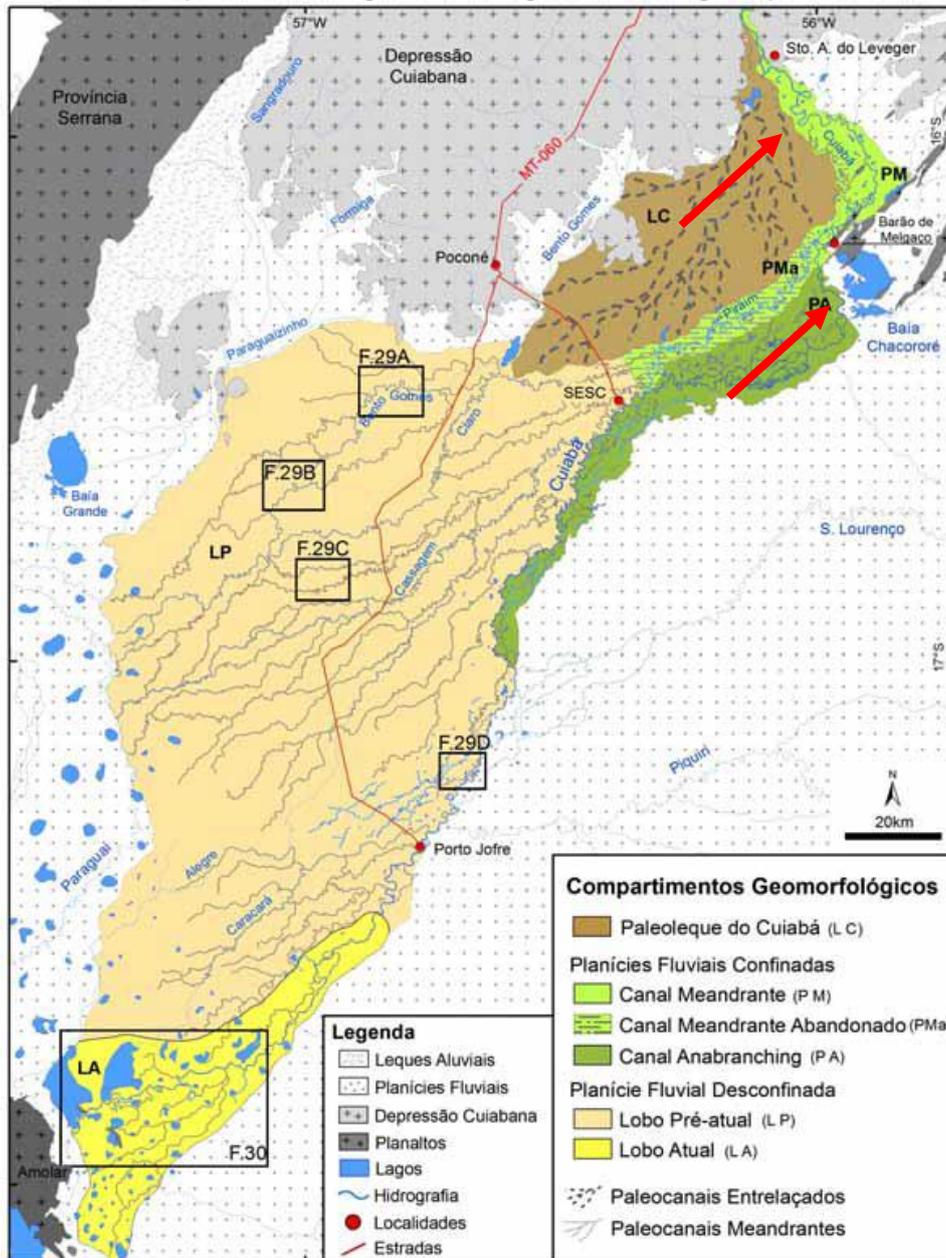
**Fonte:** Assine *et al.* (2015), adaptado e traduzido por Luz (2019).

Sobre a delimitação de Pupim (2014), classifica-se o megaleque do rio Cuiabá com uma área de 15.300 km<sup>2</sup>, sendo o segundo maior do Pantanal, superado apenas pelo megaleque do rio Taquari. Segundo o autor:

Os megaleques fluviais são formados a partir de um rio que, ao deixar áreas topograficamente mais elevadas (cadeias de montanhas ou planaltos), adentra numa bacia adjacente, onde muda constantemente de posição, depositando grandes corpos sedimentares em forma de leque [...] (PUPIM, 2014, p. 5-6).

O megaleque do rio Cuiabá possui relevo suave, com baixo gradiente topográfico (0,20 m/km), com altitudes variando de 90 m, na confluência deste com o rio Paraguai, a 155 m, na borda norte que faz limite com o planalto. É caracterizado por três compartimentos geomorfológicos, como se observa na Figura 10: o paleoleque do rio Cuiabá, composto por paleocanais de padrão entrelaçado; as planícies fluviais confinadas, com canais meandrantés (atuais e paleo) e *anabanching*; e a planície fluvial desconfinada, dominada por canais meandrantés pré-atuais e atuais (PUPIM, 2014).

**Figura 10** - Compartimentos geomorfológicos do megaleque do rio Cuiabá.



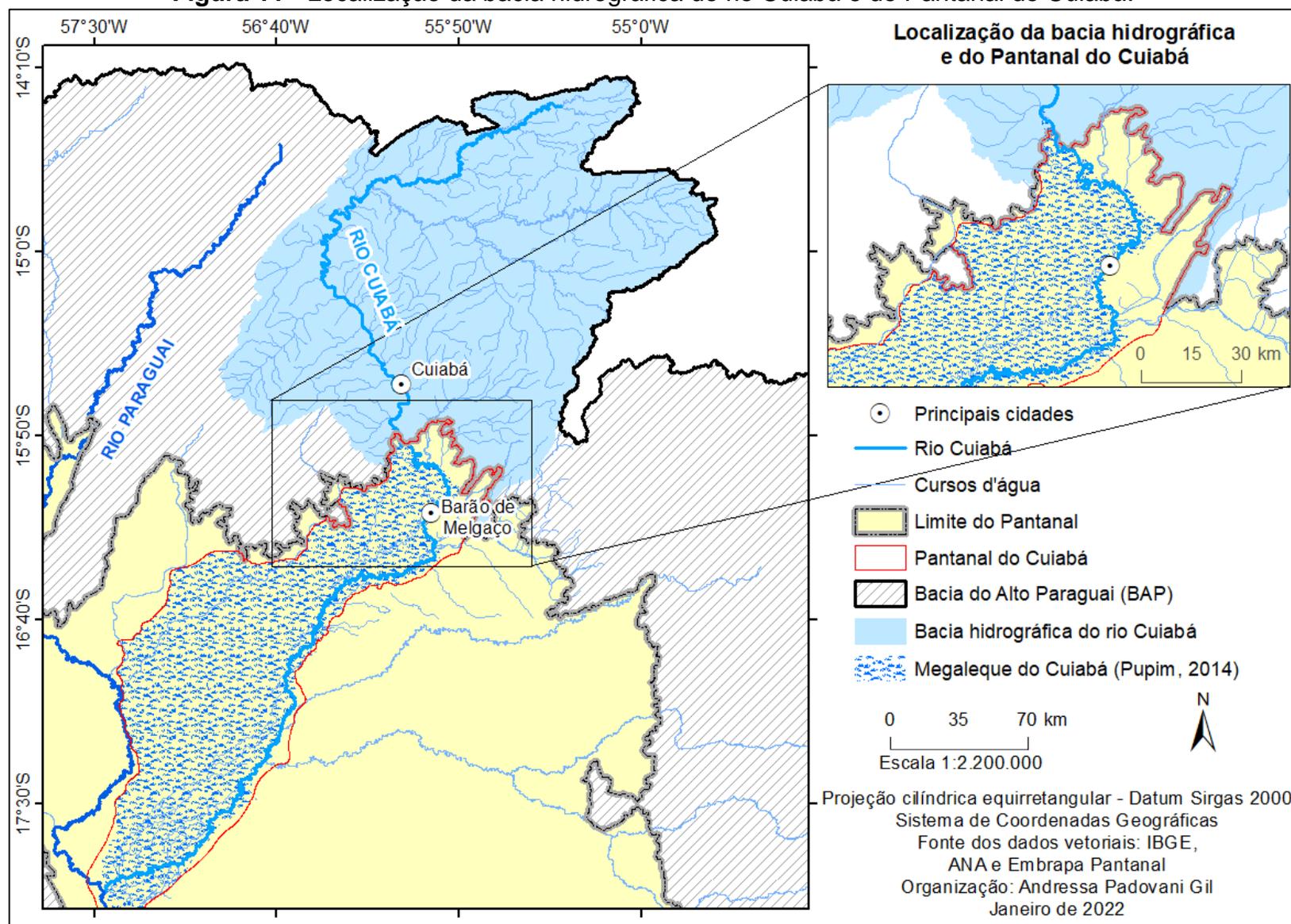
Fonte: Pupim (2014).

Ainda segundo o autor, ao adentrar no Pantanal o rio Cuiabá assume características tipicamente aluviais, e apresenta diferentes padrões morfológicos até a sua foz. A descarga fluvial sofre variações ao longo do curso do rio, com tendência de diminuição da descarga em direção a jusante, sendo essa tendência modificada pelo recebimento de água de seus principais afluentes, o rio São Lourenço e Piquiri/Itiquira. Este fato pôde ser também observado nesta pesquisa, e será apresentado nos itens 4.3 e 4.4.

O rio São Lourenço transporta uma carga sedimentar de  $7 \times 10^6$  tons/ano, e contribui significativamente com o suprimento sedimentar do rio Cuiabá. Na estação Cuiabá, no planalto, o rio Cuiabá transporta uma carga sedimentar de  $4,5 \times 10^6$  tons/ano; e na estação Porto Alegre, já no Pantanal, à jusante da confluência do rio São Lourenço, essa carga sobe para  $5,6 \times 10^6$  tons/ano. Esses dados demonstram a importância destes rios para a formação da planície pantaneira, visto que aproximadamente 57% da carga sedimentar transportada pelo sistema dos rios Cuiabá / São Lourenço ficam depositadas no Pantanal (BRASIL, 1997b; PUPIM, 2014).

A delimitação do megaleque de Pupim (2014) exclui uma pequena área do Pantanal à nordeste do leito do rio Cuiabá, que faz limite com o planalto, apontada com as setas vermelhas na Figura 10. Para esta pesquisa, será adotada como base de referência para análise das inundações, a área do megaleque de Pupim (2014) acrescida dessa área a nordeste, como se observa na Figura 11: nos pontos azuis está a delimitação de Pupim, e em vermelho a delimitação adaptada para a pesquisa, que será chamada de Pantanal do Cuiabá. A área delimitada para estudo possui aproximadamente 17.136,90 km<sup>2</sup>.

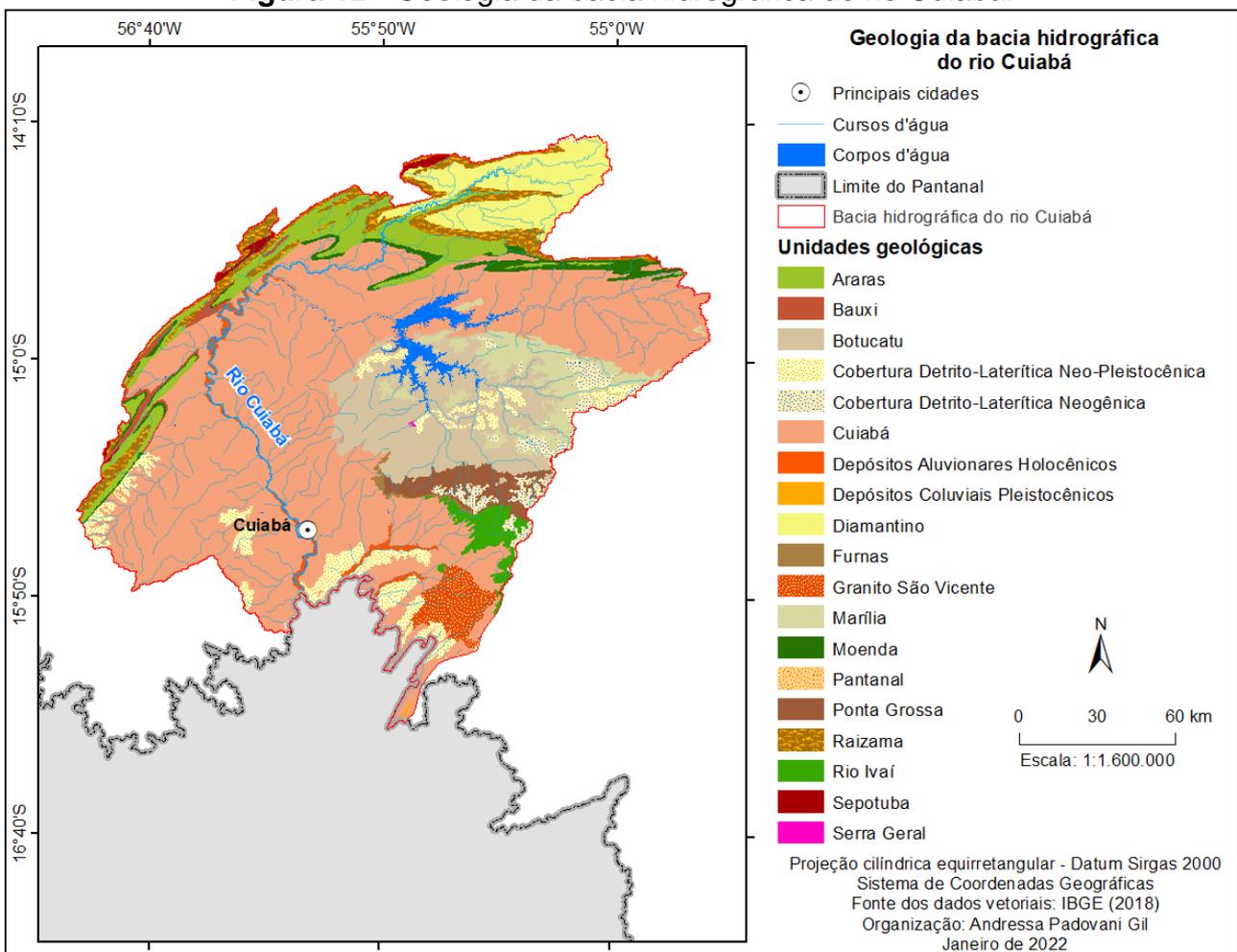
**Figura 11 - Localização da bacia hidrográfica do rio Cuiabá e do Pantanal do Cuiabá.**



**Fonte:** Elaborado pela autora.

O embasamento geológico da bacia hidrográfica do rio Cuiabá é diversificado, abrangendo os domínios do Grupo Cuiabá, do Grupo Paraná (com a Formação Ponta Grossa e Furnas), do Grupo Alto Paraguai e da Formação Pantanal. A Figura 12 apresenta as unidades geológicas da bacia hidrográfica, onde pode se observar a predominância do Grupo Cuiabá, ocupando 51,62% da área; seguida da Formação Botucatu, com 10,07%, Formação Diamantino e Formação Araras, ambas do Grupo Alto Paraguai, ocupando 5,74% e 5,51% da área, respectivamente.

**Figura 12 - Geologia da bacia hidrográfica do rio Cuiabá.**

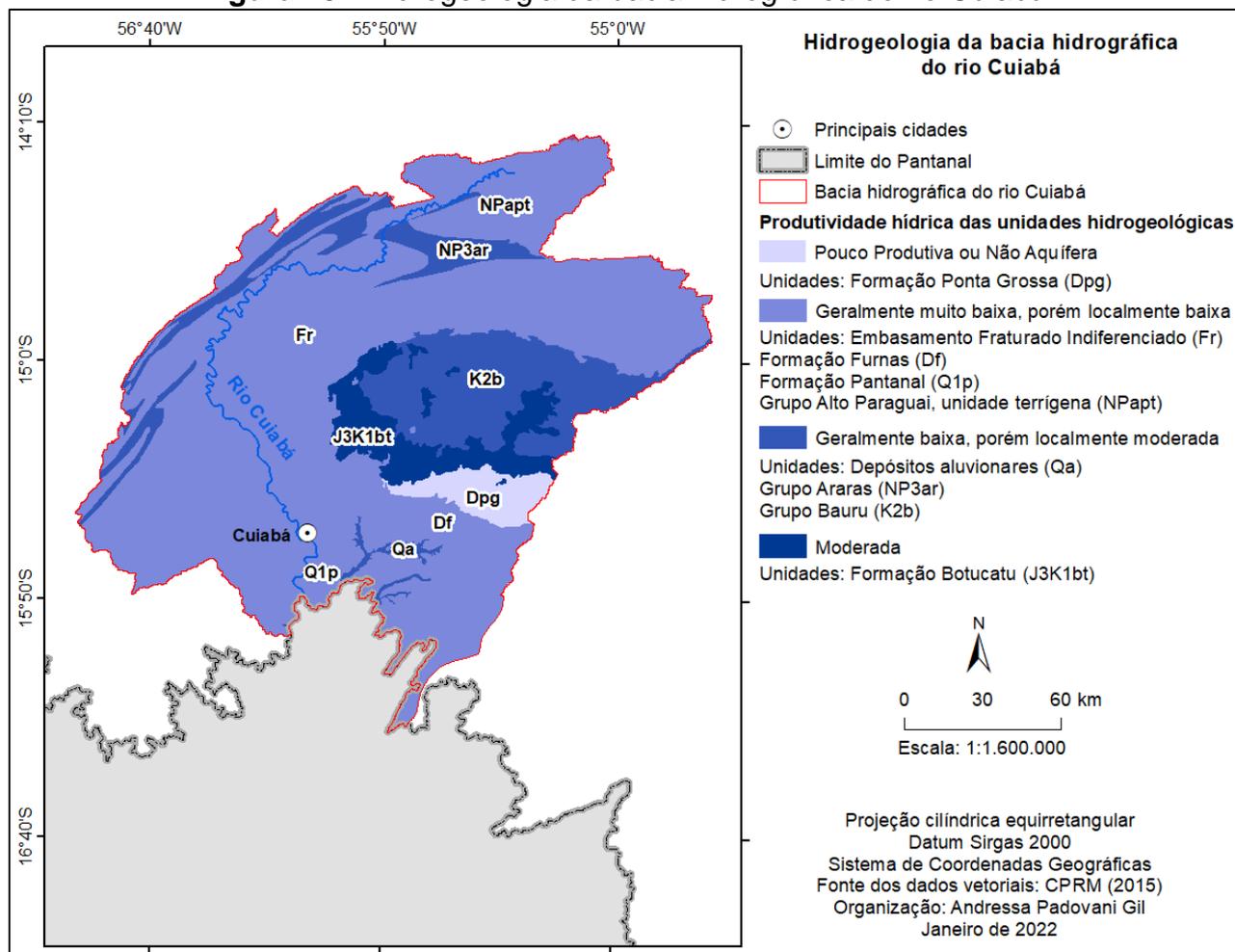


**Fonte:** Elaborado pela autora.

Do ponto de vista hidrogeológico, considerando a produção hídrica, 73,53% da área da bacia hidrográfica possui uma produtividade geralmente muito baixa, porém localmente baixa; 17,59% com produtividade geralmente baixa, porém localmente moderada; 6,06%

com produtividade moderada e 2,82% pouco produtiva ou não aquífera, como se observa na Figura 13.

**Figura 13 - Hidrogeologia da bacia hidrográfica do rio Cuiabá.**



**Fonte:** Elaborado pela autora.

O Grupo Cuiabá apresenta litologia predominante de metaconglomerados polimíticos, metaarenitos, quartzitos, metarcósios, metassiltitos, filitos, microconglomerados, metaconglomerados e calcários. Quanto à morfologia, suas rochas modelam um relevo mais aplainado, com destaque para cristas localmente produzidas por rochas mais resistentes. É recoberto a oeste pelo Grupo Alto Paraguai a leste pela bacia hidrográfica do Paraná e a sul pelo Pantanal; e ocupa quase a totalidade da Depressão Cuiabana (IBGE, 2020), como se observa no mapa geomorfológico da Figura 16.

O Grupo Cuiabá coincide com a unidade hidrogeológica de Embasamento Fraturado Indiferenciado (Figura 13), cuja produtividade hídrica é classificada como geralmente muito

baixa, porém localmente baixa. Os reservatórios dessa unidade ocorrem numa extensa área aflorante e hidráulicamente descontínua. Por serem rochas fraturadas, o armazenamento e a circulação das águas subterrâneas ficam condicionados a existência de fraturas, juntas, falhas e acamamentos geológicos (CPRM, 2015a).

A Formação Botucatu que ocupa 10,07% da bacia hidrográfica pertence ao Grupo São Bento, se concentra numa grande porção centro-leste da bacia hidrográfica, circundando o braço sul do reservatório da UHE Manso e sendo circundada a oeste pelo Grupo Cuiabá, a sul pela Formação Ponta Grossa e a nordeste pela Formação Marília. Segundo dados do Radam Brasil (BRASIL, 1982b), apresenta contatos inferiores por meio de discordâncias erosivas ou localmente falhadas com o Grupo Cuiabá e Formação Furnas e Ponta Grossa.

Trata-se de arenito fino a grosso de coloração avermelhada, com grãos bem arredondados e alta esfericidade, típicos de sedimentação eólica em ambientes desérticos (IBGE, 2020). Essa formação coincide com as unidades hidrogeológicas do Grupo Bauru, cuja produtividade hídrica é classificada como geralmente baixa, porém localmente moderada e da Formação Botucatu, cuja produtividade hídrica é classificada como moderada (CPRM, 2015a). A litologia contribui para a produtividade hídrica local, considerando que o arenito possui alta porosidade e boa capacidade de infiltração.

A unidade hidrogeológica Grupo Bauru é um aquífero de extensão regional e ocorre de forma livre e homogênea. Sua recarga está subordinada a infiltração das chuvas e drenagens superficiais que tem nascente em outras unidades hidrogeológicas. Nesta unidade, também ocorre recarga através dos aquíferos adjacentes de Furnas e Botucatu, que possibilitam infiltrações laterais em decorrência de sistemas de falhamentos extensionais. A unidade hidrogeológica Formação Botucatu possui boa permeabilidade e ocorre de forma livre ou semiconfinada, configurando-a uma produção hídrica moderada. As recargas ocorrem de forma direta, através da infiltração das precipitações e de corpos de água superficiais. Entretanto, na região da Chapada dos Guimarães onde ocorrem as escarpas e conseqüente forte quebra do relevo, a retenção de água é pequena (CPRM, 2015a).

Circundando a bacia hidrográfica pelo setor noroeste encontram-se as rochas do Grupo Alto Paraguai, são elas: a Formação Diamantino, Araras, Raizama, Moenda, Sepotuba e Bauxi, que estão em contato umas com as outras.

A Formação Diamantino localiza-se concentrada na porção norte da bacia hidrográfica, ocupando 5,74% de sua área. O conteúdo litológico caracteriza-se por uma seção basal com intercalações frequentes de folhelhos, siltitos arcoseanos e arcósios em vários ciclos sucessivos, o que evidencia os ritmos regressivos ocorridos em seu ambiente de sedimentação (BRASIL, 1982b). A disposição da Formação Raizama, ocupando 4,54% da área da bacia hidrográfica, está diretamente ligada à unidade geomorfológica da Província Serrana (Figura 16), onde constituem-se rochas essencialmente arenosas e resistentes, preservando-se, portanto, as partes mais elevadas nas quais modelam relevos tabulares (BRASIL, 1982b). Sua composição litológica compreende arenitos em cores variegadas, granulação fina a média com frequentes níveis de areia grossa, seixos e grânulos (IBGE, 2020).

Tanto a Formação Diamantino quanto a Formação Raizama coincidem com a unidade hidrogeológica Grupo Alto Paraguai, unidade terrígena, que é um aquífero regional, livre e de baixa permeabilidade, cuja circulação de água está condicionada a porosidades planares e/ou intergranulares. Por essas características, possui produtividade hídrica geralmente muito baixa, porém localmente baixa (CPRM, 2015a). Essas características evidenciam a baixa permeabilidade e infiltração litológica e a predominância de processos de escoamento superficial.

A Formação Araras, com 5,51% da área da bacia hidrográfica faz contato com a unidade superior (Formação Raizama) e inferior (Formação Moenda) do tipo concordante gradacional; e justapõe-se em discordância erosiva com a Formação Sepotuba e Bauxi (IBGE, 2020). Sua litologia é essencialmente constituída por rochas carbonáticas: na porção inferior predominam os calcários pelíticos e calcítico e no topo predominam os dolomitos, que são as rochas mais abundantes desta unidade (BRASIL, 1982b). Coincide com a unidade hidrogeológica do Grupo Araras, que é um aquífero com extensão regional, descontínuo, e apresenta condições de carstificação restrita e condições de circulação de água moderada quando associada a sistemas de fraturas. Por estes motivos, sua produção hídrica é classificada como geralmente baixa, porém localmente moderada (CPRM, 2015a). Predominam, portanto, processos de escoamento superficial.

A formação de Cobertura Detrito-Laterítica Neo-Pleistocênica encontra-se dispersa na bacia hidrográfica ocupando 4,71% de sua área, em especial na região centro-leste em meio às formações Botucatu e Marília e na porção sul da bacia hidrográfica, em meio ao

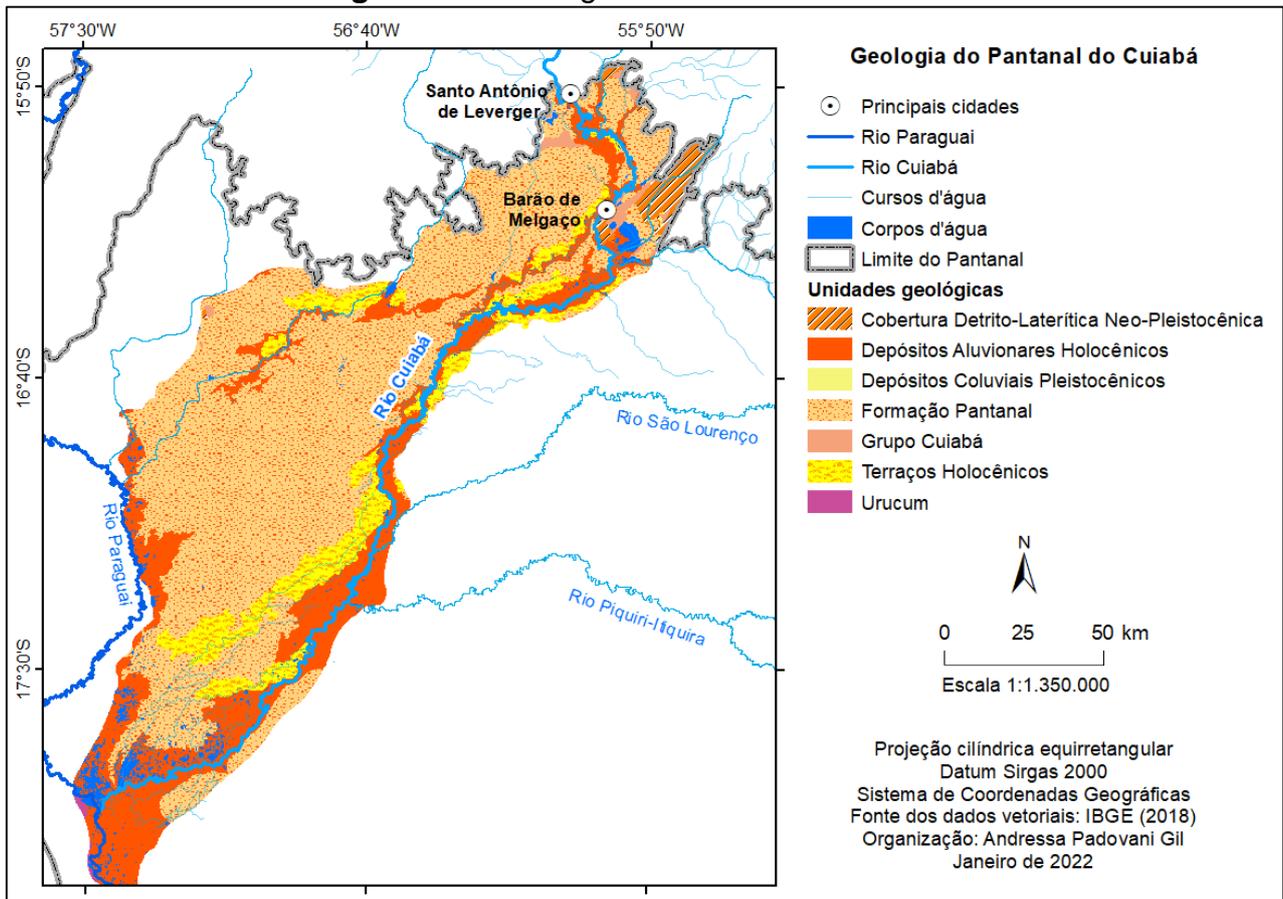
Grupo Cuiabá, aos Depósitos Aluvionares Holocênicos e ao Granito São Vicente. É composta por sedimentos argilo-arenosos de cor amarelada, caulíníticos, alóctones e autóctones, podendo ser parcial a totalmente pedogeneizados, gerados por processos alúvio-coluviais. Geralmente constituem extensas superfícies aplainadas, encimadas por uma crosta ferruginosa (IBGE, 2020). Coincide com mais de uma unidade hidrogeológica, apresentando características de produção hídrica variadas.

No extremo sul da bacia hidrográfica, próximo ao limite do Pantanal, caracteriza-se pela unidade hidrogeológica da Formação Pantanal e de Depósitos Aluvionares, cuja produtividade hídrica é majoritariamente baixa: na Formação Pantanal é geralmente muito baixa, porém localmente baixa, e nos depósitos aluvionares é geralmente baixa, porém localmente moderada. Essas unidades hidrogeológicas ocorrem também no Pantanal, e serão abordadas posteriormente.

Observa-se que a litologia da bacia hidrográfica do rio Cuiabá favorece os processos de escoamento superficial, contribuindo com fluxos hídricos para o rio Cuiabá. Apenas em um trecho da bacia hidrográfica, que ocupa aproximadamente 10% de sua área com a Formação Botucatu, predominam os processos de infiltração, por conta do embasamento geológico composto por arenitos, que são rochas de boa permeabilidade.

Quanto a geologia predominante no Pantanal do Cuiabá, observa-se a predominância expressiva da Formação Pantanal, ocupando 61,12% da área, seguida dos Depósitos Aluvionares Holocênicos, ocupando 23,02% da área e dos Terraços Holocênicos margeando os rios, ocupando 9,42% da área, como se observa na Figura 14.

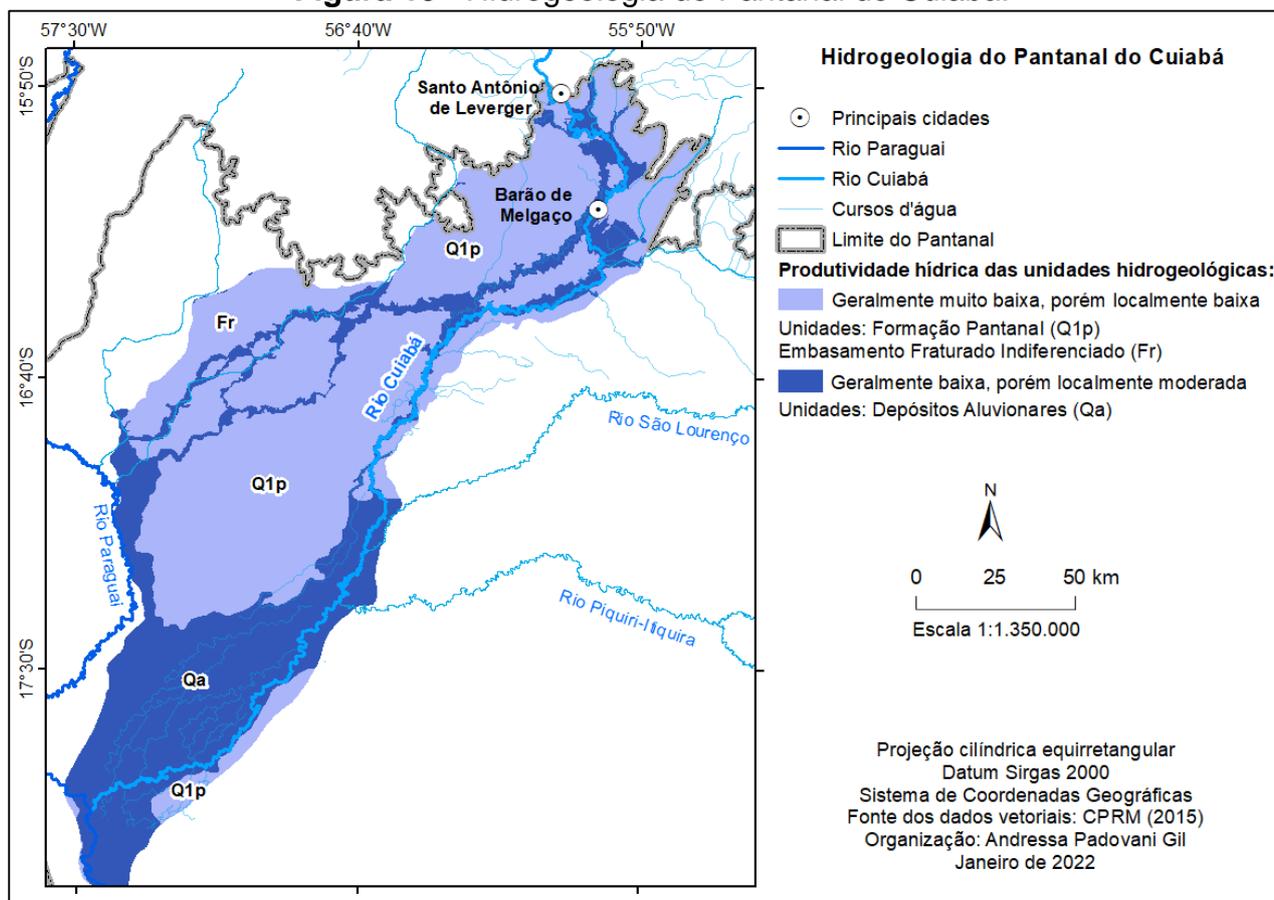
**Figura 14 - Geologia do Pantanal do Cuiabá.**



**Fonte:** Elaborado pela autora.

As demais unidades geológicas ocupam menos de 5% da área de estudo. Do ponto de vista hidrogeológico, considerando a produção hídrica, 62,40% da área da bacia hidrográfica possui uma produtividade geralmente muito baixa, porém localmente baixa; e 37,50% com produtividade geralmente baixa, porém localmente moderada, como se observa na Figura 15.

**Figura 15 - Hidrogeologia do Pantanal do Cuiabá.**



**Fonte:** Elaborado pela autora.

A Formação Pantanal constitui um pacote de sedimentos aluviais predominantemente arenosos, siltico-argilosos, inconsolidados e semi-inconsolidados. A maior parte dos sedimentos resultam da coalescência de vários leques aluviais predominantemente arenosos e de depósitos fluviais e lacustres, recobrimo diferentes litologias pertencentes a várias unidades litoestratigráficas pré-cambrianas e fanerozóicas. Em geral, a maior parte da superfície do Pantanal é ocupada por areias quartzosas, dominando também provavelmente as camadas sotopostas, visto que o quartzo é o principal componente das rochas das áreas fonte. A sedimentação que hoje se processa nas áreas interfluviais é sobretudo de natureza pelítica, condicionada às inundações sazonais (BRASIL, 1982a; IBGE, 2020).

Coincide com a unidade hidrogeológica de mesmo nome, Formação Pantanal, que é um aquífero livre, com extensão regional e espessura de até 40 metros, cuja produtividade é condicionada pelo caráter variável de suas camadas, provocando variações na permeabilidade tanto vertical quanto lateralmente. Desse modo, a permeabilidade no

Pantanal ocorre com mais eficácia nas porções arenosas do que nas porções argilosas, apresentando produtividade hídrica geralmente muito baixa, porém localmente baixa. As recargas ocorrem por infiltração direta da chuva ou pela elevação do nível de água da rede de drenagem, e suas águas ajudam na perenização dos cursos d'água locais (CPRM, 2015b).

Os Depósitos Aluvionares Holocênicos são faixas de aluviões recentes com características típicas de planície fluvial e localmente fluviolacustre. Essa unidade também está presente na região do planalto, onde se apresenta de maneira mais estreita e descontínua do que na planície pantaneira. Nas áreas dos aluviões recentes se identificam depósitos de barra em pontal, diques marginais, meandros abandonados colmatados ou em colmatagem, que funcionam como registros da evolução dos rios (BRASIL, 1982a).

Através da observação dessa unidade é possível ter uma noção das áreas em que ocorre transbordamento das águas do rio Cuiabá, visto que se trata do depósito de sedimentos carregados e depositados por ele. Ela se encontra margeando o rio Cuiabá em toda sua extensão, e os sedimentos são em grande parte de areias quartzosas de granulação fina a média, siltes e argilas, enquanto as areias constituem os depósitos em pontal e os pelitos, depósitos de transbordamento (BRASIL, 1982a).

Os Terraços Holocênicos encontram-se também margeando os cursos d'água em meio aos aluviões recentes, mas ao contrário destes últimos, apresentam uma distribuição descontínua, representando diferentes comportamentos dos agentes deposicionais, ocasionados provavelmente por diversos fatores, como oscilações climáticas, movimentos eustáticos e fenômenos de caráter tectônico. Mostram características típicas de depósitos de planície fluvial, compostos por cascalhos lenticulares de fundo de canal, areias quartzosas inconsolidadas em barras em pontal e siltes e argilas de transbordamento (IBGE, 2020).

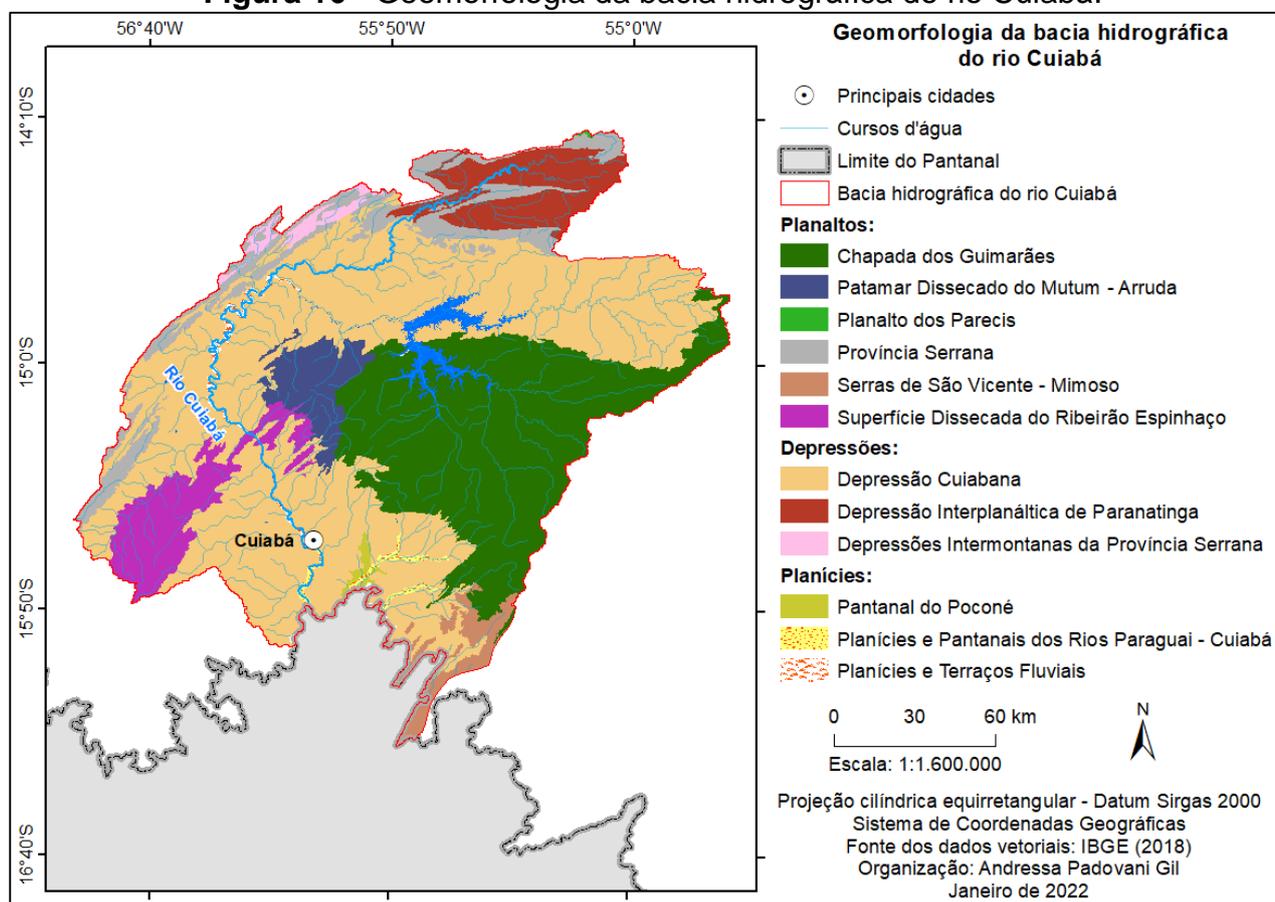
Essas duas unidades, de Depósitos Aluvionares e Terraços coincidem com a unidade hidrogeológica de Depósitos Aluvionares, constituindo-se um aquífero livre, descontínuo e espessura limitada até 20 metros. Apresentam produtividade hídrica geralmente baixa, porém localmente moderada (CPRM, 2015b).

A geologia do Pantanal do Cuiabá, que de modo geral apresenta produtividade hídrica baixa, indica que a permeabilidade da litologia é fraca, prevalecendo maior escoamento superficial, que aliado às baixas declividades locais contribui para as

inundações. Além disso, os aquíferos mais próximos ao rio Cuiabá, que são as áreas que recebem extravasamento da água do rio Cuiabá possuem menor espessura, de apenas 20 metros, o que também contribui para a manutenção das inundações.

Quanto a geomorfologia, a bacia hidrográfica do rio Cuiabá possui treze unidades morfológicas, com destaque para a Depressão Cuiabana, que ocupa 48,58% de sua área; a Chapada dos Guimarães, ocupando 24,21%; a Província Serrana, com 6,93%; a Depressão Interplanáltica de Paranatinga, com 5,40%; a Superfície Dissecada do Ribeirão do Espinhaço, com 5,31% de sua área e as demais unidades que ocupam menos de 5% da área, como se observa na Figura 16.

**Figura 16 - Geomorfologia da bacia hidrográfica do rio Cuiabá.**



**Fonte:** Elaborado pela autora.

A Depressão Cuiabana compreende uma área rebaixada entre a Chapada dos Guimarães, a leste e a Província Serrana que a recobre a noroeste; sendo limitada pelo Pantanal a sul. Apresenta superfície suavemente dissecada, com modelados de topo tabular, secundariamente convexos e declives fracos a muito fracos. A drenagem sofre

certo controle estrutural, sendo influenciada pelos direcionamentos estruturais das rochas do Grupo Cuiabá, no sentido NE-SO, fazendo com que seus rios sejam encaixados. Destaca-se apenas o rio Cuiabá que possui certos trechos a jusante de planície mais expressiva (IBGE, 2020).

Essa unidade possui uma topografia rampeada com inclinação de norte a sul, altimetria em torno de 450 m no alto dos rios Cuiabá e Manso com decréscimo para 200 m em direção a jusante (IBGE, 1982b). É nela que corre maior parte do rio Cuiabá, e essas características geomorfológicas conferem importante papel na contribuição de sua vazão: a precipitação da bacia hidrográfica, o escoamento superficial e a rede de drenagem convergem para o canal principal. A baixa produtividade hídrica do aquífero dessa região indica que predominam os processos de escoamento superficial, reforçando sua importância para o abastecimento do rio.

A Chapada dos Guimarães, segunda maior unidade geomorfológica, se concentra na região centro-leste da bacia hidrográfica, e é caracterizada por uma extensa área de relevo aplanado com cotas de 600 a 800m, toda contornada por relevo escarpado. Na parte sudoeste da chapada se encontram escarpas com vertentes muito abruptas mantidas por arenitos devonianos, que permitiram o modelado de um relevo cuestiforme de frente para a Depressão Cuiabana. Nas extremidades nortes da chapada, o contato com a Depressão Cuiabana é menos brusco; na porção noroeste ele é interrompido por um patamar posicionado entre as superfícies da depressão e da chapada (IBGE, 2020; BRASIL, 1982b).

Possui em sua área quatro unidades hidrogeológicas, cuja produção hídrica varia de moderada à pouco produtiva ou não aquífera. A unidade hidrogeológica Formação Botucatu se encontra no trecho oeste da Chapada dos Guimarães, onde esta faz limite com o Patamar Dissecado do Mutum; e em sua porção central. Nela, nos locais de relevo plano a suave ondulado há boa permeabilidade e predominam os processos de infiltração. A sul desta unidade fica a Formação Ponta Grossa, uma unidade hidrogeológica não aquífera, formando uma barreira impermeável (CPRM, 2015a), onde predominam os processos de escoamento superficial.

Além disso, nas bordas da chapada, a existência de descontinuidades do relevo e escarpas abruptas dificulta a permeabilidade e nestes locais predominam os processos de escoamento superficial (CPRM, 2015a), contribuindo em especial com o trecho sul e

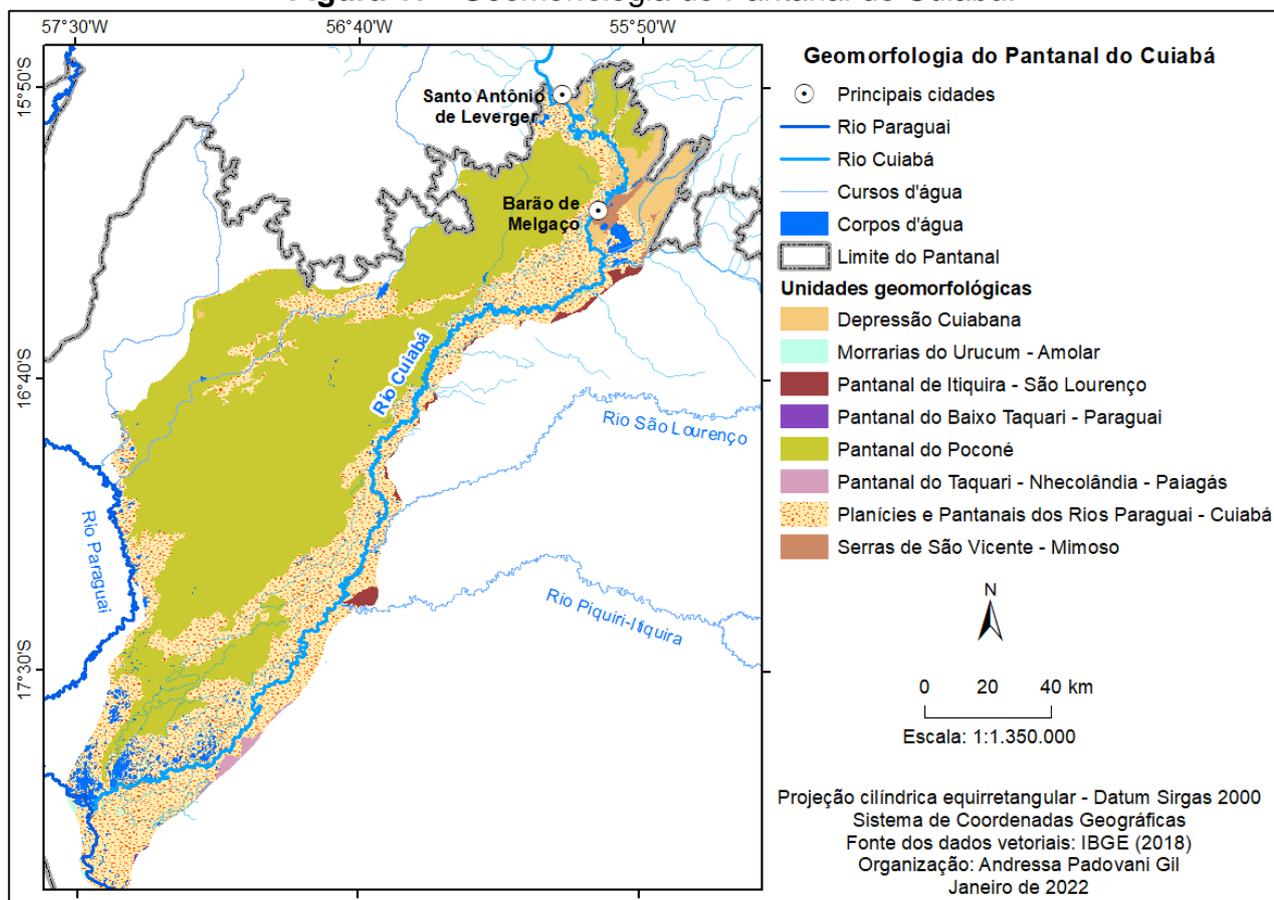
sudoeste, cujas águas escoam para a Depressão Cuiabana e encontram os afluentes do rio Cuiabá.

No extremo norte da bacia hidrográfica, na área das nascentes do rio Cuiabá, estão as unidades da Província Serrana e da Depressão Interplanáltica de Paranatinga. A Província Serrana circunda a bacia hidrográfica pelo setor noroeste, separando fisicamente a Depressão do Alto Paraguai da Depressão Cuiabana, e esta da Depressão Interplanáltica de Paranatinga. Essa unidade caracteriza-se por sua configuração em arco, com curvatura voltada para o sudeste, sendo um conjunto de relevos dobrados e uma sucessão de anticlinais e sinclinais alongadas (BRASIL, 1982b; IBGE, 2020). Os aquíferos dessa área possuem baixa produtividade hídrica, e nela predominam os processos de escoamento superficial.

A Depressão Interplanáltica de Paranatinga é uma área de relevo rebaixado, com dois compartimentos geomorfológicos distintos, sendo um compartimento mais rebaixado na porção sul da unidade, abrangendo o trecho do alto curso do rio Cuiabá. Este trecho caracteriza-se por uma superfície suavemente dissecada, com predomínio de relevos com topo tabular, baixa densidade de drenagem e declives fracos (IBGE, 2020). Embora a densidade de drenagem seja fraca, é nessa unidade que se forma o rio Cuiabá, onde ocorrem os aquíferos de muito baixa produtividade e prevalecem os processos de escoamento superficial.

Quanto a geomorfologia predominante no Pantanal do Cuiabá, destacam-se as unidades do Pantanal de Poconé, que ocupa 55,49% da área e a unidade de Planícies e Pantanaís dos Rios Paraguai-Cuiabá, que ocupa 36,63% da área de estudo, e margeia os rios Cuiabá e Paraguai. As demais unidades geomorfológicas apresentadas na Figura 17 ocupam menos de 5% da área de estudo, portanto não serão discutidas.

**Figura 17 - Geomorfologia do Pantanal do Cuiabá.**



**Fonte:** Elaborado pela autora.

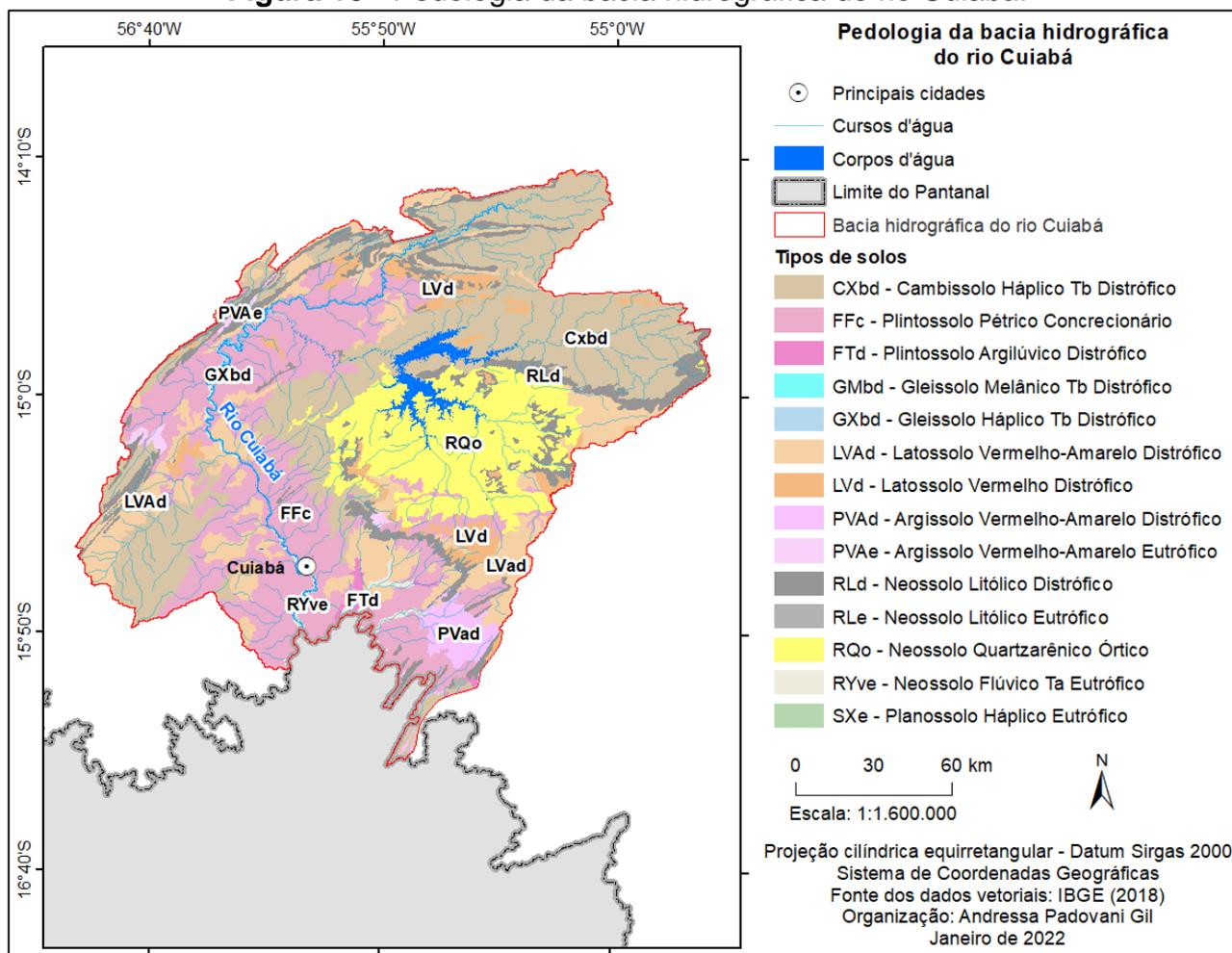
O Pantanal de Poconé ocorre ao lado da margem direita do rio Cuiabá onde foi desenvolvido seu leque aluvial, considerando que seu leito corre recostado sobre as bordas dos leques dos rios São Lourenço e Taquari, que ficam à sua margem esquerda. Observa-se que sua localização coincide predominantemente com a unidade hidrogeológica da Formação Pantanal, cuja produção hídrica varia de muito baixa a baixa, demonstrando a predominância do escoamento superficial.

Essa unidade é constituída por sedimentos aluvionares argilosos, argilo-arenosos e areno-conglomeráticos da Formação Pantanal, que se encontram espalhados e coalescentes com os sedimentos depositados pelos rios principais. Predominam os planos convergentes e coalescentes com as planícies fluviais, caracterizados como áreas de acumulação inundáveis onde o alagamento ocorre por formas e intensidades variáveis. A área é drenada por uma rede de canais sinuosos e meândricos denominados localmente de “corixos”, e no setor norte predominam as áreas que permanecem alagadas por mais tempo (IBGE, 2020).

A unidade das Planícies e Pantanaís dos Rios Paraguai-Cuiabá é caracterizada por sua superfície plana, margeando os canais dos rios principais como Cuiabá e Paraguai. Ela ocorre na unidade geológica dos Depósitos Aluvionares Holocênicos e na unidade hidrogeológica de Depósitos aluvionares, onde a infiltração é baixa. Trata-se, portanto, dos depósitos aluviais dos rios, com destaque para sua vasta planície fluvial e flúvio-lacustre. Esta é a principal área onde ocorrem as inundações por transbordamento do rio Cuiabá, como será visto mais adiante no item 4.4. A característica plana e rebaixada dessa unidade geomorfológica contribui significativamente para o acúmulo de água nos períodos de inundação do Pantanal.

Os principais solos presentes na bacia hidrográfica do rio Cuiabá são o Cambissolo Háplico Tb Distrófico, ocupando 28,83% da área da bacia hidrográfica; Plintossolo Pétrico Concrecionário, com 25,74% da área; Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, com 13,89%; Neossolo Quartzarênico Órtico, com 13,16%; Neossolo Litólico Distrófico, com 8,67% e os demais tipos de solos ocupando menos de 5% da área da bacia hidrográfica (Figura 18).

**Figura 18 - Pedologia da bacia hidrográfica do rio Cuiabá.**



**Fonte:** Elaborado pela autora.

O Cambissolo Háptico Tb Distrófico ocorre espalhado na bacia hidrográfica, ocupando toda a área da Depressão Interplanáltica de Paranatinga, no extremo norte da bacia hidrográfica; do Patamar Dissecado do Mutum-Arruda, que fica na borda oeste da Chapada dos Guimarães; parte da Superfície Dissecada do Ribeirão do Espinhaço, a sudoeste da bacia hidrográfica; e em um grande trecho da Depressão Cuiabana, a norte da Chapada dos Guimarães. Os Cambissolos são solos minerais, pouco desenvolvidos, não hidromórficos, caracterizados pela presença de um horizonte A de qualquer tipo exceto chernozêmico, sobre um horizonte B incipiente (IBGE 2020). São formados por uma heterogeneidade de materiais e ocorrem em diversas formas do relevo e condições climáticas, o que lhes configura características mutáveis de um local para o outro, podendo ser desde fortemente até imperfeitamente drenados (EMBRAPA, 2018).

Nas áreas em que se desenvolve sob relevos montanhosos e escarpados, como no Patamar Dissecado do Mutum-Arruda, o relevo configura baixa infiltração no solo e favorece os processos de escoamento superficial. Por outro lado, na região da Depressão de Paranatinga, onde os relevos são suave ondulado apresentam cambissolos relativamente profundos, não cascalhentos ou pedregosos, e apresentam um horizonte B incipiente com altos teores de silte e de relação silte/argila (OLIVEIRA *et al.*, 2017). A textura mais fina do solo nessa região indica também a possibilidade de baixa infiltração e predominância do escoamento superficial. Sartori *et al.* (2005), que propõe uma extensão da classificação hidrológica dos solos a partir de Lombardi Neto *et al.* (1989, apud SARTORI *et al.*, 2005), também classificam os cambissolos, em geral, com grande potencial de escoamento superficial.

O Plintossolo Pétrico Concrecionário ocorre principalmente na área da Depressão Cuiabana e se configura em seu mesmo formato de arco, pegando a borda oeste e sul da bacia hidrográfica. São solos constituídos por material mineral, com expressiva plintização e presença de horizonte diagnóstico concrecionário (IBGE, 2015). Na Depressão Cuiabana, cuja história evolutiva é marcada por processos denudacionais, os Plintossolos são, via de regra, de pequena espessura; e em função das características do material de origem é comum a grande quantidade de cascalhos de quartzo em seu perfil, com concreções e canga lateríticas (OLIVEIRA *et al.*, 2017).

Os Plintossolos Pétricos Concrecionários com presença de horizonte diagnóstico concrecionário podem geralmente apresentar boa drenagem (IBGE, 2015), indicando boa infiltração da água. Entretanto, é importante reforçar que são solos de pequena espessura e se localizam majoritariamente sobre rochas fraturadas, cujo armazenamento e circulação de águas subterrâneas é condicionado a existência de fraturas, juntas, falhas e acamamentos geológicos. Deste modo, é possível que a infiltração nessa área da Depressão Cuiabana seja limitada.

O Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico encontra-se distribuído por diversas áreas da bacia hidrográfica, ocorrendo em trechos da chapada dos Guimarães no leste da bacia hidrográfica, da Província Serrana na porção norte e sudoeste e trechos espalhados pela Depressão Cuiabana. São solos em avançado estágio de intemperização, profundos a muito profundos, porosos, de bem a excessivamente drenados, com boa permeabilidade e baixa capacidade à retenção de água, agravado pela sua rápida condutividade hidráulica

(OLIVEIRA *et al.*, 2017). Nas áreas com Latossolo, prevalecem os processos de infiltração e baixo potencial de escoamento superficial.

O Neossolo Quartzarênico Órtico ocorre concentrado sobre a Chapada dos Guimarães, região centro-oeste da bacia hidrográfica. São solos minerais sem apresentar nenhum tipo de horizonte B diagnóstico, apresentando textura de areia ou areia franca em todos os horizontes até no mínimo 150 cm ou até atingir o contato lítico. São essencialmente quartzosos, contendo na fração areia 95% ou mais de quartzo; bem a fortemente drenado, normalmente profundos e com baixa capacidade de retenção de água. Por sua constituição arenosa com grãos soltos, normalmente são muito suscetíveis a erosão em sulcos e voçorocas (OLIVEIRA *et al.*, 2017). A textura arenosa desse tipo de solo com grande quantidade de poros favorece a infiltração, configurando sua boa drenagem. Desenvolvem-se principalmente sobre rochas da Formação Botucatu, que é formada por arenitos; e sobre as unidades hidrogeológicas do Grupo Bauru e Formação Botucatu, sendo esta última a única unidade da bacia hidrográfica que possui produtividade hídrica moderada (as demais com muito produtividade muito baixa, baixa ou não aquífera).

O Neossolo Litólico Distrófico distribui-se de maneira espalhada pela bacia hidrográfica, tanto no setor mais a oeste e noroeste na região da Província Serrana, quanto na porção central e leste sobre a Chapada dos Guimarães, e em menor expressividade a sudeste sobre as Serras de São Vicente. Ocorrem majoritariamente nas áreas de escarpas dessas serras e da chapada. São solos minerais, não hidromórficos, pouco desenvolvidos, sem horizonte B diagnóstico e diferem do Neossolo citado anteriormente por apresentar um horizonte A sobre a rocha ou sobre material com 90% ou mais de sua massa constituída por fragmentos rochosos. São, portanto, solos de pequena espessura, com frequente ocorrência de cascalhos e fragmentos de rocha em seu perfil e grande suscetibilidade à erosão (OLIVEIRA *et al.*, 2017). Apesar de serem solos bem drenados, por estarem localizados em área de acentuada declividade, possuem baixa infiltração, predominando o escoamento superficial.

Quanto aos solos na planície Pantaneira, estes guardam estreita relação com a natureza dos sedimentos depositados, que por sua vez retratam a natureza do ambiente fonte, e são depositados em cada local em momentos diferentes. Assim, as diversas regiões do Pantanal (ou diversos pantanais, como já discutido anteriormente) guardam suas características sedimentares e dinâmica hídrica própria (COUTO *et al.*, 2017).

A compreensão das características básicas dos solos pantaneiros é importante para tratar das inundações que ocorrem na planície. Couto *et al.* (op. cit) destacam as alternâncias climáticas associadas aos períodos glaciais/interglaciais no Pleistoceno e Holoceno enquanto responsáveis pela diferenciação nos regimes hídricos e nos processos de sedimentação da planície do Pantanal. Durante os climas mais úmidos ocorreram as sedimentações aluvionares em condições de águas mais calmas (lentas), resultando na deposição de sedimentos mais finos.

Esta condição se mantém até hoje, e os processos relacionados ocorrem com mais frequência nas planícies de inundação e nos locais mais baixos da planície como um todo. Nestes locais as inundações são mais frequentes e prolongadas, os solos são mais argilosos ou siltosos devido ao processo sedimentar e a alteração de materiais pelíticos, acarretando uma drenagem vertical mais lenta que propicia a existência de lagoas e de períodos de inundação mais prolongados. São, portanto, em sua maioria solos hidromórficos ou semi-hidromórficos (BEIRIGO, 2013; FORTUNATTI e COUTO, 2004 apud COUTO *et al.*, 2017), e no Pantanal norte o hidromorfismo resulta de sua limitada drenagem vertical e relacionado às águas de precipitação direta.

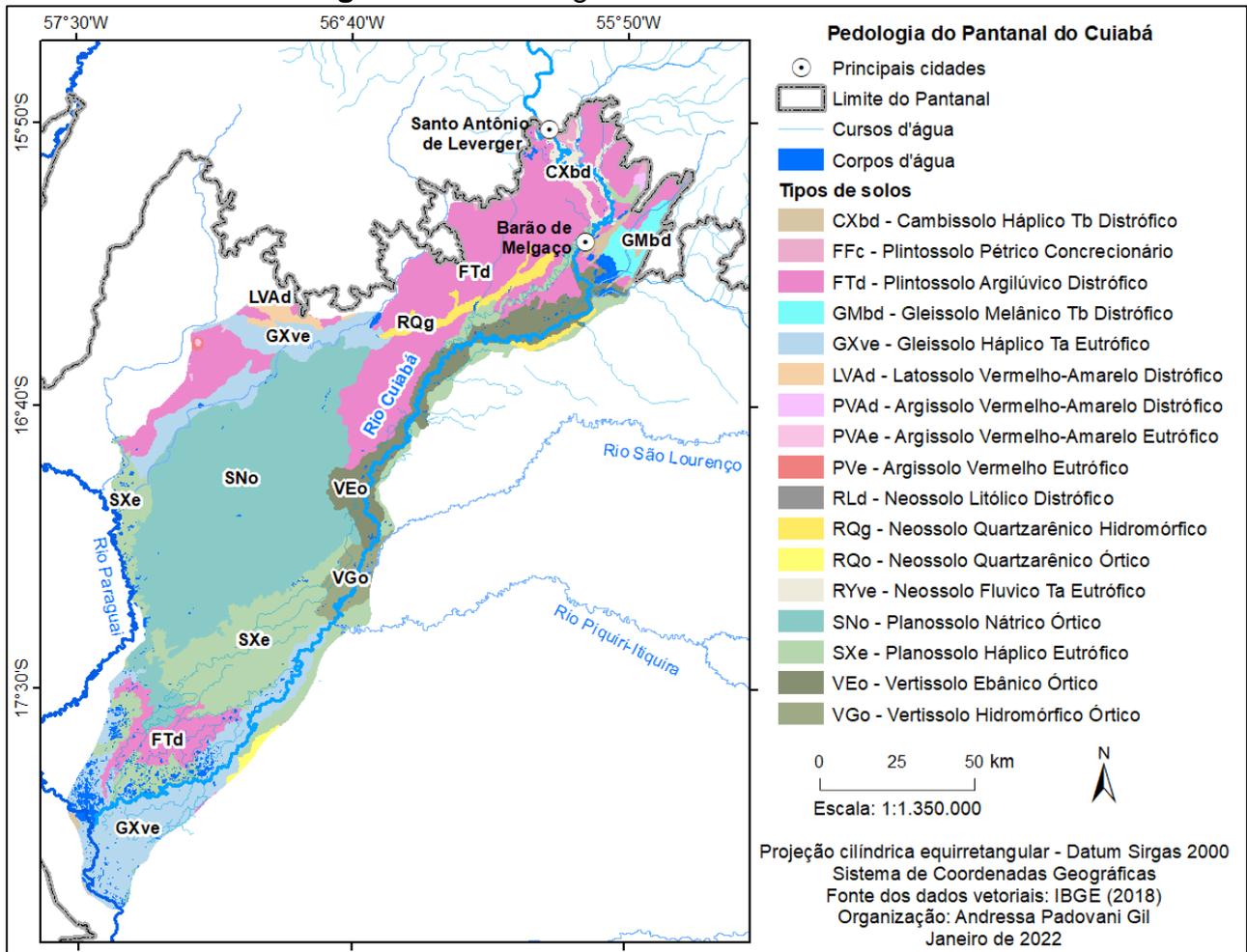
Discorrendo ainda sobre a relação entre declividade, hidrologia e solos no Pantanal, Couto *et al.* (2017) afirmam que:

As diferenças altimétricas, mesmo que de poucos centímetros, têm grande influência em termos pedológicos e ecológicos, determinando o período de inundação e seca das diferentes porções da paisagem. Algumas características dos solos também influenciam a marcha das águas nos processos de inundação (vertical ascendente ou descendente, pluvial ou de lençol). Estas diferenças resultam em variações nas formas e intensidades de expressão dos processos de hidromorfismo, presente em todos os solos do Pantanal. Mesmo nas partes mais elevadas, os solos podem apresentar sinais de hidromorfismo [...]. Assim, quase sempre, a distribuição das classes de solos está relacionada às pequenas variações de relevo observadas (COUTO *et al.*, 2017, p. 317).

A Figura 19 apresenta as classes de solos presentes no Pantanal do Cuiabá. Observa-se uma grande variação na tipologia de solos da planície, com destaque para os mais expressivos: Planossolo Nátrico Órtico, ocupando 28,05% da área; Plintossolo Argilúvico Distrófico, ocupando 24,79% da área; Planossolo Háptico Eutrófico, ocupando 15,85% da área; Gleissolo Háptico Ta Eutrófico, ocupando 13,38%; Vertissolo Ebânico

Órtico, ocupando 6,28% da área e os demais solos que ocupam menos de 3% da área, como se observa na Figura 19.

**Figura 19 - Pedologia do Pantanal do Cuiabá.**



**Fonte:** Elaborado pela autora.

O Planossolo Nátrico Órtico concentra-se no Pantanal do Poconé, à margem direita do rio Cuiabá, e o Planossolo Háptico Eutrófico ocorre no Pantanal margeando os principais rios. Planossolos são solos minerais, hidromórficos, imperfeitamente ou mal drenados, geralmente possuem alta concentração de argila, permeabilidade lenta ou muito lenta. Suas características naturais favorecem a abrangência periódica anual de excesso de água (EMBRAPA, 2018). Nos Planossolos Nátricos o excesso de sódio trocável dispersa as argilas, diminui a permeabilidade e dificulta a penetração das raízes no solo (LEPSCH, 2010). Tais características conferem a esses solos baixa permeabilidade e infiltração,

predominando os processos de escoamento superficial e contribuindo para as inundações do Pantanal.

O Plintossolo Argilúvico Distrófico concentra-se no norte do Pantanal, próximo ao rio Cuiabá logo quando ele entra na planície; e num trecho mais a jusante, próximo a sua foz com o rio Paraguai. São solos minerais, hidromórficos ou com sérias restrições de drenagem, apresentando horizonte plíntico. Nos períodos de estiagem, o lençol freático baixa significativamente mas o solo permanece úmido internamente, garantindo uma boa quantidade de água disponível durante todo o ano (OLIVEIRA *et al.*, 2017). O caráter argilúvico e mal drenado do solo evidencia que a infiltração é baixa, predominando processos de escoamento superficial e contribuindo para as inundações do Pantanal.

O Gleissolo Háptico Ta Eutrófico ocorre margeando o baixo curso do rio Cuiabá até sua foz no rio Paraguai. Gleissolos são comuns nas áreas baixas e úmidas, saturadas com água por período suficiente para que o ferro seja reduzido, removido e o solo torne-se descolorido, com colorações cinzas. São, portanto, mal drenados e de baixa fertilidade natural (LEPSCH, 2010). Couto *et al.* (2017) evidenciam que os Gleissolos são muito importantes no ambiente pantaneiro e estão associados principalmente às planícies atuais dos grandes rios e às áreas de inundação permanente. São solos encharcados, de baixa e lenta infiltração e que contribuem com o escoamento superficial, favorecendo as inundações do Pantanal.

O Vertissolo Ebânico Órtico ocorre margeando o rio Cuiabá em seu trecho médio no Pantanal. São solos minerais com horizonte vértico e granulometria normalmente argilosa ou muito argilosa, de coloração escura e desenvolvidos normalmente em ambientes de bacias sedimentares (como no caso do Pantanal) ou a partir de sedimentos com predomínio de materiais de granulometria fina. Em termos de drenagem, podem variar de imperfeitamente a mal drenados, tendo permeabilidade muito lenta quando úmidos (EMBRAPA, 2018). As características desse solo evidenciam o caráter inundado do Pantanal nessa área de entorno do rio Cuiabá e contribuem para as inundações, possuindo baixa infiltração e predominando o escoamento superficial.

De maneira geral, os solos da bacia hidrográfica do rio Cuiabá, no planalto, se dividem entre a predominância dos processos de infiltração e de escoamento superficial. Há locais em que ocorre predominância de infiltração, porém, a classe de Plintossolos Pétricos Concrecionários, como mencionado, possui pouca espessura e se desenvolve

sobre rochas de baixa permeabilidade, o que pode limitar sua capacidade de infiltração. Por outro lado, no Pantanal do Cuiabá, todos os solos analisados que compõe a maior parte da área possuem predominância dos processos de escoamento superficial, por serem solos naturalmente mais finos, úmidos e bem drenados, que permanecem úmidos ou encharcados por grande período, contribuindo para as inundações locais.

#### 4.2.1. Morfometria da bacia hidrográfica do rio Cuiabá e do Pantanal do Cuiabá

Além da caracterização ambiental da bacia hidrográfica analisando seus elementos naturais como solo, geologia e geomorfologia, foram traçados alguns parâmetros morfométricos que serão apresentados a seguir.

A bacia hidrográfica do rio Cuiabá possui uma área de aproximadamente 28.628,96 km<sup>2</sup>, com perímetro de 1.317,96 km; enquanto o Pantanal do Cuiabá possui uma área de 17.136,90 km<sup>2</sup> e perímetro de 920,65 km. O rio Cuiabá possui um comprimento total de aproximadamente 932,78 km, sendo 371,18 km percorridos na bacia hidrográfica, totalizando 39,79% e 561,60 km percorridos no Pantanal, totalizando 60,21%. Observa-se que a área da bacia hidrográfica, no planalto, possui uma área maior que o Pantanal do Cuiabá, porém o rio percorre um trecho maior no Pantanal que na bacia hidrográfica. A Figura 20 apresenta o perfil longitudinal do rio Cuiabá, e as alturas atingidas pelo rio Cuiabá nas principais cidades: Cuiabá, Santo Antônio de Leverger e Barão de Melgaço.

**Figura 20** - Perfil longitudinal do rio Cuiabá.

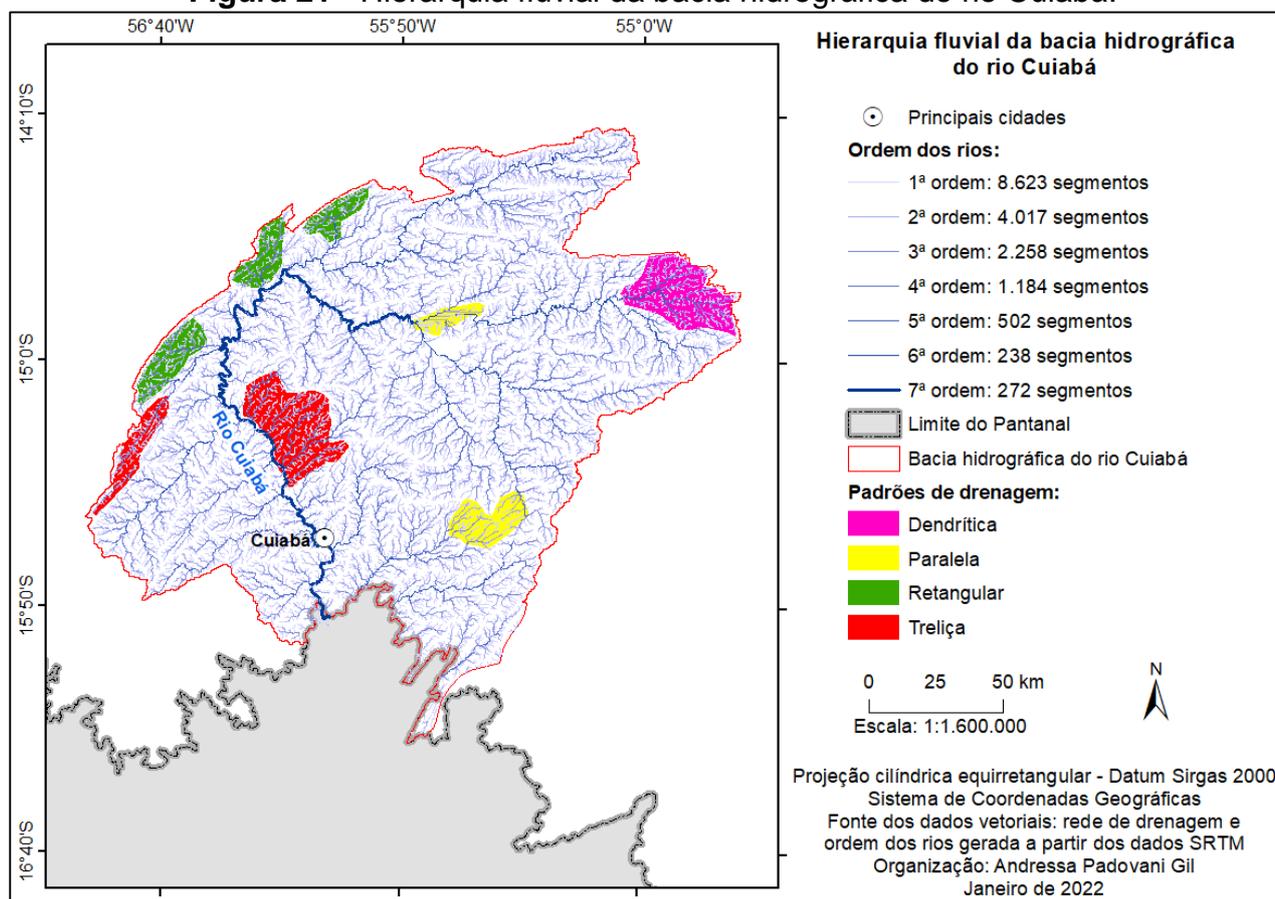


Fonte: Google Earth (2021).

A classificação hierárquica da rede fluvial proposta por Strahler (1957) foi aplicada à bacia hidrográfica, que apresentou um total de 7 ordens, sendo de sétima ordem os rios Manso e Cuiabá, a partir da confluência deste com o primeiro. A Figura 21 apresenta o mapa de hierarquia fluvial para a bacia hidrográfica do rio Cuiabá, juntamente com a

quantidade de segmentos de rio obtida para cada ordem. Observa-se na bacia hidrográfica a predominância de rios de 1ª ordem, com 50,44%; seguido dos rios de 2ª ordem com 23,50% de predominância.

**Figura 21 - Hierarquia fluvial da bacia hidrográfica do rio Cuiabá.**



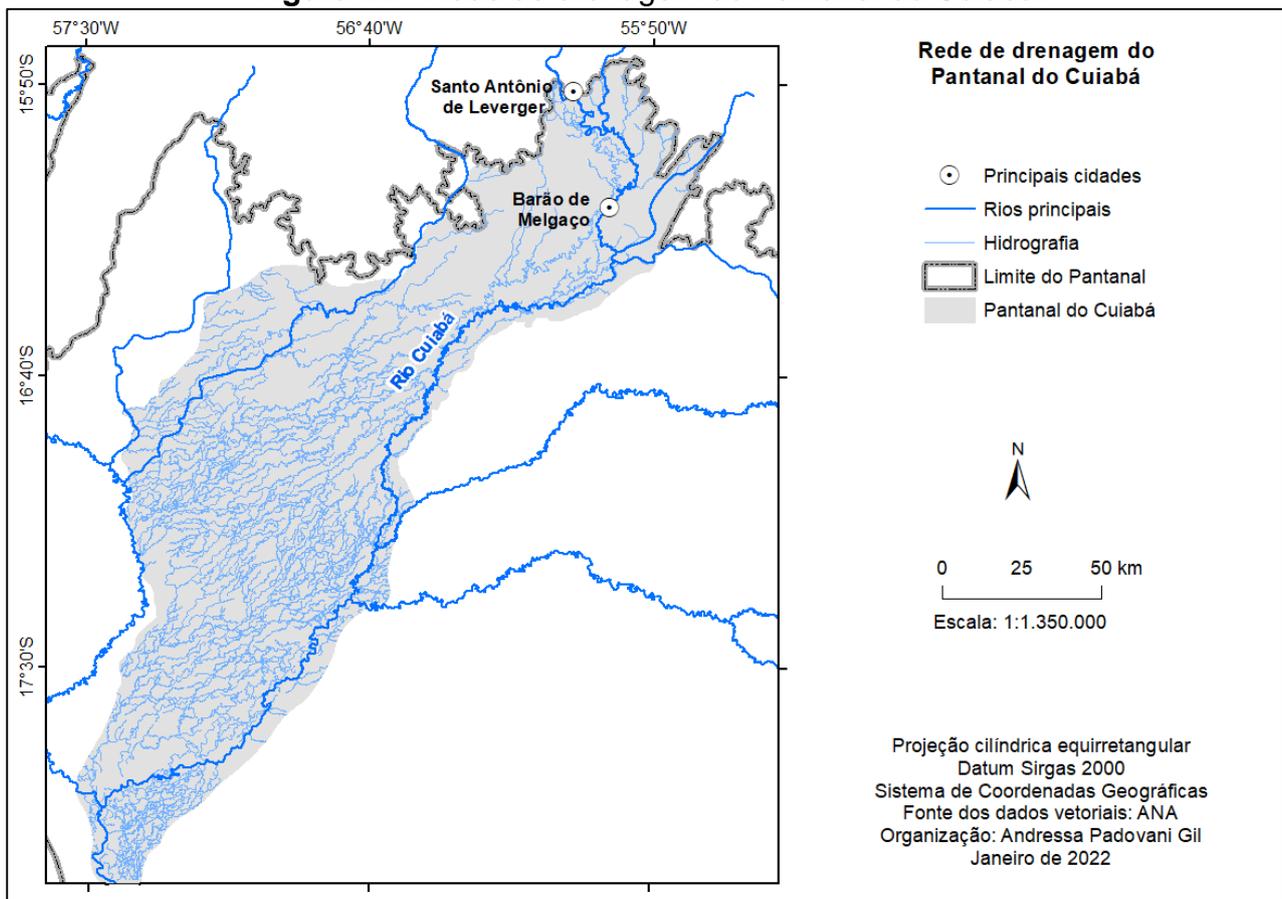
**Fonte:** Elaborado pela autora.

Os padrões de drenagem apresentam-se distintos, com forte tendência a um paralelismo nos cursos d'água por conta de alguns controles estruturais promovidos pelo relevo local, em alguns trechos. A classificação dos padrões de drenagem varia de autor para autor, desde classificações mais fundamentais até as mais complexas (CHRISTOFOLETTI, 1980). Considerando então os tipos básicos propostos por Christofolletti (op. cit.), é possível observar na bacia hidrográfica os padrões detrítico, paralelo, treliça e retangular, além de padrões irregulares espalhados pela área da bacia hidrográfica, como se observa também na Figura 21.

Quanto a hierarquia fluvial do Pantanal do Cuiabá, o modelo de ordem dos rios gerado pelos dados SRTM não apresentou bons resultados, visto que a planície pantaneira

se caracteriza pelas declividades muito baixas e os dados de relevo não conseguem gerar um traçado adequado da rede de drenagem. Foi analisado, portanto, o padrão de drenagem do Pantanal do Cuiabá, utilizando-se do plano de informações de cursos d'água da ANA, onde predominam os canais paralelos, como se observa na Figura 22. No leque do rio Cuiabá, na área entre este e o rio Paraguai, os canais assumem formatos diversos e irregulares, entretanto com a mesma feição alongada no sentido NE-SO.

**Figura 22 - Rede de drenagem do Pantanal do Cuiabá.**



**Fonte:** Elaborado pela autora.

A densidade de drenagem da bacia hidrográfica do rio Cuiabá é de 0,76 km/km<sup>2</sup>, atribuindo-lhe uma baixa densidade de drenagem segundo a interpretação de Nardini *et al.* (2013) adaptada de Horton (1945), Strahler (1957) e França (1968), sobre a qual predominariam processos de infiltração. Entretanto, como visto no item de caracterização da área de estudo, a litologia da bacia hidrográfica do rio Cuiabá favorece o predomínio de processos de escoamento superficial, enquanto os solos variam entre os processos de escoamento e de infiltração, com maior predominância para o escoamento.

Já a densidade de drenagem para o Pantanal do Cuiabá apresentou um valor ainda mais baixo (0,55 km/km<sup>2</sup>), enquadrando a região na mesma categoria, onde haveria predominância de infiltração. É importante frisar, entretanto, conforme discutido por Collischonn e Dornelles (2013), que a densidade de drenagem depende da escala do mapa e da forma que é gerada a rede de drenagem para cálculo da mesma, sendo seus valores sujeitos a erros consideráveis. Além disso, os autores afirmam que as comparações desses valores para diferentes bacias hidrográficas só são razoáveis quando os mapas se utilizam da mesma metodologia, o que não é este caso: o mapa da hidrografia da bacia hidrográfica do rio Cuiabá foi gerado a partir de dados SRTM, e o mapa de hidrografia do Pantanal foi utilizado da base de dados da ANA.

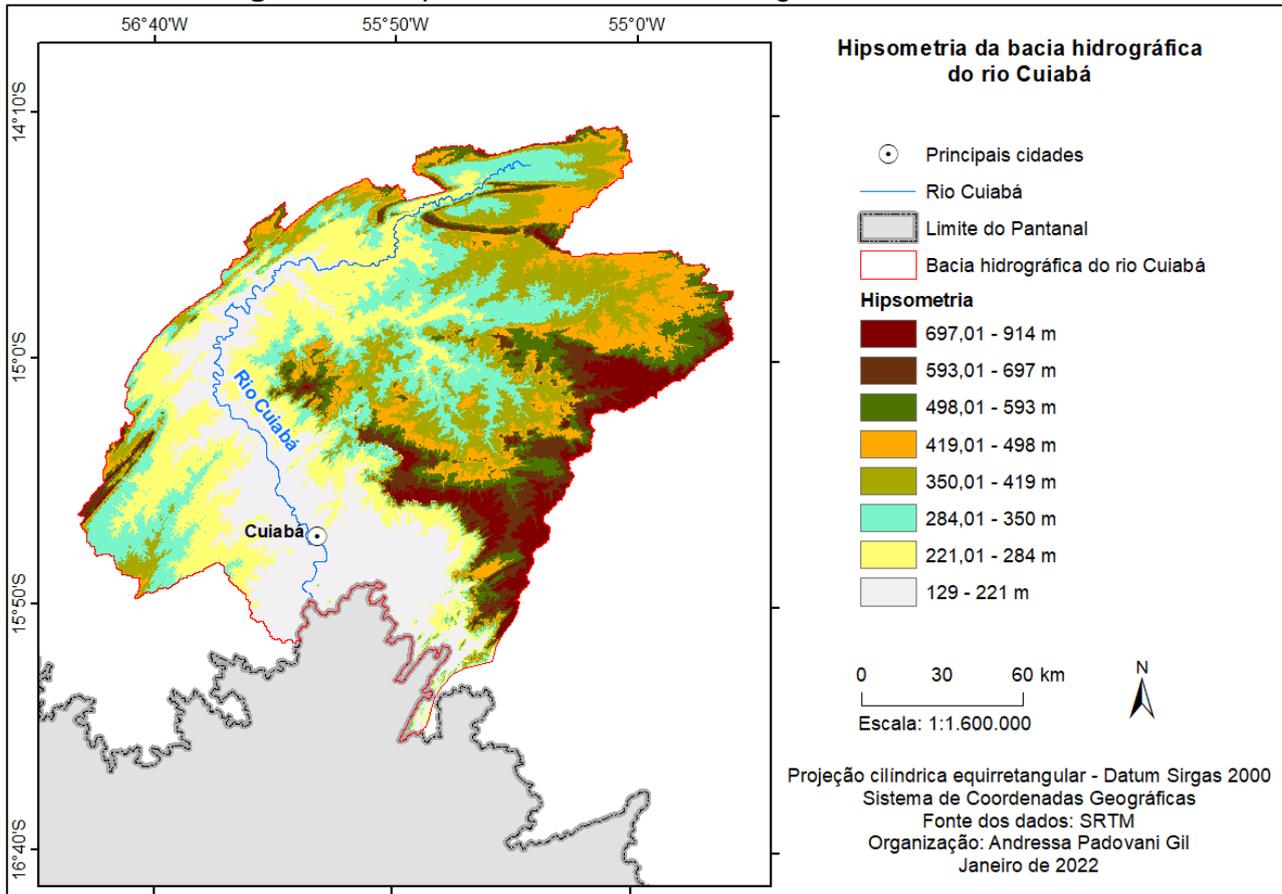
Além disso, este índice não é apropriado para análise do Pantanal, visto que depende da soma do comprimento total dos canais que na planície pantaneira não se encontram totalmente mapeados. As condições hidrológicas extremamente dinâmicas, a presença de diversos paleocanais e canais intermitentes (reativados no período de cheias) e as baixas declividades não oferecem bases de dados confiáveis quanto ao número e tamanho dos canais existentes. Alterações naturais no traçado (formato) dos cursos d'água são bastante comuns a cada novo evento de chuva e inundação, podendo haver ativação de novos canais e/ou abandono de outros, o que requereria uma atualização constante das bases de dados.

Pela análise areal da bacia hidrográfica do rio Cuiabá, os valores de coeficiente de compacidade (2,18), fator de forma (0,21) e índice de circularidade (0,2) da bacia hidrográfica do rio Cuiabá evidenciam seu formato mais comprido, com baixa tendência a inundações. Para o Pantanal do Cuiabá, o coeficiente de compacidade (1,97), fator de forma (0,05) e índice de circularidade (0,25) também evidenciam o formato mais cumprido da área, o que influenciaria numa baixa tendência a inundações. Entretanto, esses parâmetros areais que consideram o formato da bacia hidrográfica não influenciam na inundação do Pantanal, onde os fatores altimétricos e pedológicos são mais relevantes para os processos hidrológicos locais.

Quanto aos parâmetros hipsométricos, para a bacia hidrográfica do rio Cuiabá obteve-se uma amplitude altimétrica de 785 metros, com altitude mínima de 129 metros, máxima de 914 metros e média de 521,5 metros. As áreas mais altas se concentram principalmente na porção leste da bacia hidrográfica, na região da Chapada dos Guimarães,

e as áreas mais baixas na região da Depressão Cuiabana, como pode se observar na Figura 23. O índice de rugosidade da bacia hidrográfica é de 596,6, indicando maiores declividades e dissecação do relevo.

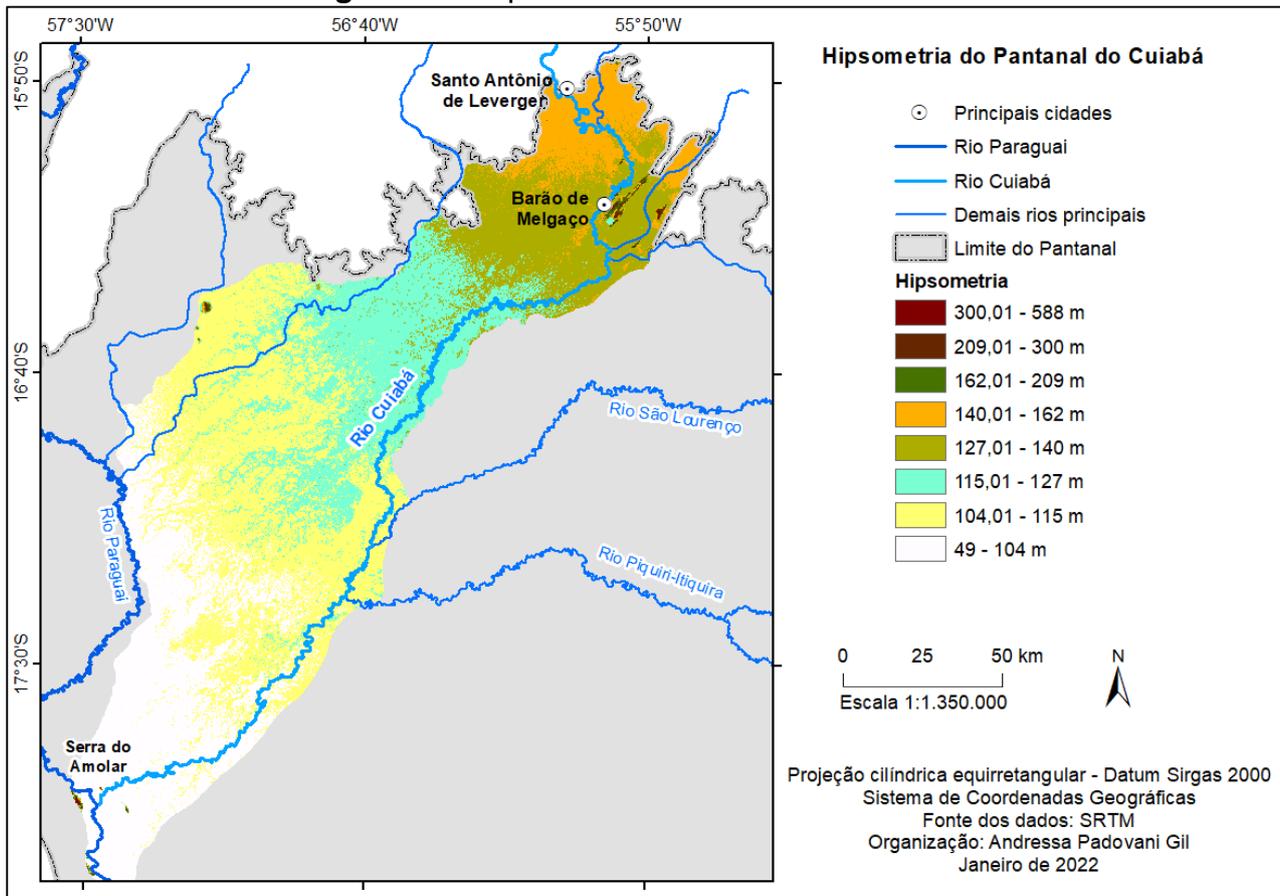
**Figura 23 - Hipsometria da bacia hidrográfica do rio Cuiabá.**



**Fonte:** Elaborado pela autora.

No Pantanal do Cuiabá, as altitudes variam de 49 a 588 metros, considerando as maiores altitudes da serra próxima à cidade de Barão de Melgaço (MT), no norte da área, e a Serra do Amolar, no extremo sul da área. Tirando essas duas elevações mais expressivas, observa-se, na Figura 24, que a altitude da área varia de 49 a 162 metros, decaindo suave e gradativamente na direção sudoeste. Considerando essas altitudes, a amplitude altimétrica do Pantanal do Cuiabá é de 113 metros, e a altitude média é 105,5 metros, valores bem mais baixos que a bacia hidrográfica do rio Cuiabá, no planalto. O índice de rugosidade é de 62,15, indicando menores declividades que a bacia hidrográfica, e refletindo seu relevo mais plano.

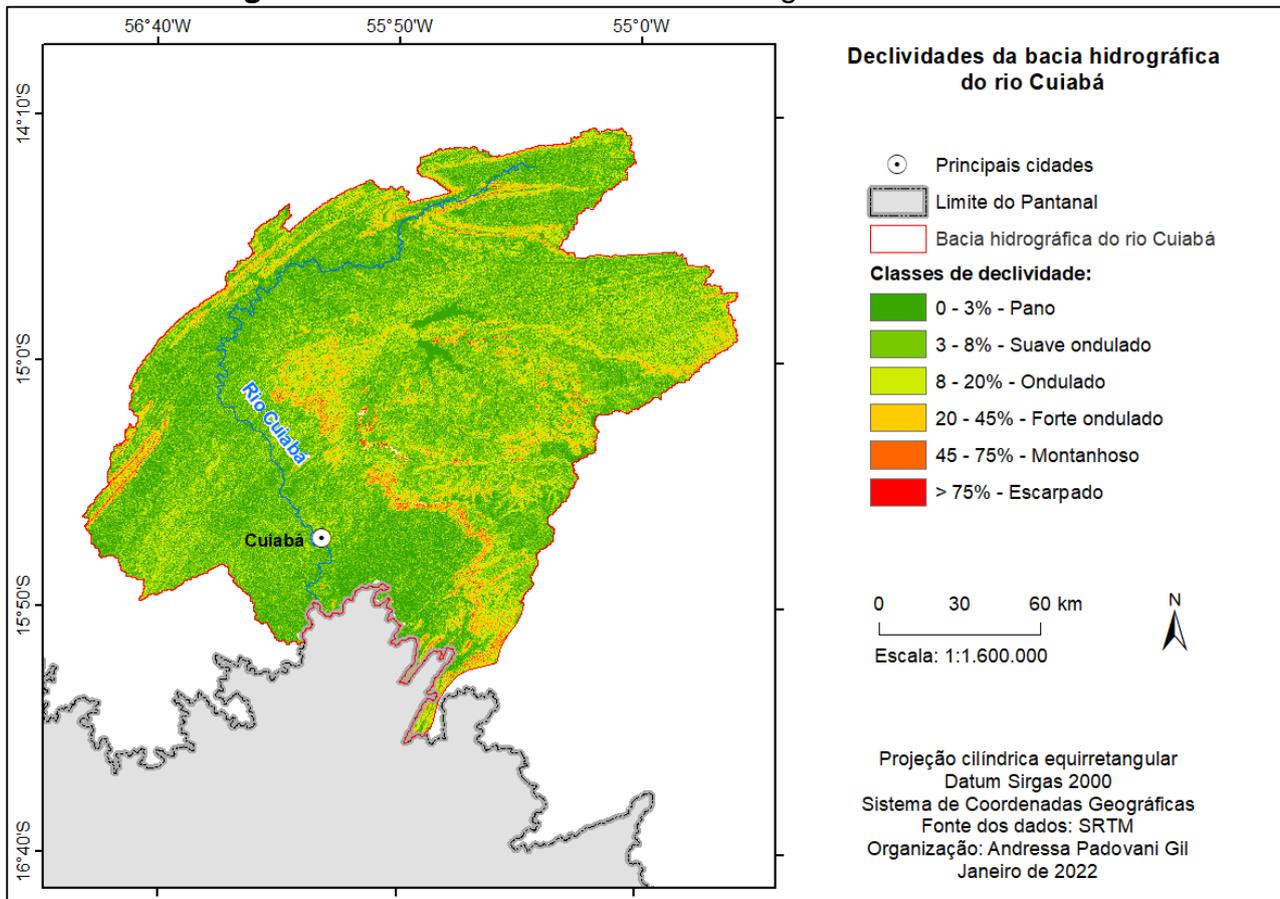
**Figura 24 - Hipsometria do Pantanal do Cuiabá.**



**Fonte:** Elaborado pela autora.

Quanto à declividade, seguindo a classificação da Embrapa (2018) foram divididas em 6 classes: de 0 a 3% de declividade considerado plano, de 3 a 8% suave ondulado, de 8 a 20% ondulado, de 20 a 45% forte ondulado, de 45 a 75% montanhoso e acima de 75% escarpado. Observa-se na Figura 25 que na bacia hidrográfica do rio Cuiabá predominam as declividades suave ondulado e ondulado, com alguns locais de forte ondulado, montanhoso e escarpado juntamente às áreas de maior altitude, nas bordas da Chapada dos Guimarães e da Província Serrana. As áreas planas da bacia hidrográfica correspondem principalmente a faixa da Depressão Cuiabana.

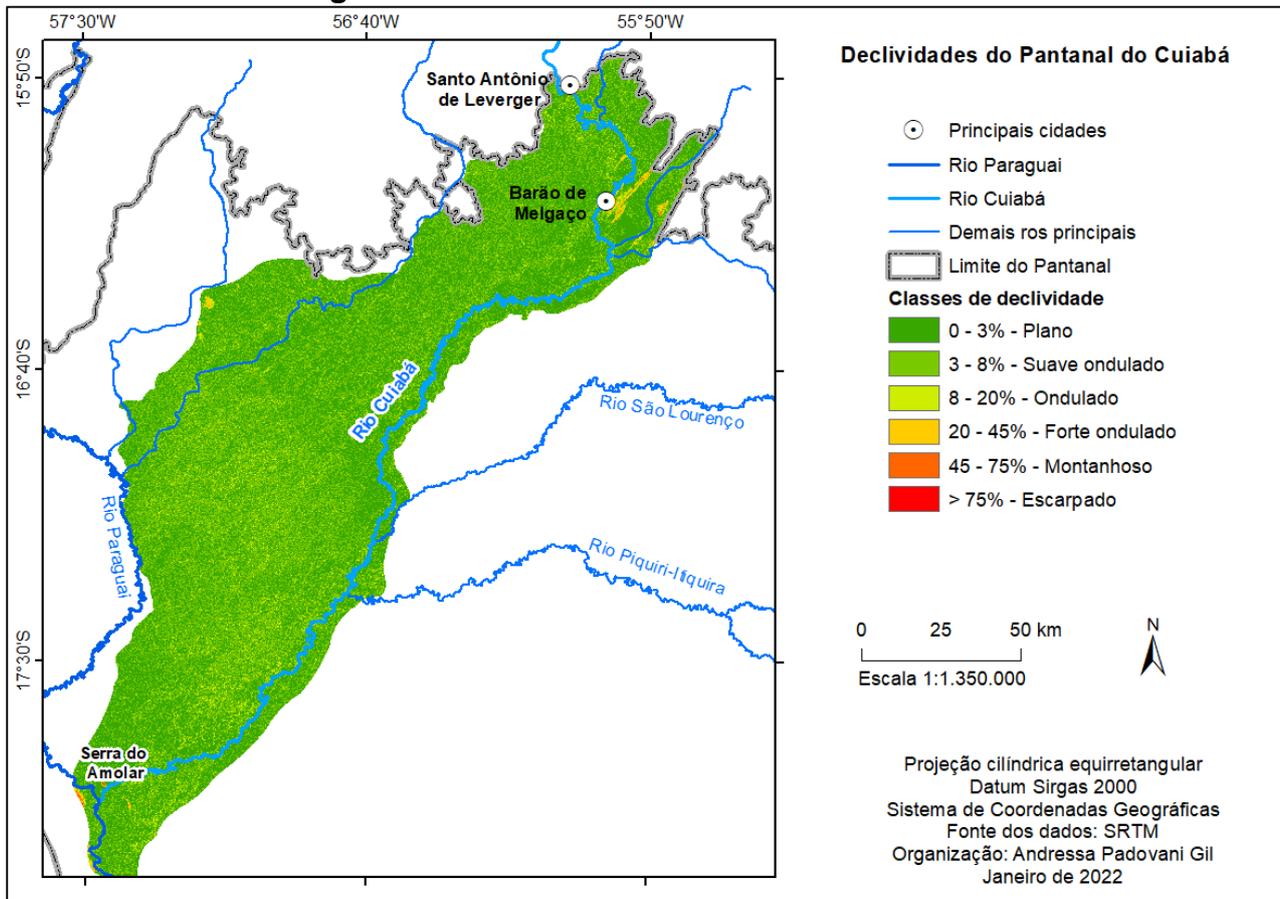
**Figura 25 - Declividades da bacia hidrográfica do rio Cuiabá.**



**Fonte:** Elaborado pela autora.

Já no Pantanal do Cuiabá predominam as classes de plano a suave ondulado, com declividades de até 8%. Alguns setores apresentam relevo de classificação forte ondulado ou acima, nas mesmas áreas de maior altitude apresentadas na Figura 24: na serra próxima a Barão de Melgaço (MT), norte da área; e na Serra do Amolar, entre Cáceres (MT) e Corumbá (MS), extremo sul da área, como se observa na Figura 26.

**Figura 26 - Declividades do Pantanal do Cuiabá.**



**Fonte:** Elaborado pela autora.

O gradiente de canais da bacia hidrográfica do rio Cuiabá é de 2,46%, enquanto para o Pantanal do Cuiabá o valor é de 0,29%, indicando a diferença da declividade dos canais entre os dois compartimentos pelos quais o rio Cuiabá percorre, sendo que na bacia encontram-se maiores declividades.

A diferença de altitude entre a bacia hidrográfica e o Pantanal do Cuiabá e a diferença da declividade do rio Cuiabá nos dois setores é bastante expressiva, e essa característica é importante para a geomorfologia do Pantanal e suas inundações. Como já abordado anteriormente na caracterização da área, essas condições propiciam a formação de megaleques fluviais, bastante comuns no Pantanal, sendo o megaleque do rio Cuiabá o segundo maior do Pantanal.

A Tabela 6 apresenta a compilação dos parâmetros morfométricos apresentados e discutidos neste item.

**Tabela 6 - Parâmetros morfométricos da área de estudo.**

Parâmetro	Bacia hidrográfica do rio Cuiabá	Pantanal do Cuiabá
	Areal	
Área	28.628,96 km <sup>2</sup>	17.136,90 km <sup>2</sup>
Perímetro	1.317,966 km	920,656 km
Coeficiente de compacidade (Kc)	2,18	1,97
Densidade de drenagem (Dd)	0,76 km/km <sup>2</sup>	0,55 km/km <sup>2</sup>
Fator de forma (Ff)	0,21	0,05
Índice de circularidade (Ic)	0,2	0,25
	Hipsométrico	
Altitude máxima	914 m	162 m
Altitude média	521,5 m	105,5 m
Altitude mínima	129 m	49 m
Amplitude altimétrica	785 m	113 m
Índice de rugosidade	596,6	62,15
	Linear	
Comprimento do rio Cuiabá	371,18 km	561,60 km
Gradiente de canais	2,46 %	0,29 %

**Fonte:** Organizada pela autora.

### 4.3 Precipitação e vazão

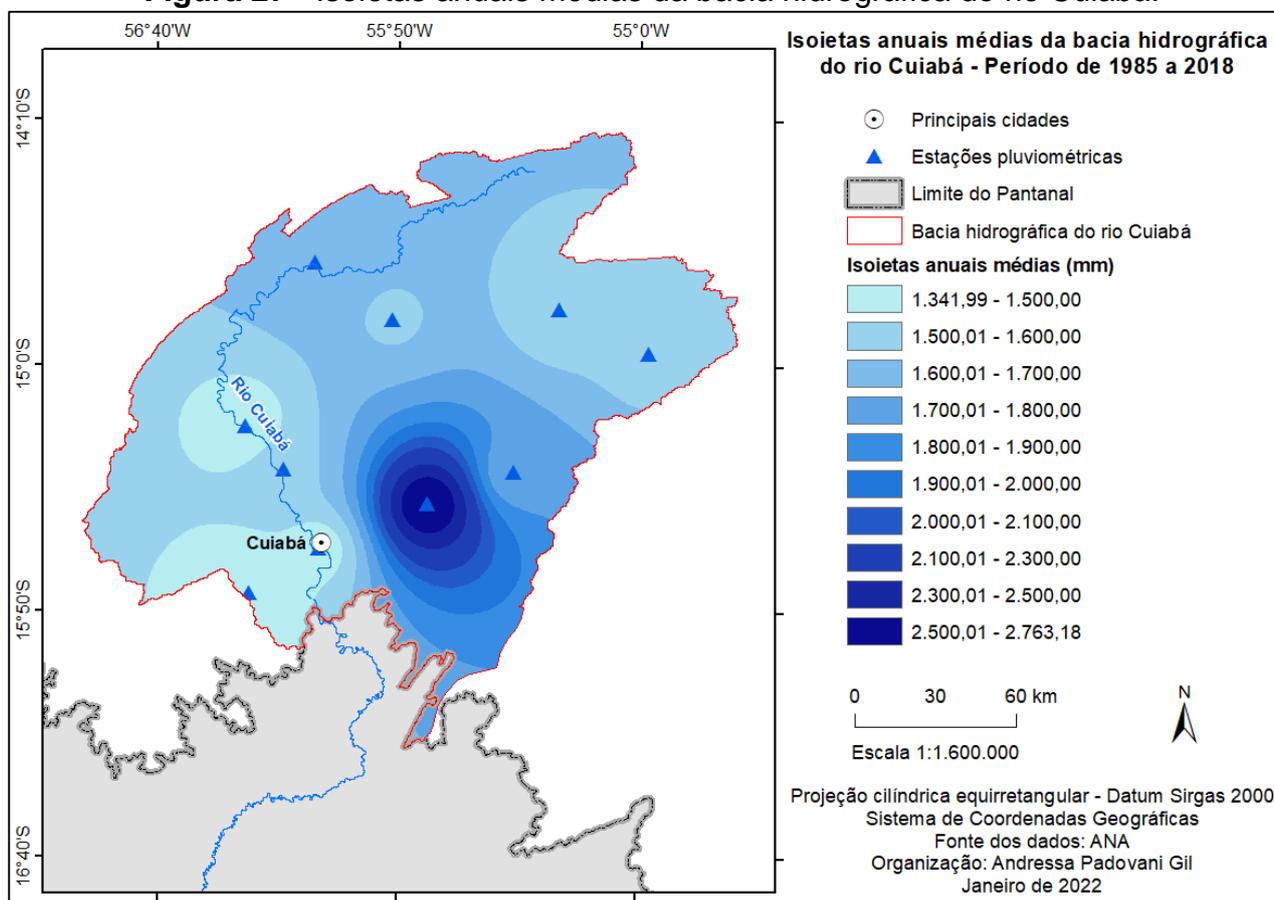
Para analisar as inundações na área de estudo, faz-se necessário identificar o clima e o regime de precipitação, visto que influenciam diretamente na entrada de água do sistema hidrológico. De maneira geral, observa-se que a bacia hidrográfica do rio Cuiabá registra maiores precipitações que o Pantanal, e as maiores temperaturas são registradas nas partes mais baixas da bacia hidrográfica e no Pantanal. A vazão do rio Cuiabá apresenta o comportamento típico dos principais rios da BAP: no planalto, em suas cabeceiras, apresentam aumento de vazão no sentido de montante à jusante; e no Pantanal, apresentam decréscimo de vazão de montante à jusante por conta das perdas de água para a planície por extravasamento do rio e perdas por evapotranspiração.

O clima da bacia hidrográfica do rio Cuiabá pela classificação de Köppen é do tipo Aw (Tropical Chuvoso), com dois períodos chuvoso (outubro a abril) e seco (maio a setembro) bem definidos. O trimestre mais chuvoso corresponde de dezembro a fevereiro, concentrando 60% da precipitação anual, sendo janeiro o mês de maior acúmulo de precipitação. O trimestre mais seco corresponde a junho a agosto, sendo agosto o mês com menor acúmulo (CHIARANDA *et al.*, 2016).

Segundo os dados coletados junto à ANA, a precipitação média anual para o período 1985 a 2018 na bacia hidrográfica do rio Cuiabá varia de 1.341 mm a 2.763 mm, como se

observa na Figura 27, o mapa das isoietas para a bacia hidrográfica do rio Cuiabá. Os maiores acumulados de chuva se situam na porção leste e sudeste da bacia hidrográfica, diminuindo em direção à noroeste, nordeste e sudoeste. É importante notar que o maior valor de precipitação, acima dos 2.000 mm, ocorre na unidade geomorfológica da Chapada dos Guimarães, que registra também as maiores cotas altimétricas da bacia hidrográfica, acima dos 600 m. Camargo (2011) no Atlas de Mato Grosso também destacou a ação da altitude no aumento da precipitação desta região, indicando a ocorrência de chuvas orográficas.

**Figura 27 - Isoietas anuais médias da bacia hidrográfica do rio Cuiabá.**



**Fonte:** Elaborado pela autora.

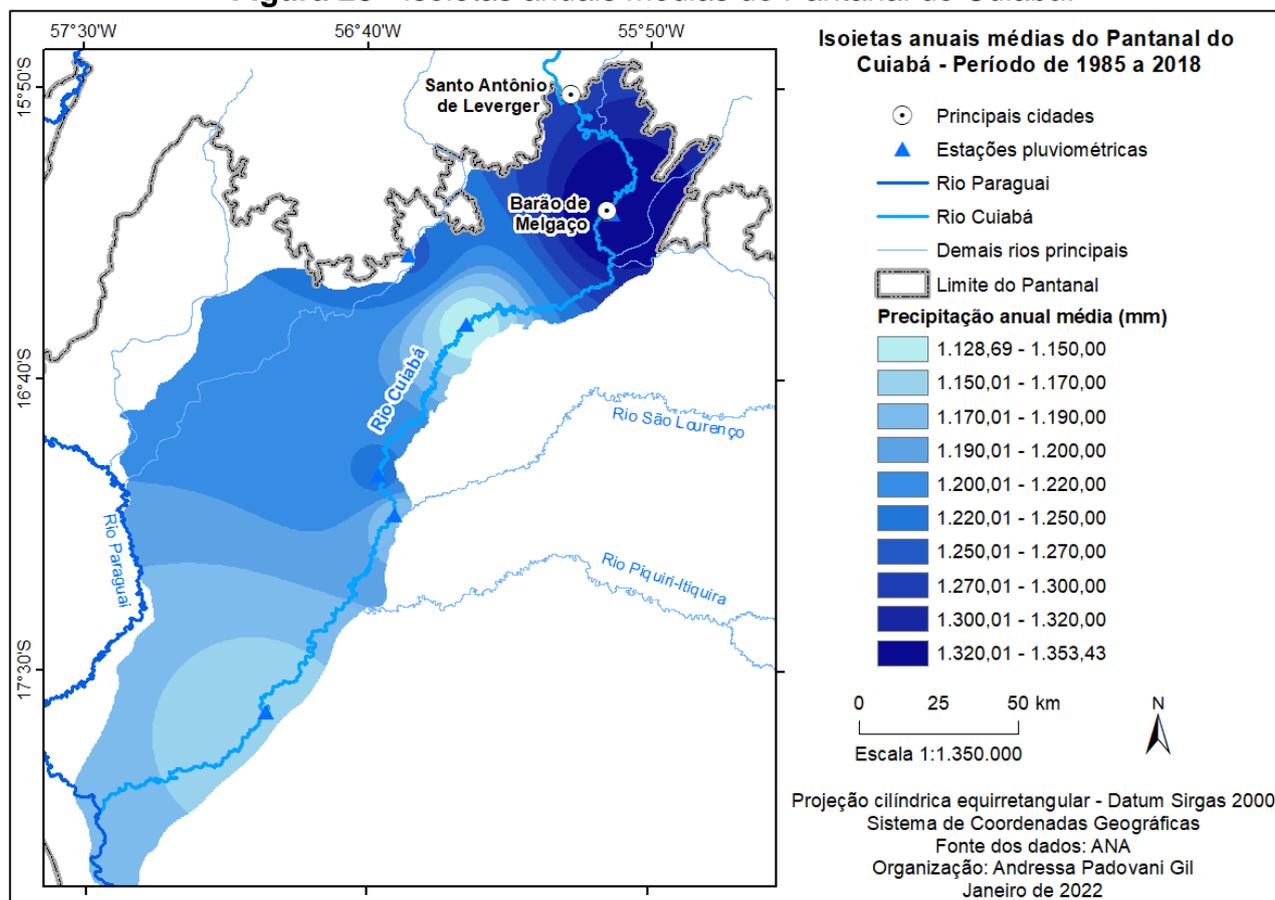
Menores valores de precipitação média anual são encontrados na porção nordeste e sudoeste da bacia hidrográfica, até 1.600 mm, e os valores mínimos até 1.341 mm se encontram na região mais ao sul, em direção ao Pantanal. Sobre o leito do rio Cuiabá, a precipitação varia de 1.341 mm a 1.600 mm, da nascente até a área em que este adentra o Pantanal.

A temperatura média anual da bacia hidrográfica varia de 22°C a 25°C, apresentando correlação inversa com a altitude: as maiores médias de temperatura ocorrem na região da Depressão Cuiabana, em menores altitudes, e diminuem gradativamente em direção à Chapada dos Guimarães com o aumento da altitude (BRASIL, 1997; MUSIS, 1997; CHIARANDA *et al.*, 2016).

A região do Pantanal do Cuiabá também se enquadra no clima Tropical Chuvoso - Aw de Köppen e registra menores valores de precipitação anual média, variando entre 1.128 mm a 1.353 mm. Isso evidencia o fato de que o maior input de água no sistema do Pantanal provém do planalto, onde nascem os rios e onde ocorrem maiores índices pluviométricos.

Como se observa na Figura 28, os maiores valores de precipitação, acima de 1.250 mm, são registrados na porção norte e nordeste da área, no primeiro trecho do rio Cuiabá dentro do Pantanal. Logo a jusante dessa área de maior pluviosidade se encontra os menores valores registrados, no entorno da estação Porto Cercado, atingindo a cota de 1.128 mm. Em direção ao sul, no trecho médio do Pantanal do Cuiabá, os valores de precipitação sobem ligeiramente atingindo até 1.200 mm e voltam a decair para jusante, atingindo a cota máxima de 1.190 mm no trecho final do rio Cuiabá. Interessante notar que o decaimento geral da precipitação nessa região ocorre no sentido sudoeste, comportamento semelhante ao decaimento de altitude da área, como apresentado na Figura 24.

**Figura 28 - Isoietas anuais médias do Pantanal do Cuiabá.**



**Fonte:** Elaborado pela autora.

As temperaturas do Pantanal seguem o mesmo padrão médio da bacia hidrográfica do rio Cuiabá, variando de 22°C a 25°C. Muisi *et al.* (1997) destacam que é nítida a influência do relevo na temperatura local, pois a planície pantaneira apresenta temperaturas mais elevadas que a porção alta da BAP, sem, contudo, apresentar os valores exatos dessa diferença. Os autores apresentam ainda que a temperatura máxima média anual varia de 29°C a 32°C, ocorrendo na planície do Pantanal e no norte da região; e a máxima média mensal varia em torno de 28°C a 34°C no Pantanal.

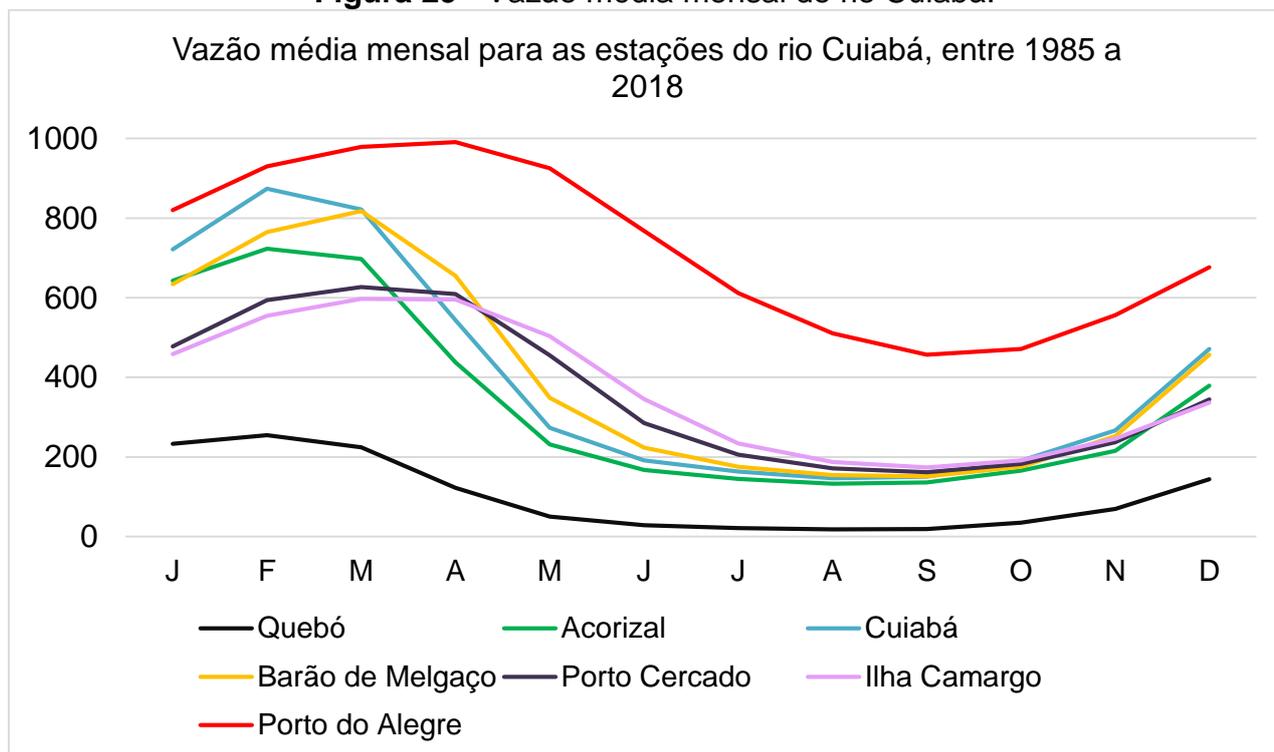
Além das altas temperaturas, a umidade relativa do ar do Pantanal é de 82% (MARCUIZZO *et al.*, 2010). A evapotranspiração da BAP é bastante expressiva, por conta da presença do Pantanal, com grandes superfícies úmidas e alagadas, associadas a elevadas temperaturas: cerca de 85% da precipitação que incide na região sofre evapotranspiração (BRASIL, 2006). O Caderno da Região Hidrográfica do Paraguai apresenta que, no quesito da disponibilidade hídrica da BAP:

[...] a vazão específica conta com um valor considerado baixo, pois, apesar da abundância de água oriunda da região do planalto, a região do Pantanal não é produtora de água, resultado da baixa contribuição da região do Pantanal ao escoamento superficial e pela verificação da ocorrência de perda de água por evapotranspiração (BRASIL, 2006, p. 32).

Na porção norte do Pantanal, a contribuição dos tributários que descem do planalto corresponde a cerca de 72% das vazões que chegam ao rio Paraguai, sendo que o alto e médio Cuiabá contribuem com 20% dessas vazões (BRASIL, 2006).

Por conta das características naturais de baixa declividade do Pantanal, a planície se comporta como um grande reservatório que retém a maior parte da água oriunda da região do planalto, regularizando a vazão do rio Paraguai em até cinco meses entre as vazões de entrada e saída. Por este motivo, os períodos de maiores ou menores vazões do rio Paraguai e seus tributários variam, e os rios localizados na região sul da planície apresentam picos de vazão com uma defasagem do período de chuvas.

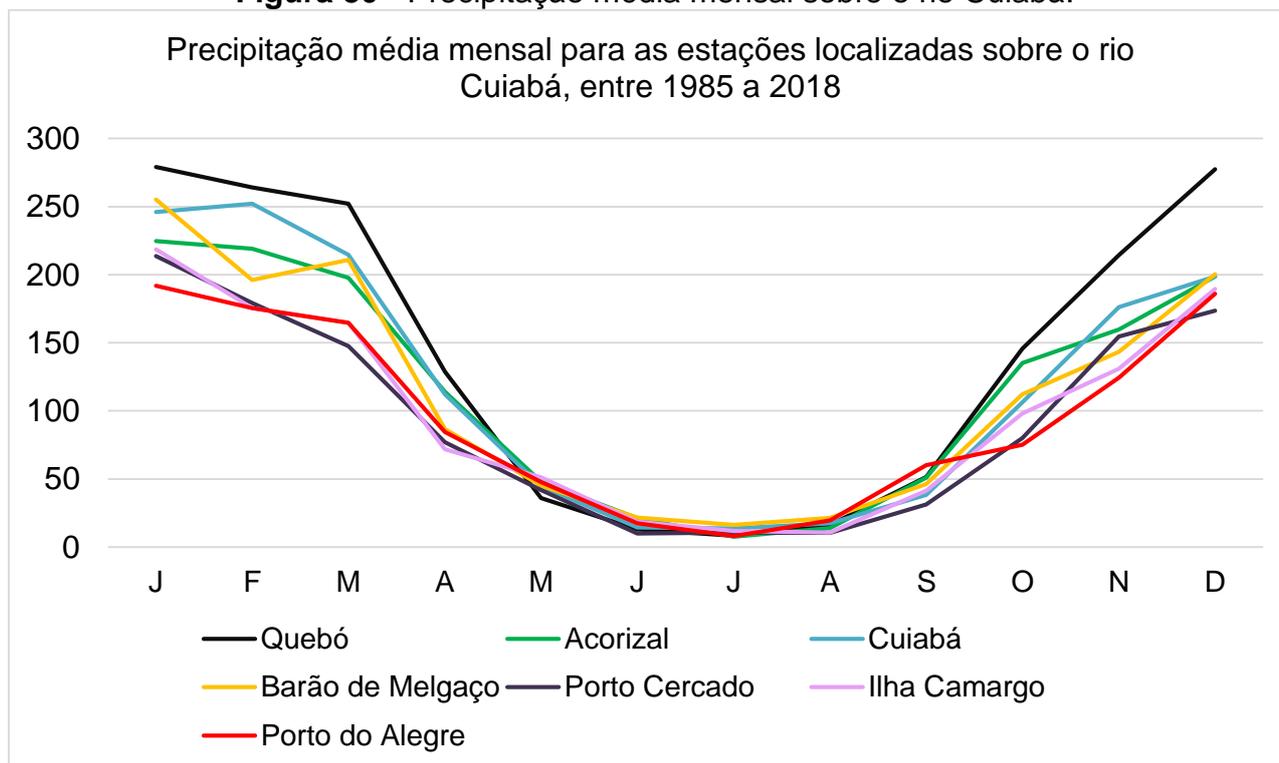
Importante notar o comportamento das vazões ao longo do perfil longitudinal do rio Cuiabá, apresentado na Figura 29. No planalto, de montante a jusante o Cuiabá tem sua vazão progressivamente aumentada: estações Quebó - Acorizal - Cuiabá. Já no Pantanal, de montante a jusante, corre a progressiva diminuição dos valores de vazão média nas estações: Barão de Melgaço - Porto Cercado - Ilha Camargo. Este comportamento só é alterado na última estação, Porto Alegre, que apresenta um aumento na vazão do rio, pois neste trecho recebe água dos afluentes São Lourenço e Piquiri-Itiquira.

**Figura 29 - Vazão média mensal do rio Cuiabá.**

**Fonte:** Organizado pela autora, com dados coletados de ANA (2019).

Merece destaque também os valores de vazão das estações Porto Cercado e Ilha Camargo, no Pantanal, que apresentam menor amplitude de vazão média mensal, atenuando o pico de cheias e retardando a inundação da planície por mais tempo.

A Figura 30 apresenta o comportamento de precipitação média mensal para essas mesmas estações. Observa-se que no período chuvoso (outubro a abril) existe uma diminuição progressiva da precipitação de montante para jusante, registrando maiores valores nas estações do planalto (Quebó - Acorizal - Cuiabá) do que nas estações do Pantanal (Barão de Melgaço - Porto Cercado - Ilha Camargo - Porto do Alegre).

**Figura 30** - Precipitação média mensal sobre o rio Cuiabá.

**Fonte:** Organizado pela autora, com dados coletados de ANA (2019).

No primeiro trimestre do ano, em janeiro de março a estação Barão de Melgaço, localizada no Pantanal, atinge valores de precipitação maiores que da estação Acorizal, localizada no planalto, o que configura uma importante contribuição hídrica para a região da planície. Essa precipitação, contudo, como se observa na Figura 30, decai em direção a jusante atingindo menores valores nas últimas estações.

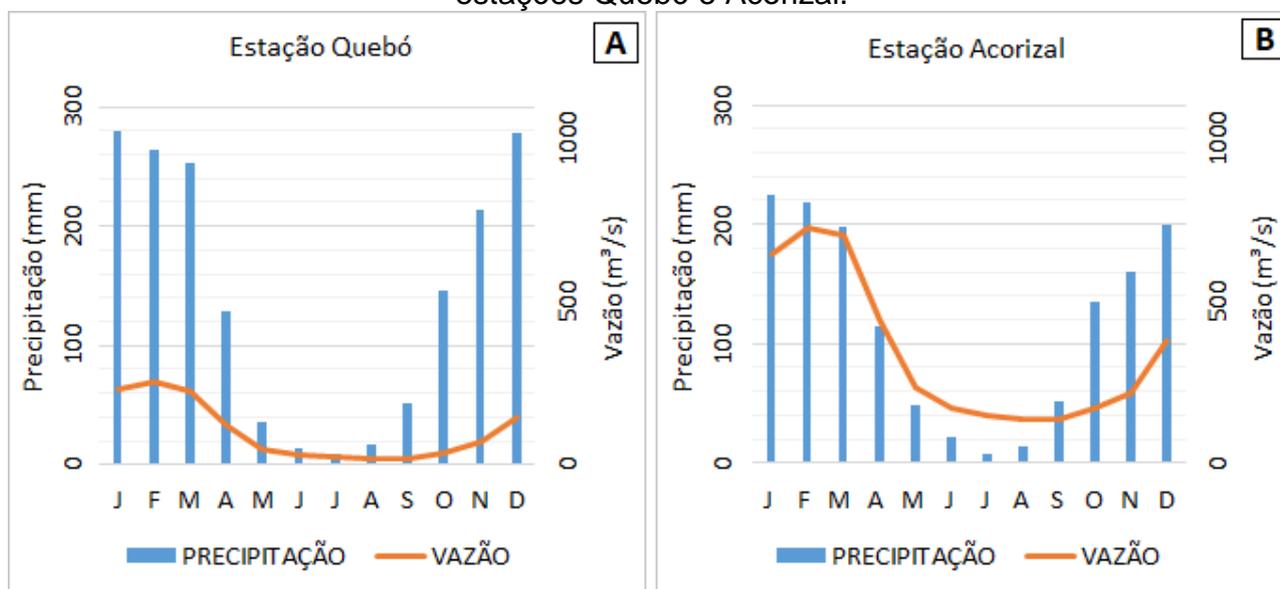
#### 4.3.1 Correlação entre precipitação e vazão

A seguir serão apresentadas as correlações realizadas para as estações seguindo a ordem de montante para jusante, da estação Quebó até a Porto do Alegre, a fim de compreender como essa resposta vai se alterando em direção ao Pantanal.

Vale ressaltar que as três primeiras estações se localizam na região do planalto, na bacia hidrográfica do rio Cuiabá (Quebó, Acorizal e Cuiabá) e as próximas quatro estações são no Pantanal do Cuiabá (Barão de Melgaço, Porto Cercado, Ilha Camargo e Porto do Alegre). Importante informar que os valores dos eixos de precipitação e vazão foram fixados para todos os histogramas apresentados nas Figuras 31 a 33, a fim de compará-los melhor.

A Figura 31 A apresenta os valores médios mensais de precipitação e vazão do rio Cuiabá para a estação Quebó. O pico de vazão média mensal registrada nesse período foi de 249,93 m<sup>3</sup>/s em fevereiro, configurando uma resposta rápida à precipitação da região, que se concentra entre dezembro a março. A vazão decai em comportamento similar à precipitação, com menores valores nos meses de junho a setembro. Importante notar também que a amplitude de vazão média mensal nesta estação é pequena, variando de 18,53 m<sup>3</sup>/s até 249,93 m<sup>3</sup>/s. A precipitação média mensal varia de 8,09 mm, em julho, a 283,69 mm, em dezembro.

**Figura 31** - Precipitação e vazão média mensal no período de 1986 a 2018 para as estações Quebó e Acorizal.



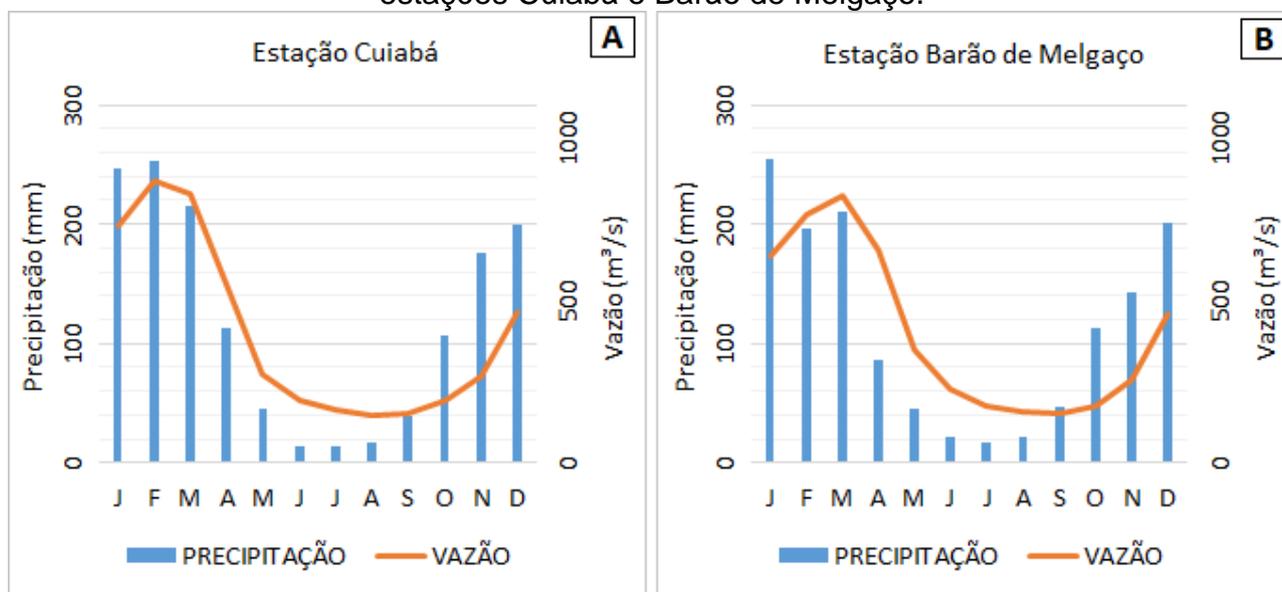
**Fonte:** Organizado pela autora, com dados coletados de ANA (2019).

A Estação Acorizal, apresentada na Figura 30 B, registra valores mais elevados de vazão média mensal e também uma maior amplitude entre o menor e maior valor médio mensal, que varia de 132,39 m<sup>3</sup>/s (agosto) para 724,65 m<sup>3</sup>/s. Assim como na estação Quebó, nesta o pico de vazão permanece ainda no mês de fevereiro, e o período de concentração de precipitação entre dezembro a março. Os valores médios de precipitação variam de 6,82 mm em julho a 226,18 mm em janeiro.

A Figura 32 A apresenta os dados para a última estação localizada no planalto: a estação Cuiabá. Nesta, o pico de vazão média mensal segue no mesmo período das estações anteriores, registrado em fevereiro (874,12 m<sup>3</sup>/s), enquanto agosto registra o valor

mais baixo (146,81 m<sup>3</sup>/s), apresentando uma amplitude de vazão ainda maior que na estação anterior. A precipitação média varia de 8,3 mm em julho a 213,37 mm, em fevereiro.

**Figura 32** - Precipitação e vazão média mensal no período de 1986 a 2018 para as estações Cuiabá e Barão de Melgaço.



**Fonte:** Organizado pela autora, com dados coletados de ANA (2019).

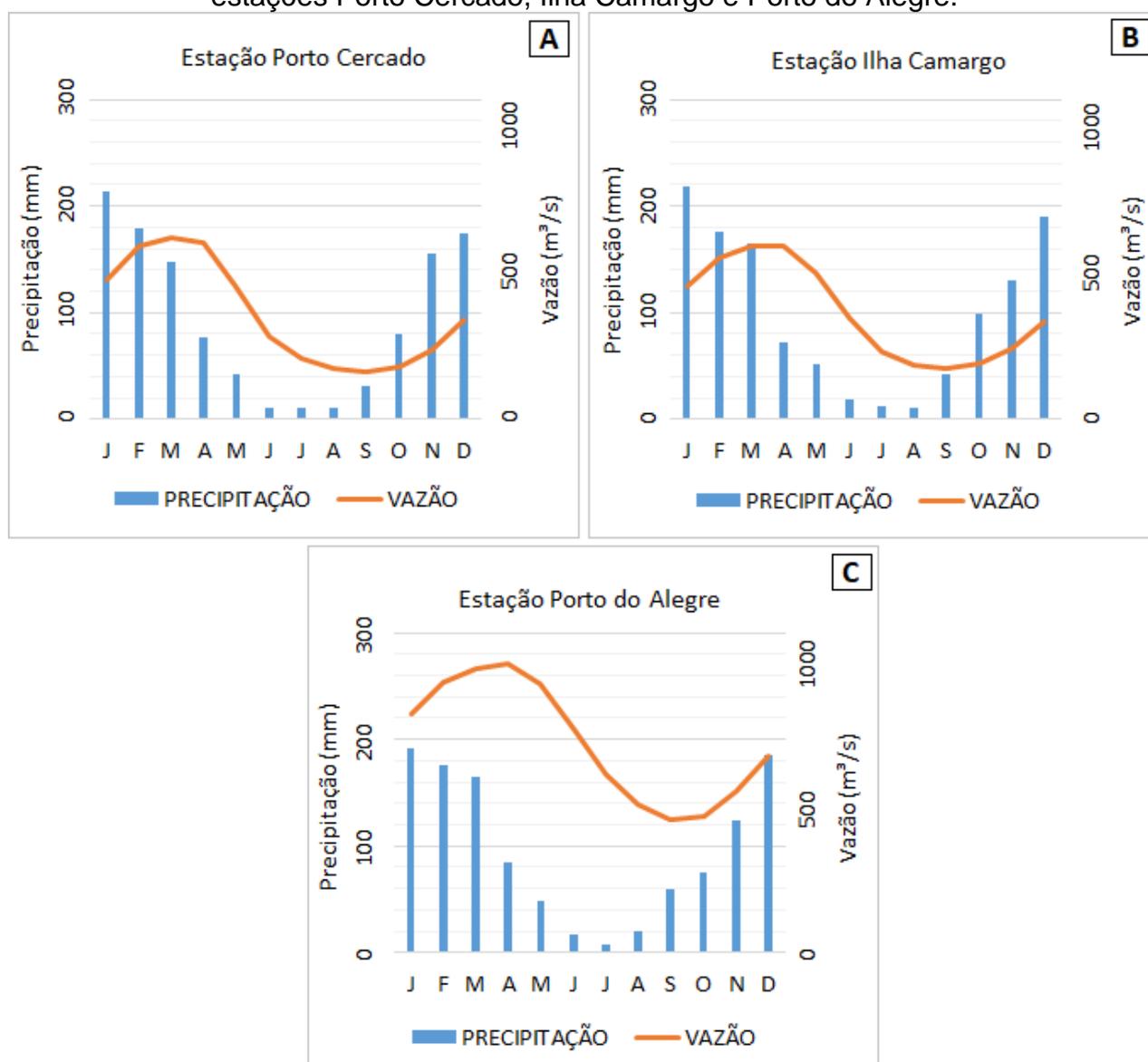
As próximas estações a serem apresentadas localizam-se no Pantanal, nas quais se observa o decréscimo gradual nos valores de precipitação e vazão. Como já apresentado anteriormente, as altas temperaturas da planície e a presença de grandes áreas úmidas e alagadas contribuem com a evapotranspiração: no período de abril a outubro, a evapotranspiração excede a precipitação, e ocorre um déficit pronunciado nos meses de junho a agosto (MUSIS *et al.*, 1997).

A Figura 32 B apresenta os dados da estação Barão de Melgaço, no Pantanal. Observa-se que ao adentrar no Pantanal, o pico de vazão do rio Cuiabá que vinha sendo registrado em fevereiro passa a ser registrado em março (805,78 m<sup>3</sup>/s), sendo que o período de maior precipitação continua sendo dezembro a março, sem alterações. O menor valor de vazão média mensal é registrado também um mês depois que a estação a montante, em setembro (149,73 m<sup>3</sup>/s). Quanto a precipitação, o menor valor médio mensal registrado foi de 12,05 mm em julho, sendo mais elevado que os valores registrados nas estações anteriores; e o maior valor médio foi de 252,31 mm, em janeiro.

O atraso em um mês do pico de vazão do rio Cuiabá pode ser explicado pelas baixas declividades da planície pantaneira, fazendo com que as águas precipitadas na região levem mais tempo para escoar para o leito do rio, além de atrasar a chegada das águas de cheia de montante.

A estação Porto Cercado (Figura 33 A) registra valores de vazão média mensal mais baixos que a estação à montante, Barão de Melgaço, apresentada anteriormente. O pico de vazão média mensal para ambas ocorre no mês de março, sendo que na estação Barão de Melgaço registra-se o valor de 805,78 m<sup>3</sup>/s e na Porto Cercado, 632,99 m<sup>3</sup>/s. O valor mais baixo das médias mensais nesta estação é de 159,77 m<sup>3</sup>/s, em setembro, configurando uma amplitude de vazão menos expressiva do que nas três estações imediatamente anteriores. Este fato pode ser observado na Figura 33 A, com o decaimento dos valores de vazão ligeiramente mais suave.

**Figura 33** - Precipitação e vazão média mensal no período de 1986 a 2018 para as estações Porto Cercado, Ilha Camargo e Porto do Alegre.



**Fonte:** Organizado pela autora, com dados coletados de ANA (2019).

Os valores médios mensais de precipitação se mantêm semelhantes, variando de 9,11 mm em julho a 208,35 mm em janeiro e com maior concentração entre dezembro a março. Por este motivo, a diminuição da vazão média mensal registrada neste ponto não seria motivada por menor entrada de precipitação, já que esta variável segue o mesmo padrão médio.

Uma explicação para essa diminuição seriam as possíveis perdas de água do leito do rio para a planície. Esse fato será observado e discutido mais adiante, ao apresentar a análise dos mapeamentos realizados pelo MNDWI.

O pico de vazão na estação Ilha Camargo (Figura 33 B) ocorre igualmente entre os meses de março e abril, com vazão média registrada de 595,09 m<sup>3</sup>/s e 595,25 m<sup>3</sup>/s, respectivamente, demonstrando nesta região uma possível permanência maior do pico de cheia. O valor mais baixo de vazão média mensal registrado é de 172,34 m<sup>3</sup>/s, em setembro, e a precipitação média mensal varia entre 11,58 mm em agosto a 216,86 em janeiro. Essa estação localiza-se a cerca de 12km de distância a montante do ponto onde o rio São Lourenço deságua no rio Cuiabá.

Entre a estação Ilha Camargo e a próxima estação, de Porto do Alegre, o rio Cuiabá recebe águas dos rios São Lourenço e Piquiri-Itiquira, o que tem repercussão direta nos valores de vazão média registrados nessa estação.

A Figura 33 C, da estação de Porto do Alegre, demonstra que a média de vazão nesse ponto apresenta um salto significativo, com valores variando de 461,09 m<sup>3</sup>/s, em setembro, a 982,29 m<sup>3</sup>/s, em março.

A precipitação média mensal permanece no mesmo padrão que nas estações anteriores, concentrando maiores valores entre dezembro a março. O maior valor médio mensal não ultrapassa 193,91 mm, sendo este o valor mais baixo de todas as estações. Portanto, podemos inferir que o aumento na vazão do rio Cuiabá não está necessariamente ligado a algum possível aumento na precipitação média dessa região, reforçando a ideia de que a vazão tem seus valores somados à descarga dos rios São Lourenço e Piquiri-Itiquira.

A Tabela 7 apresenta um resumo das informações do valor mais baixo e mais alto de precipitação e vazão média mensal registrados nas estações analisadas. Observa-se que os valores de médias mensais mais baixos de precipitação concentram-se no mês de julho, com apenas um registro em agosto, e apresentam menor valor na estação Acorizal, na região do planalto da BAP. Já os valores de médias mensais de precipitação mais altos concentram-se no mês de janeiro com um registro em dezembro, sendo mais expressivo o valor registrado na estação Quebó, localizada no alto curso do rio Cuiabá.

**Tabela 7 - Resumo das informações de precipitação e vazão média.**

Estação	Precipitação média mensal				Vazão média mensal			
	Mais baixo		Mais alto		Mais baixo		Mais alto	
	Valor	Mês	Valor	Mês	Valor	Mês	Valor	Mês
Quebó	8,37	7	279,08	1	18,27	8	254,35	2
Acorizal	7,67	7	224,78	1	132,63	8	697,57	3

Cuiabá	13,79	7	252,18	2	146,41	8	864,85	2
Barão de Melgaço	16,38	7	255,25	1	151,59	9	<b>818,07</b>	3
Porto Cercado	9,88	7	213,73	1	162,08	9	<b>627,08</b>	3
Ilha Camargo	10,73	8	218,67	1	173,86	9	<b>597,33</b>	3
Porto do Alegre	8,08	7	191,90	1	456,72	9	<b>991,22</b>	4

**Fonte:** Dados da ANA (2019), organizada pela autora.

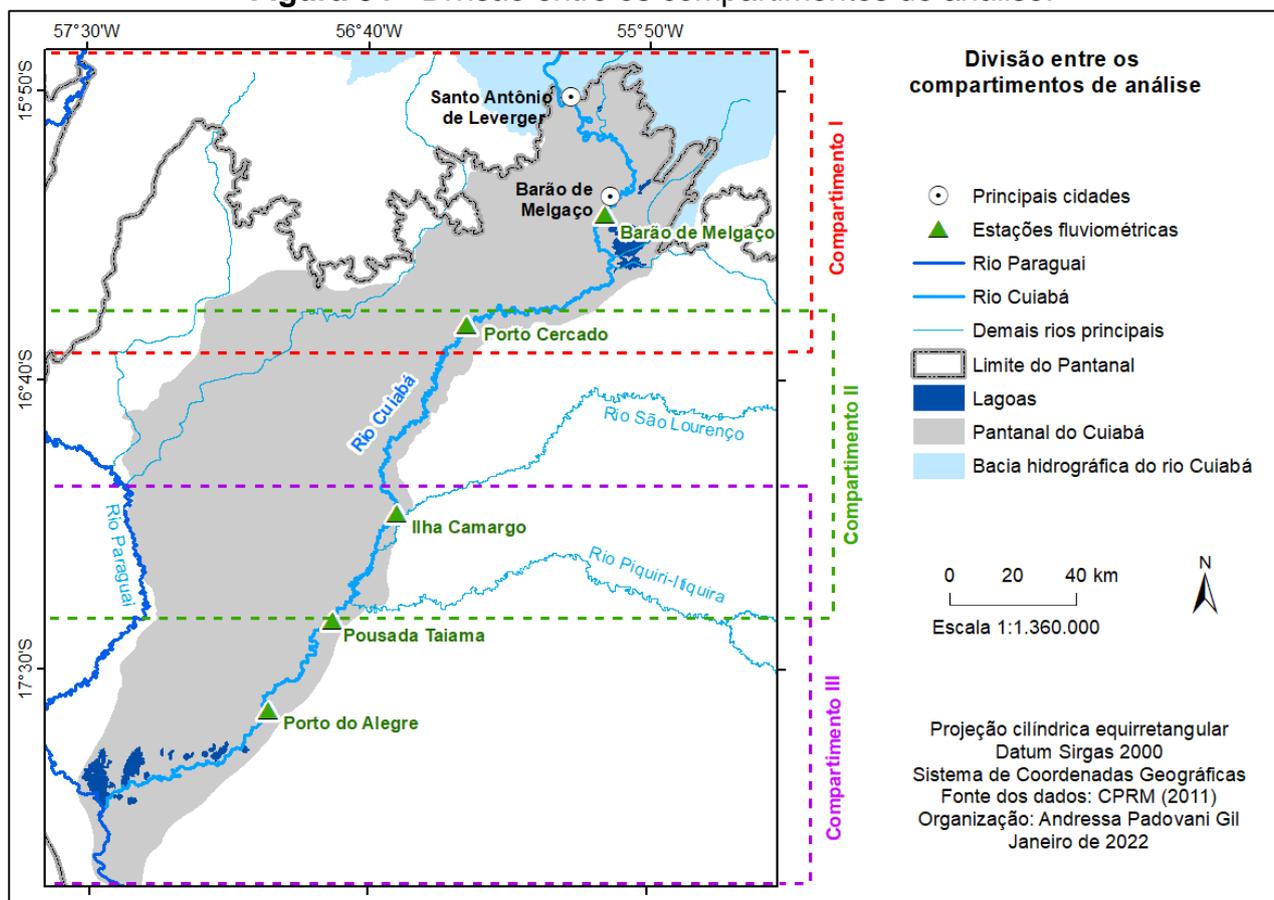
Os valores mais baixos de médias mensais de vazão concentram-se nos meses de agosto e setembro, sendo o menor valor localizado na primeira estação mais a montante (Quebó) e o maior valor na última estação a jusante (Porto do Alegre). Quanto aos valores de vazão média mensal mais altos, que são os que interessam para esta análise das inundações do Pantanal, observa-se como ocorre o atraso da onda de cheia de montante para jusante: nas primeiras estações no alto curso do rio, os valores mais altos concentram-se no mês de fevereiro, posteriormente em março e abril conforme o rio avança em seu médio e baixo curso.

É importante frisar mais uma vez o comportamento dos valores mais altos de vazão média mensal para as estações do Pantanal, destacados em negrito na Tabela 7. Da estação Barão de Melgaço em direção a montante, os valores diminuem nas próximas duas estações, Porto Cercado e Ilha Camargo, voltando a subir apenas na última estação, Porto do Alegre, comportamento este que será explorado e discutido adiante.

#### 4.4 Análise das inundações do rio Cuiabá no Pantanal do Cuiabá

O mapeamento das inundações do Pantanal do Cuiabá proporcionou informações importantes sobre a dinâmica hidrológica e o papel do rio Cuiabá nas inundações dessa região. A Figura 34 apresenta os compartimentos de análise que serão detalhados a seguir.

**Figura 34 - Divisão entre os compartimentos de análise.**



Fonte: Elaborado pela autora.

#### 4.4.1 Compartimento I - setor a montante

O primeiro compartimento de análise apresenta o trecho em que o rio Cuiabá entra no Pantanal, até as proximidades da estação fluviométrica Porto Cercado. Esse compartimento possui uma grande área inundada por extravasamento das águas do rio Cuiabá, e outras áreas cujo rio faz conexão por estreitos canais durante as cheias, mas não perde água para elas. A Figura 35 apresenta os corpos d'água em conectividade direta com o rio Cuiabá mapeados pelo MNDWI para as imagens da cena de montante. O círculo e setas vermelhos no mapa de fevereiro de 2017 (Figura 35) indicam pontos de quebra do *shape* de corpos d'água, causados pela cobertura de nuvens sobre a área.



É possível observar nos mapas apresentados na Figura 35 que a maioria das imagens obtidas com maior nível de inundação são referentes ao mês de março, com destaque para os anos de 1989, 1993, 1996 e 2002 que apresentaram maior inundação; e 2009 e 2016 com menor inundação. Esse comportamento já era esperado, considerando que o mês de março apresenta o pico de vazão do rio Cuiabá para esse trecho (estação fluviométrica Barão do Melgaço), como apresentado no item 4.3. Os meses de janeiro e fevereiro também apresentam inundações expressivas, como se observa nos mapas de janeiro de 1988 e fevereiro de 1989.

Ainda na Figura 35, interessante observar que o mapa que registrou maior inundação não coincide com o pico de cheia do rio dentro do período analisado como se esperaria. A inundação mais expressiva foi registrada em janeiro de 1988, ocasião em que o rio atingiu o nível de 500 cm; enquanto o pico de nível do rio ocorreu em março de 1989, atingindo 792 cm.

Comparando os dados hidrológicos mensais de precipitação total, nível e vazão médios da estação Barão de Melgaço para o último trimestre desses eventos de inundação, é possível observar na Tabela 8 que em março de 1989 todas as variáveis hidrológicas apresentavam valor mais elevado, mesmo que a inundação de janeiro de 1988 tenha sido maior.

**Tabela 8** - Comparação entre os dados hidrológicos na estação Barão de Melgaço.

	Inundação de 17/01/1988			Inundação de 24/03/1989		
	Nov/87	Dez/87	Jan/88	Jan/89	Fev/89	Mar/89
Precipitação total mensal (mm)	63,40	320,90	211,70	299,50	249,70	350,70
Nível médio mensal (cm)	313	534	658	590	653	698
Vazão média mensal (m <sup>3</sup> /s)	211,714	614,726	946,213	750,302	925,25	1077,18

**Fonte:** Dados da ANA (2019), organizada pela autora.

A precipitação total acumulada no trimestre para a inundação de janeiro de 1988 foi 596 mm, enquanto a precipitação total acumulada para a inundação de março de 1989 foi 899,90 mm. Os dados de nível e vazão do rio para cada mês também se apresentaram maiores para o evento de inundação de 1989. Considerando que a maior precipitação, nível e vazão do rio nos meses anteriores à data mapeada possam contribuir para o

encharcamento do solo do Pantanal e conseqüentemente com a inundação, ainda não se explica por que em janeiro de 1988 a inundação foi maior que a de março de 1989. Isso indica a possibilidade de existirem outros fatores que contribuem com as inundações, que devem ser investigados e levados em conta em estudos das inundações desse trecho do Pantanal.

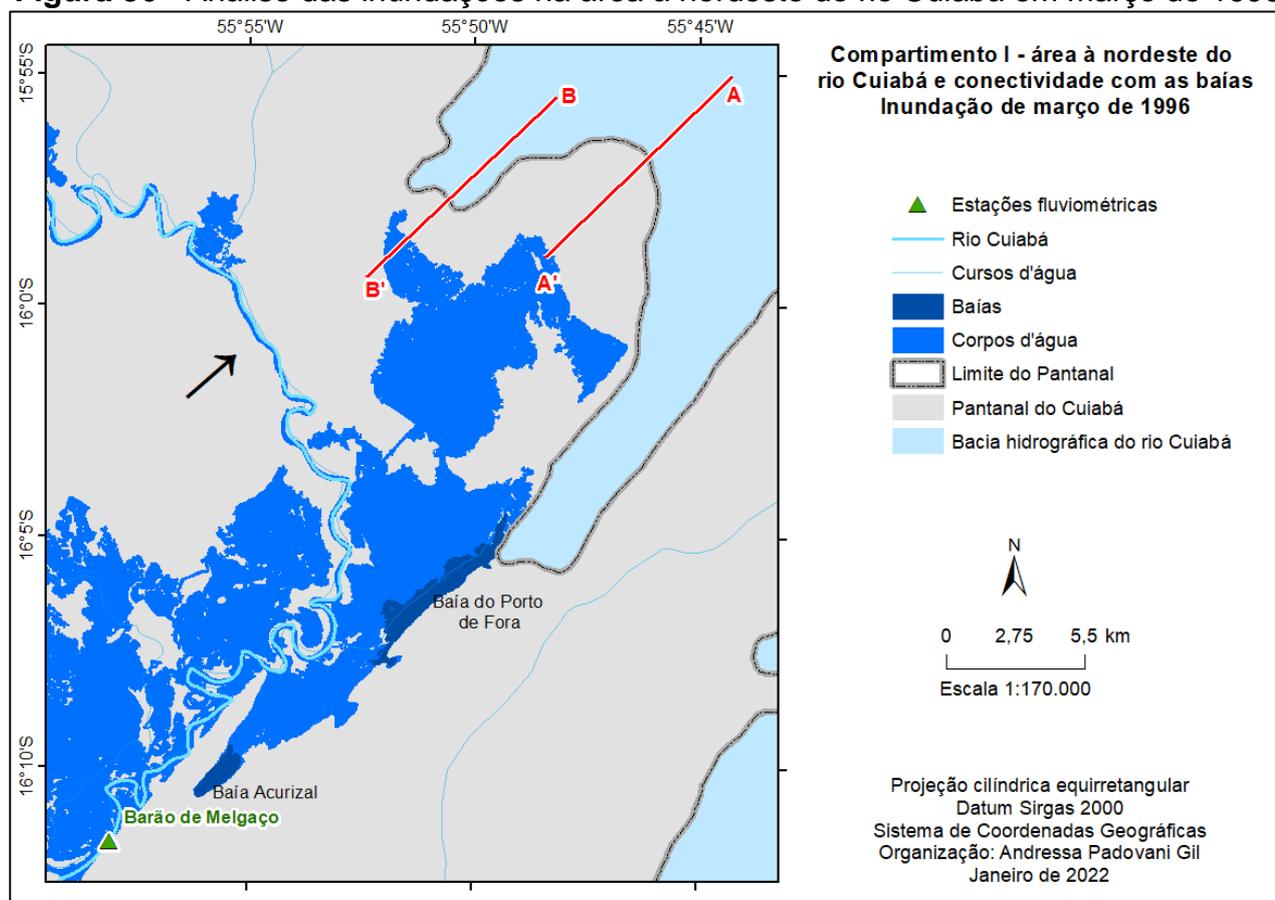
Considerando que não existe uma lógica diretamente proporcional entre o nível do rio e o tamanho da área inundada, bem como não é possível traçar uma lógica temporal da evolução das inundações, esses eventos de inundação foram analisados individualmente e serão apresentadas a seguir as considerações mais importantes sobre a dinâmica hídrica nesse primeiro compartimento.

Ao adentrar no Pantanal, o rio Cuiabá percorre aproximadamente 473 m com uma morfologia de canal único meandrante, até as proximidades da estação fluviométrica Barão do Melgaço, onde começa a se bifurcar e adquire novo padrão de canal. No primeiro trecho, é possível observar alguns meandros abandonados, formando lagos em ferradura na planície; e o rio assume segmentos retelinizados, condicionado por componentes estruturais do relevo no sentido nordeste (MEIRA *et al.*, 2019), como se observa na Figura 36 indicado pela seta preta.

O trecho superior do compartimento I, à nordeste do rio Cuiabá, indicado com o retângulo preto na Figura 35 para o mapa de janeiro de 1988 não faz parte do megaleque proposto por Pupim (2014). Padovani (2010) afirma que as inundações dessa área não sofrem influência do rio Cuiabá, mas sim do escoamento das águas que vem da precipitação da bacia hidrográfica a norte, cuja inclinação do terreno se dá no sentido de nordeste à sudoeste.

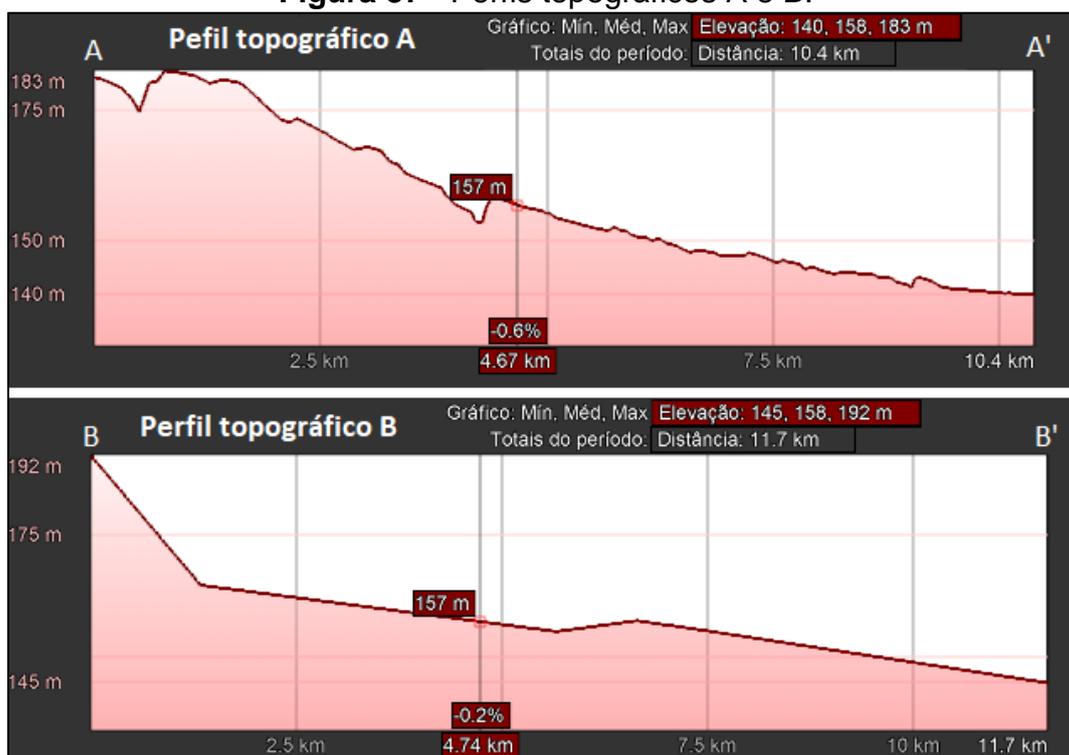
Os perfis topográficos traçados nessa área comprovam a inclinação do terreno de nordeste para sudoeste, como se observa na Figura 36, com o mapa de localização e na Figura 37 com os perfis topográficos. Isso reforça que a ideia que a inundação nessa área pode ter origem nas precipitações ocorridas à norte, na bacia hidrográfica do rio Cuiabá, que escoariam para lá. Outro indício de que não há extravasamento expressivo das águas do rio Cuiabá nessa área é que da estação fluviométrica de Cuiabá, a montante, até a estação Barão de Melgaço, logo a jusante desse trecho, há pouca diminuição no valor de vazão, como se observa na Figura 44.

**Figura 36 - Análise das inundações na área à nordeste do rio Cuiabá em março de 1996.**



**Fonte:** Elaborado pela autora.

**Figura 37 - Perfis topográficos A e B.**

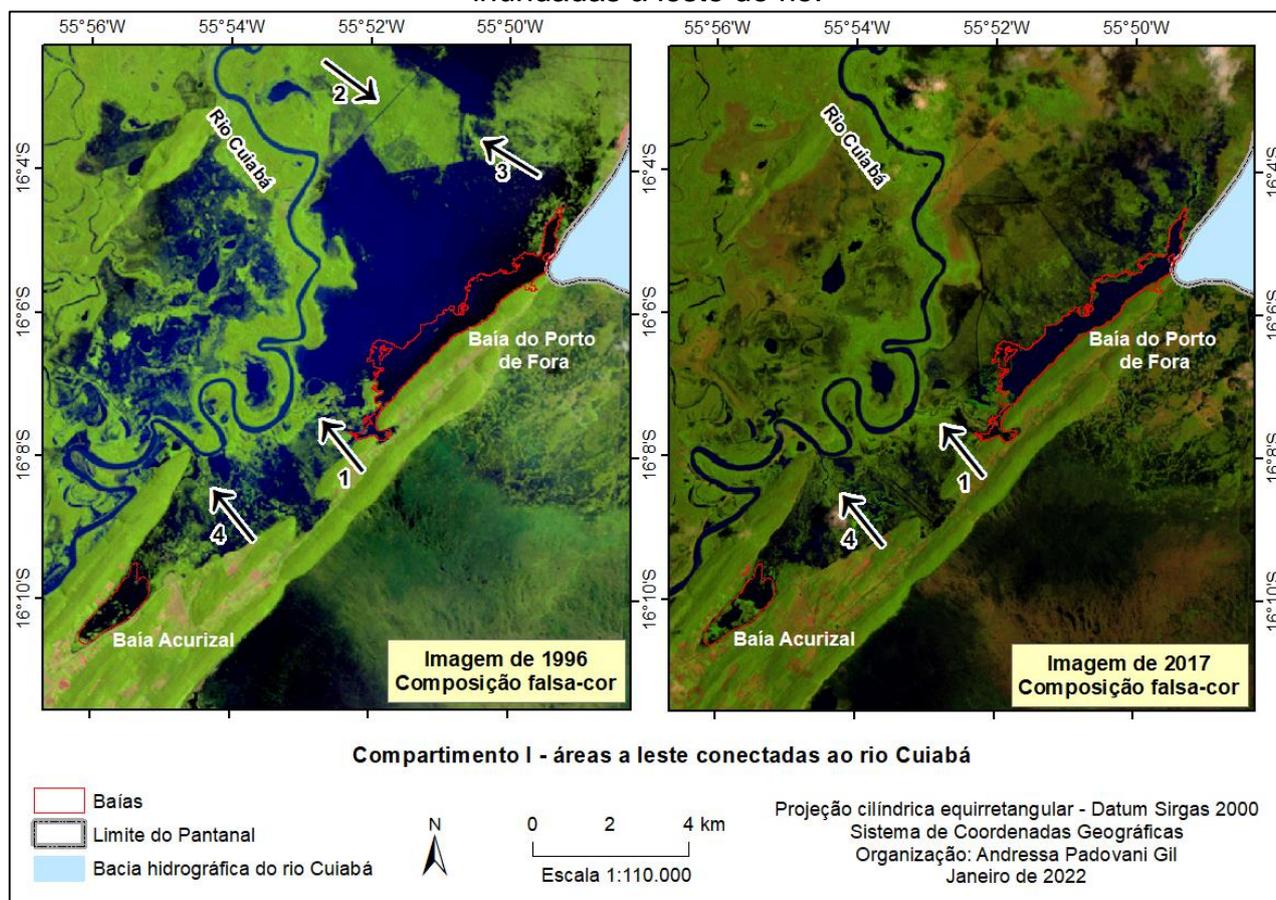


**Fonte:** Google Earth Pro (2020), organizado pela autora.

Entretanto, no mapeamento realizado pelo MNDWI, é possível observar estreitos canais que ligam o rio Cuiabá às inundações nesse local, que por este motivo foi mapeado como área de conectividade direta com o rio, como se observa na Figura 36, que apresenta o resultado do mapeamento para março de 1996. Essa conectividade pode ser observada em seis datas mapeadas: além de 1996, também ocorre em janeiro de 1988, fevereiro e março de 1989, março de 1993 e março de 2002 (ver Figura 35).

A área à leste do rio Cuiabá também fica inundada e se conecta com a de nordeste, formando uma grande massa d'água conectada ao rio. Na imagem de 2017 da Figura 38 é possível observar o formato da Baía do Porto de Fora, enquanto na imagem de 1996 a baía se mistura a uma grande área inundada. A seta 1 em ambas as imagens da Figura 38 indica o canal que conecta o rio Cuiabá à Baía do Porto de Fora, que se conecta com as áreas inundadas à nordeste, através de canais indicados pelas setas 2 e 3 na imagem de 1996. Um destes canais, à esquerda, é retilíneo, o que indica que pode ser um canal de origem antropogênica ou uma linha de estrada vicinal que fica inundada nas cheias.

**Figura 38** - Conectividade do rio Cuiabá com a Baía do Porto de Fora e as áreas as inundadas à leste do rio.



**Fonte:** Elaborado pela autora.

Há outro ponto de conectividade do rio Cuiabá com essas áreas inundadas, indicado pela seta 4 na Figura 38: um estreito canal que o conecta à Baía Acurizal. As Figuras 39 e 40 indicam, com a seta 1, os canais que ligam o rio Cuiabá às baías Porto de Fora e Acurizal, respectivamente. O canal que conecta o rio à baía Porto de Fora é único; enquanto que na conectividade com a baía Acurizal, o canal que sai do rio Cuiabá se bifurca em multicanais que deságuam na baía, indicada com a seta 1 na Figura 40. A seta 2 nessa figura indica a direção do fluxo de água, que segue para a baía. Assim como indicado por Padovani (2010), o mais provável é que essa área seja inundada principalmente por ação do escoamento das águas precipitadas a norte, no planalto, e essa onda de cheia seja escoada em direção à sul/sudoeste, seguindo a inclinação do terreno.

**Figura 39** - Corixo que conecta o rio Cuiabá à Baía do Porto de Fora.



Fonte: *Google Earth Pro* (2020), organizado pela autora.

**Figura 40** - Corixo que conecta o rio Cuiabá à Baía Acurizal.



Fonte: *Google Earth Pro* (2020), organizado pela autora.

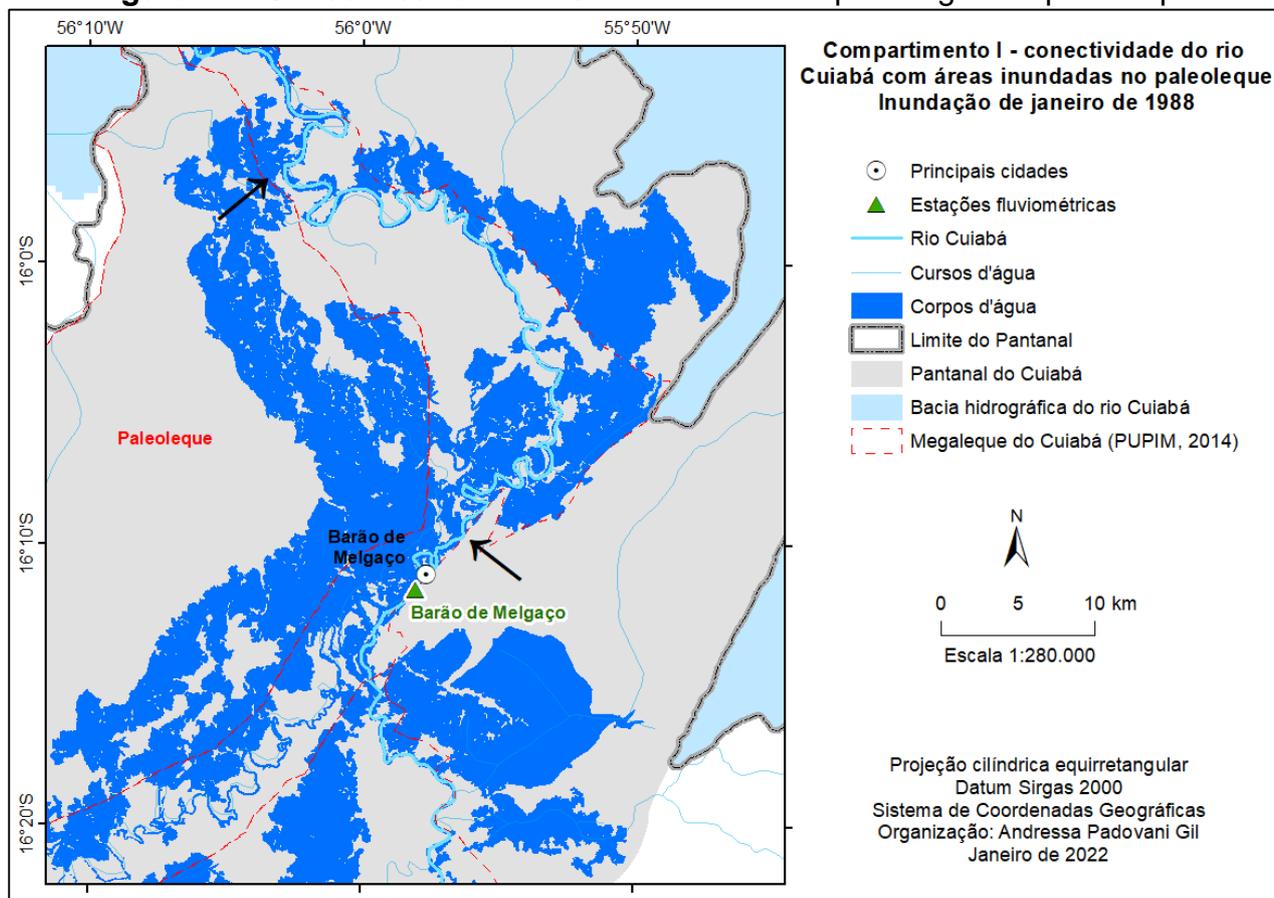
Os corpos d'água localizados imediatamente a sul do primeiro trecho do rio Cuiabá, indicados com a seta preta na Figura 35 para os mapas de março de 1989 e 1988, fazem parte do seu paleoleque (ver Figura 10), segundo a delimitação de Pupim (2014). Nessa

área, o autor afirma que as inundações não são provenientes de transbordamento do rio, e se caracterizam por fluxos em lençol que coincidem com os períodos de maior precipitação entre novembro a março. Além disso, o autor também verificou que o paleoleque se encontra topograficamente mais elevado que a planície do rio, apresentando um perfil topográfico convexo para cima e dominado por paleocanais de padrão entrelaçado.

Assim como na área à nordeste do rio Cuiabá, esta provavelmente não recebe contribuições de extravasamento do rio Cuiabá, visto que não há perda expressiva de vazão do rio nesse setor, porém são áreas que possivelmente se conectam ao canal do rio em períodos de maior precipitação, pois existem estreitos canais fazem essa conectividade. Foi possível observar essa conectividade em apenas dois eventos de todos os analisados: março de 1989 e 1988.

A Figura 41 apresenta o mapeamento para janeiro de 1988, onde é possível observar as conectividades entre esses corpos d'água, indicadas por setas pretas. É possível observar também que o leito do rio Cuiabá se mistura com a água inundada na planície.

**Figura 41** - Conectividade do rio Cuiabá com os corpos d'água do paleoleque.



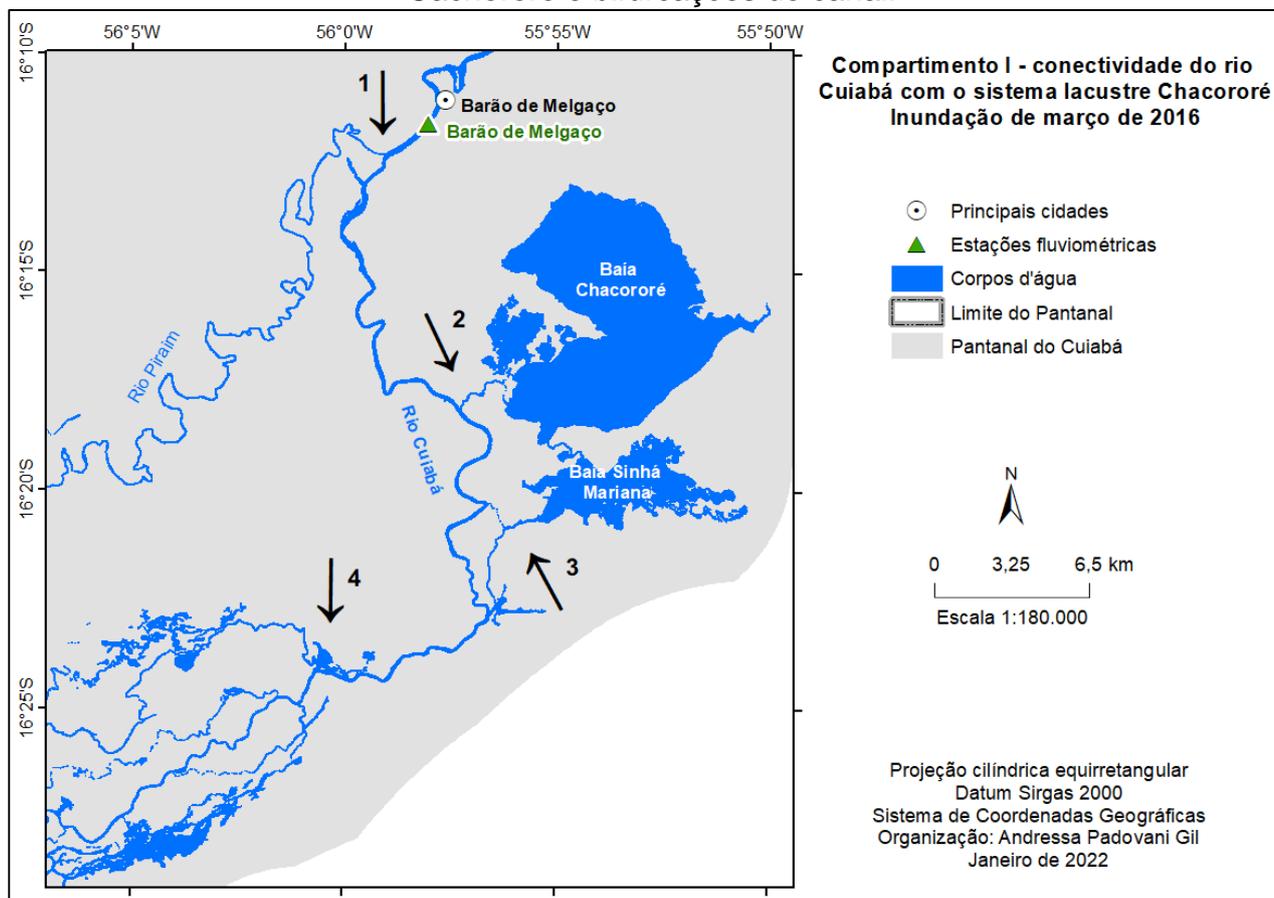
**Fonte:** Elaborado pela autora.

É importante destacar que embora não haja contribuição significativa do rio Cuiabá para as inundações nesses locais, a conectividade direta existente entre o rio e os corpos d'água inundados na planície é importante do ponto de vista ecológico, pois constitui-se um caminho importante para os peixes que transitam entre os ambientes lóticos e lênticos.

A partir da estação fluviométrica de Barão do Melgaço, o rio Cuiabá começa a se bifurcar, adquirindo um padrão multicanal e contribuindo significativamente com as inundações da planície. A Figura 42 apresenta três pontos importantes de conectividade do rio Cuiabá nessa área:

- A seta 1 indica a bifurcação do rio Cuiabá, que dá origem ao rio Piraim;
- As setas 2 e 3 indicam os corixos que fazem conexão do rio Cuiabá com a Baía Chacororé e Baía Sinhá Mariana;
- A seta 4 indica o ponto em que o rio Cuiabá se divide em multicanais e suas águas se espalham por grandes áreas inundadas na planície.

**Figura 42 - Compartimento I - conectividade do rio Cuiabá com o sistema lacustre Cachororé e bifurcações do canal.**



**Fonte:** Elaborado pela autora.

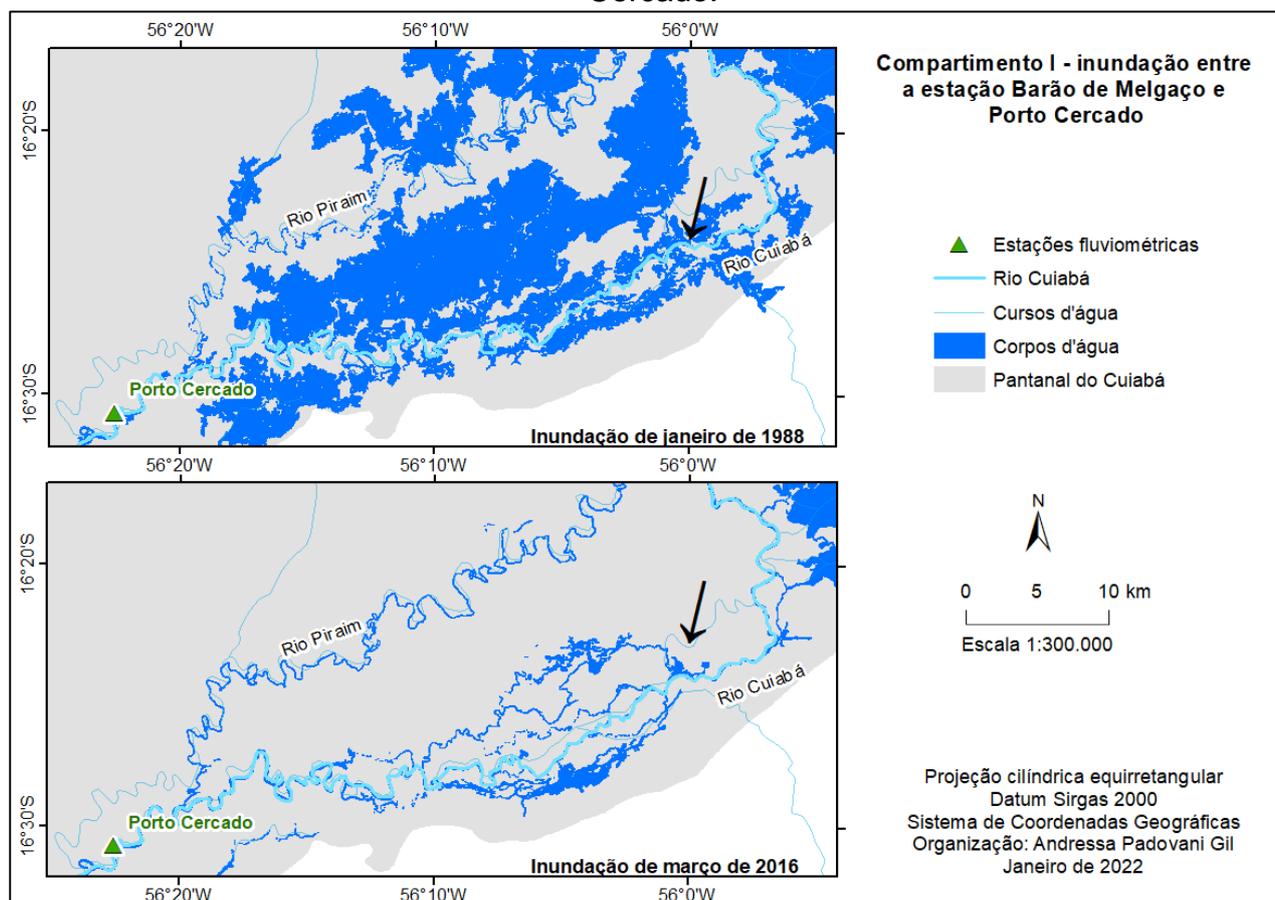
Nesse trecho, o rio Cuiabá se conecta com o sistema lacustre Chacororé e Sinhá Mariana, duas baías de grande importância ecológica e social para a região. Sobre essa conectividade, Fausto *et al.* (2015, p. 1.878) evidenciam:

Segundo da Silva e Figueredo (1999), a Baía de Sinhá Mariana mantém conexão funcional com o rio Cuiabá durante todo o ano e mais fortemente com o Rio Mutum por ser uma continuidade deste rio. Já a Baía de Chacororé mantém conexão com o Rio Cuiabá apenas no período das cheias ficando isolada ou com pouco fluxo de água na estiagem. A conexão de chacororé é feita através dos corixos. Na cheia a entrada de água ocorre diretamente através do corixo Manéisaque e de saída indiretamente pelo corixo do Mato o qual a conecta à Baía Sinhá Mariana (da Silva e Simoni, 2012).

É nesse setor que o rio perde água significativa para a planície, formando uma grande área inundada sob sua influência. Os dados coletados na ANA e apresentados no item 4.3 mostram a queda da vazão média da estação fluviométrica de Barão de Melgaço, a montante, e Porto Cercado, a jusante, o que reforçam a perda de água do rio para a planície.

A Figura 43 apresenta o mapeamento das inundações em conectividade com o rio Cuiabá a jusante da baía Chacororé, até a estação fluviométrica de Porto Cercado, para duas imagens: 2016 e 1988. As setas nessa figura indicam o mesmo ponto indicado pela seta 4 na Figura 42, onde o rio Cuiabá se bifurca em multicanais. É possível observar na imagem de 1988 a ocorrência de uma inundação muito expressiva nessa região, conectando os multicanais do rio com grandes áreas inundadas na planície.

**Figura 43 - Compartimento I - inundação entre a estação Barão de Melgaço e Porto Cercado.**



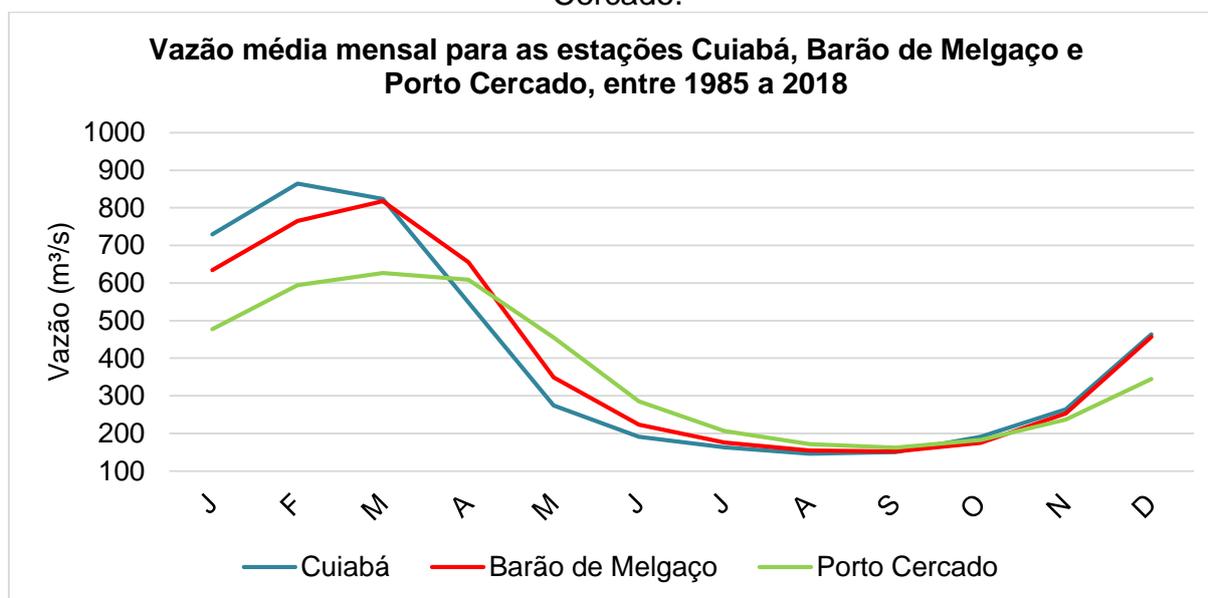
**Fonte:** Elaborado pela autora.

A Figura 44 apresenta o gráfico de vazão média mensal nas estações Cuiabá (no planalto), Barão de Melgaço e Porto Cercado (ambas no Pantanal), no período de 1985 a 2018. É possível observar que da estação Cuiabá para a Barão de Melgaço a diminuição de vazão no período de cheia (janeiro à meados de março) é menor do que a diminuição de vazão da estação Barão de Melgaço para a estação Porto Cercado:

- Janeiro: Cuiabá 729,40 m<sup>3</sup>/s – Barão de Melgaço 634,44 m<sup>3</sup>/s – Porto Cercado 477,44 m<sup>3</sup>/s. Queda de 94,96 m<sup>3</sup>/s no primeiro trecho Cuiabá-Barão de Melgaço e de 157 m<sup>3</sup>/s no segundo trecho Barão de Melgaço-Porto Cercado.
- Fevereiro: Cuiabá 864,85 m<sup>3</sup>/s – Barão de Melgaço 764,88 m<sup>3</sup>/s – Porto Cercado 594,26 m<sup>3</sup>/s. Queda de 99,97 m<sup>3</sup>/s no primeiro trecho Cuiabá-Barão de Melgaço e de 170,63 m<sup>3</sup>/s no segundo trecho Barão de Melgaço-Porto Cercado.

- Março: Cuiabá 823,66 m<sup>3</sup>/s – Barão de Melgaço 818,07 m<sup>3</sup>/s – Porto Cercado 627,08 m<sup>3</sup>/s. Queda de 5,60 m<sup>3</sup>/s no primeiro trecho Cuiabá-Barão de Melgaço e de 190,98 m<sup>3</sup>/s no segundo trecho Barão de Melgaço-Porto Cercado.

**Figura 44** - Vazão média mensal para as estações Cuiabá, Barão de Melgaço e Porto Cercado.



**Fonte:** Dados da ANA (2019), organizada pela autora.

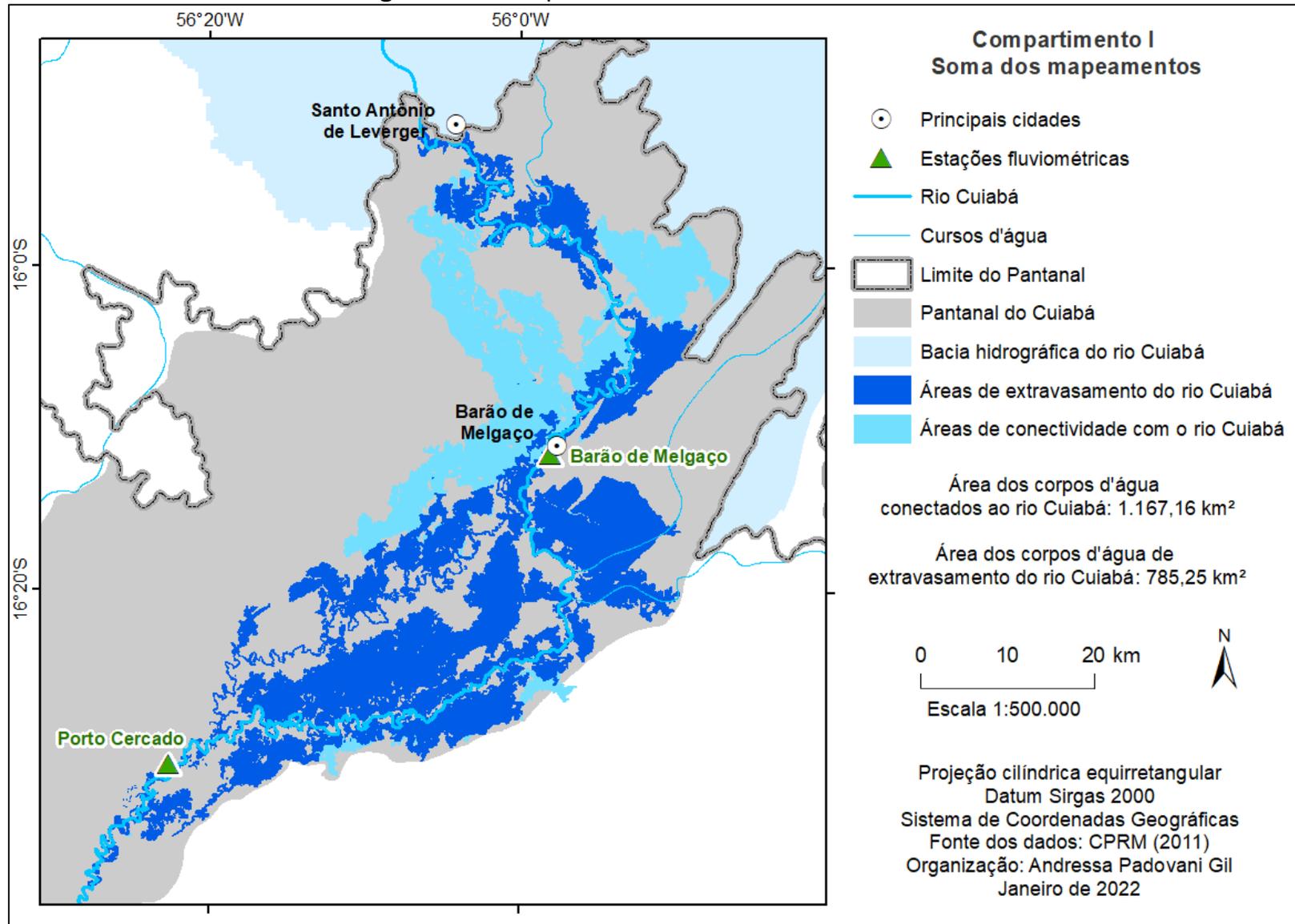
Esses dados indicam que no segundo trecho, da estação Barão de Melgaço até Porto Cercado, o rio Cuiabá sofre uma perda maior de água para a planície, inundando uma área mais expressiva.

Considerando a importância ecológica das áreas conectadas ao rio Cuiabá em períodos de cheia, mesmo nos locais em que não há extravasamento de água do rio para a planície inundada, foram separados dois *shapes* contendo:

- Corpos d'água da planície conectados ao rio Cuiabá;
- Corpos d'água da planície que recebem extravasamento das águas do rio Cuiabá.

A soma de todos os corpos d'água conectados ao rio Cuiabá totaliza 1.167,17 km<sup>2</sup>; enquanto a soma dos corpos d'água que recebe extravasamento do rio totaliza 785,25 km<sup>2</sup>. Isso significa que 381,92 km<sup>2</sup> são de áreas que fazem conexão com o rio Cuiabá, mas provavelmente não recebem água do seu leito nas cheias. A Figura 45 apresenta essas áreas para o Compartimento I.

**Figura 45 - Compartimento I - soma das áreas inundadas.**

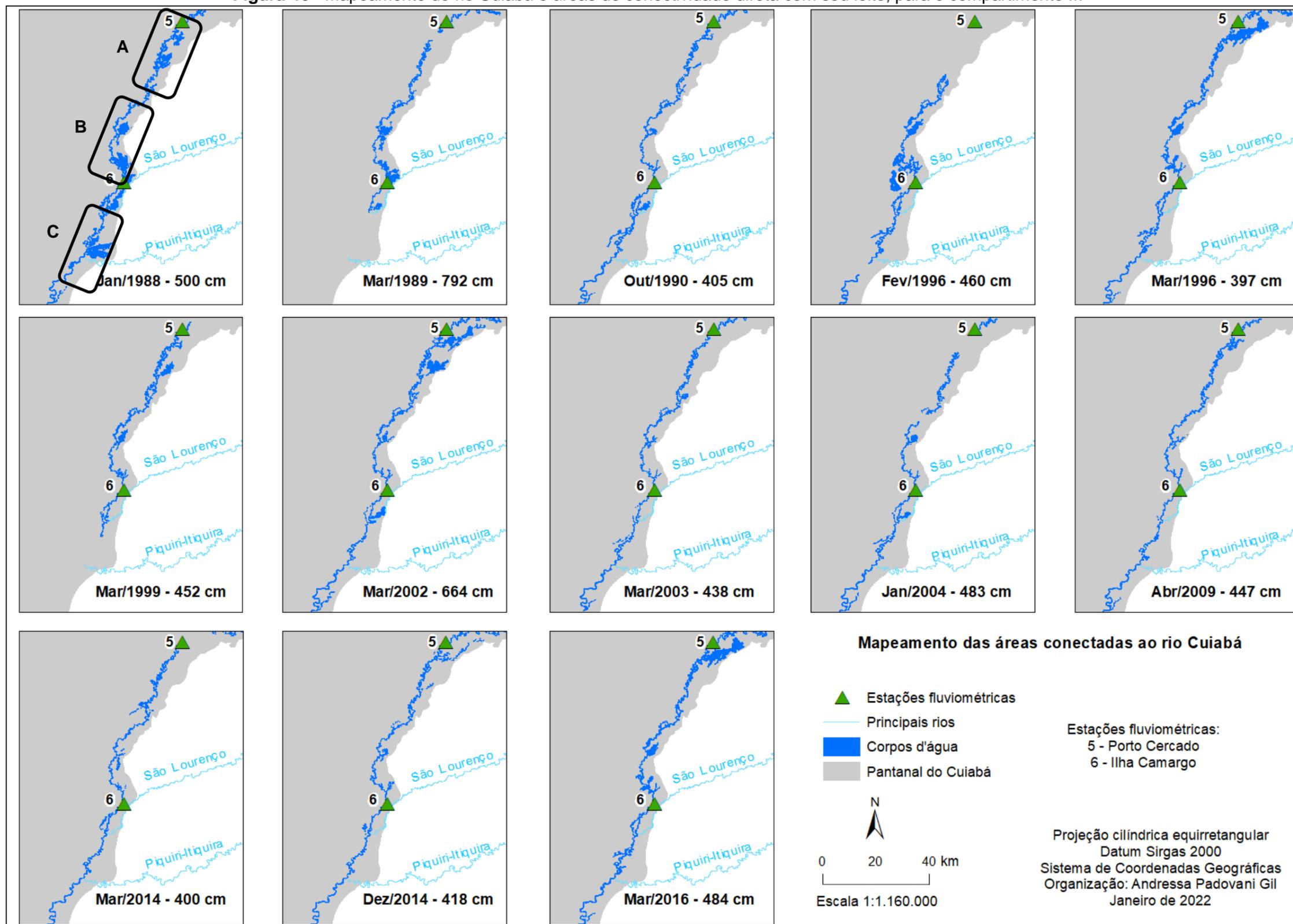


Fonte: Elaborado pela autora.

#### **4.4.2 Compartimento II - setor médio**

Após a confluência com o rio Piraim no setor de montante, no setor médio o rio Cuiabá volta a fluir em um canal com padrão predominantemente meandrante, formando um complexo de dique-canal topograficamente mais elevado que as terras do entorno (PUPIM, 2014). Ele corre paralelo à borda direita do Pantanal do Cuiabá, como se observa na Figura 46, que apresenta o mapeamento realizado deste setor.

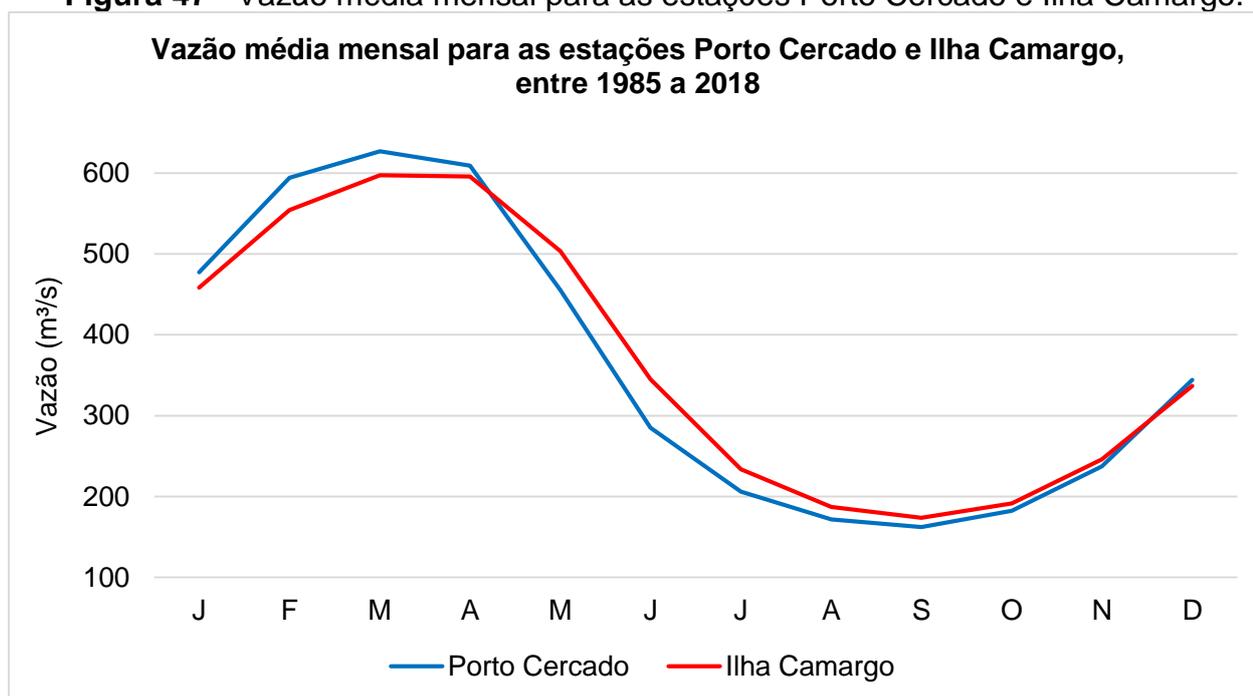
Figura 46 - Mapeamento do rio Cuiabá e áreas de conectividade direta com seu leito, para o compartimento II.



Fonte: Elaborado pela autora.

Nesse compartimento, as áreas conectadas diretamente ao rio Cuiabá são menos expressivas que no primeiro, confinadas principalmente na compartimentação morfológica da planície do rio Cuiabá proposta por Pupim (2014). Assim, não há perda expressiva de água do rio Cuiabá para a planície nesse setor, como se observa na Figura 47 a comparação da vazão média das estações Porto Cercado (montante) e Ilha Camargo (jusante).

**Figura 47 - Vazão média mensal para as estações Porto Cercado e Ilha Camargo.**

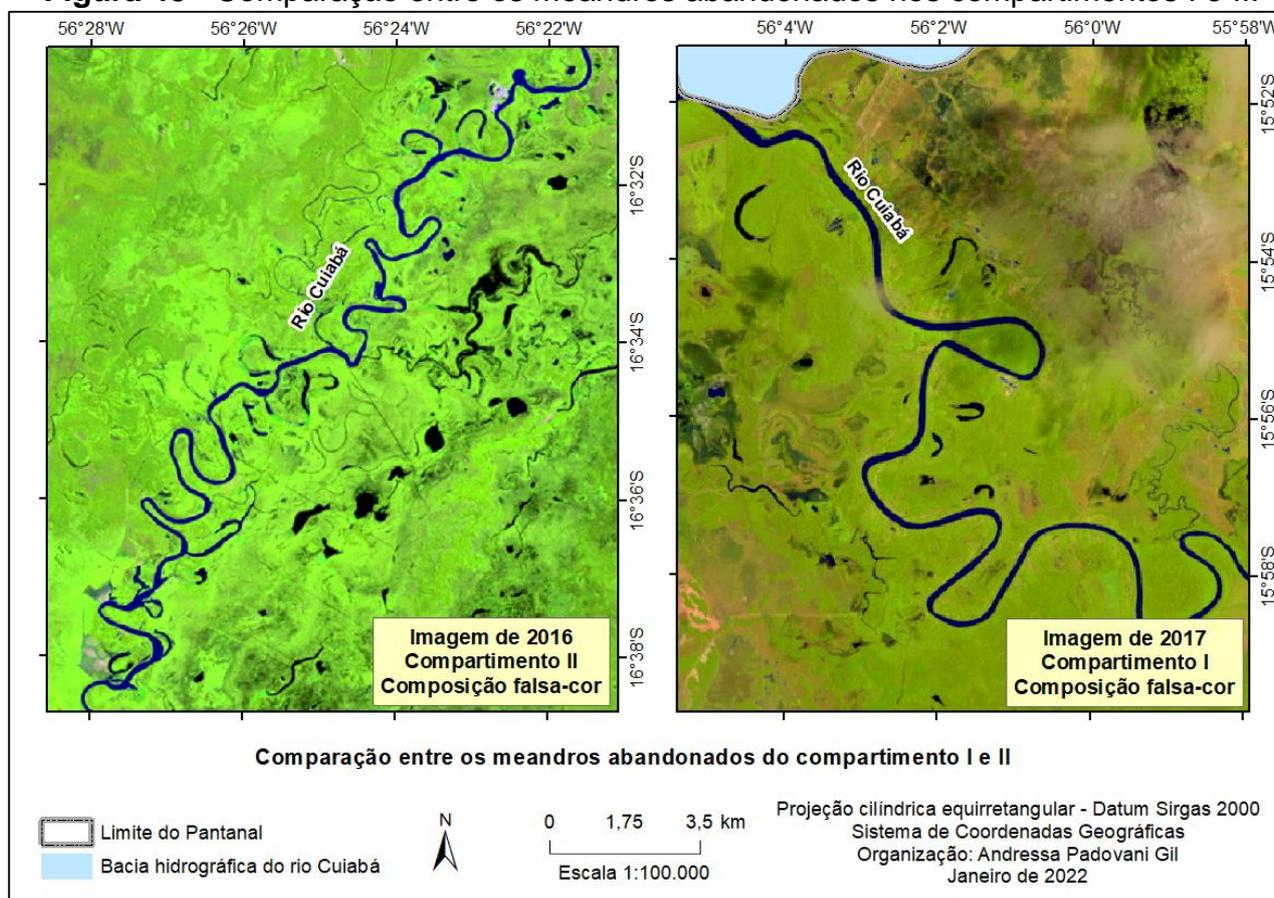


**Fonte:** Dados da ANA (2019), organizada pela autora.

É possível observar que nesse setor médio, assim como no de montante, a maioria das imagens obtidas com maior nível de inundação também são referentes ao mês de março, para os anos de 1989, 1996, 1999, 2002, 2003, 2014 e 2016. É no mapa de janeiro de 1988, entretanto, que foi observada a maior inundação na área, que não coincide com o pico de cheia do rio no período analisado. A data das imagens com maior pico de inundação e de nível do rio Cuiabá para esse segmento é a mesma que do segmento a montante: 17 de janeiro de 1988 registrou a maior inundação, quando o nível do rio atingiu 500 cm; enquanto 24 de março de 1989 o rio atingiu 792 cm e uma inundação menos expressiva. Observa-se também que nos mapas de março de 1989 e março de 1999 há descontinuidade no traçado do rio Cuiabá, causada por cobertura de nuvens na imagem de satélite.

O índice de sinuosidade nesse trecho (3) é maior que no trecho de montante (1,2) (MEIRA *et al.*, 2019), o que reflete também na maior densidade de meandros abandonados (Figura 48). Em períodos de cheia, muitos desses meandros abandonados são reativados e se conectam novamente ao rio Cuiabá, porém, como a inundação nesse compartimento é mais restrita, a maior presença dessas feições não contribui significativamente para as inundações ou extravasamento de água do rio Cuiabá. Entretanto, elas demonstram maior mobilidade do canal nesse trecho, indicando que essas mudanças são comuns na evolução do traçado do rio.

**Figura 48** - Comparação entre os meandros abandonados nos compartimentos I e II.

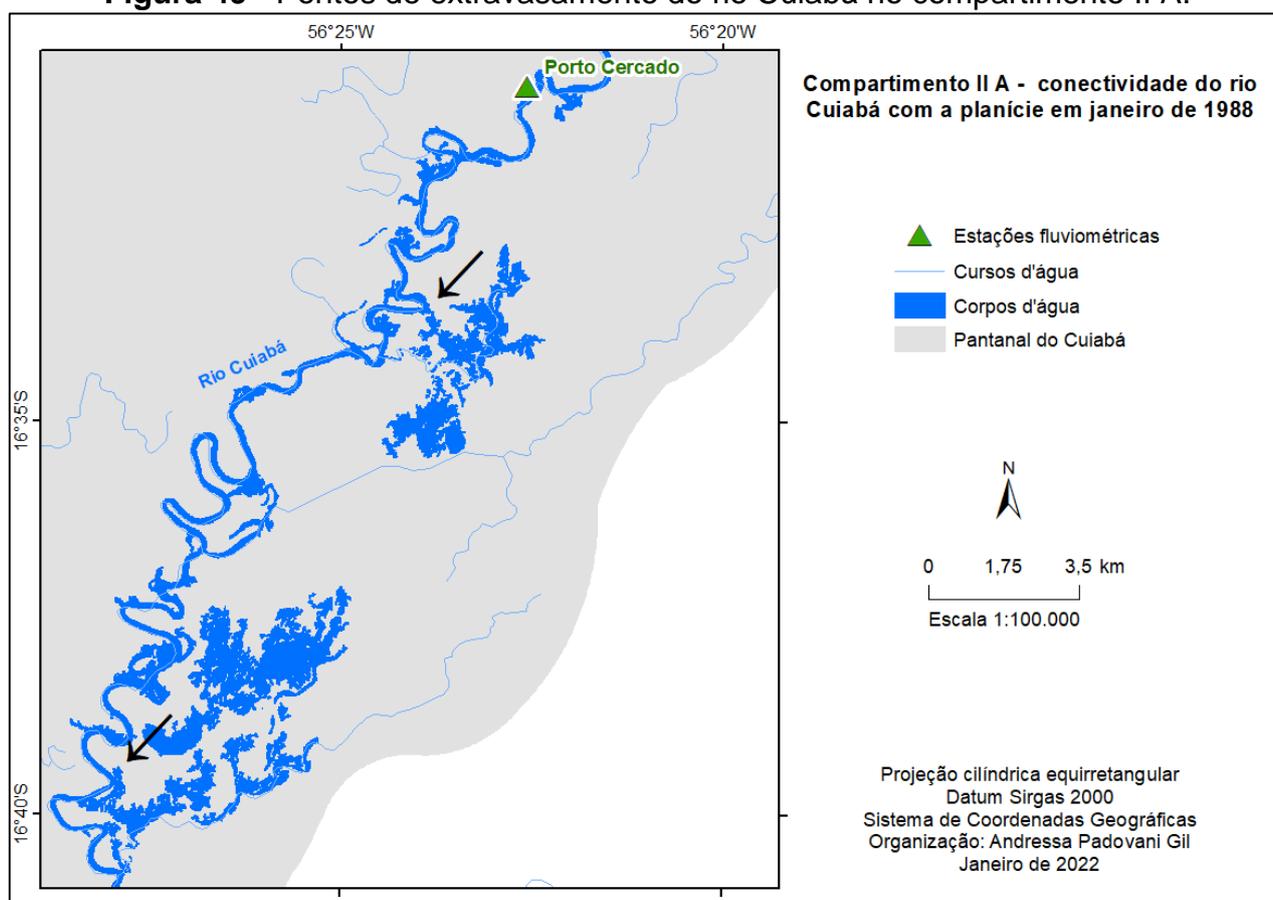


**Fonte:** Elaborado pela autora.

Nesse compartimento também não se observou uma lógica diretamente proporcional entre o nível do rio e o tamanho da área inundada, tampouco uma lógica temporal de evolução das inundações. Visto que o mapa de janeiro de 1988 apresentou a maior área inundada, a seguir serão apresentadas as considerações observadas sobre a dinâmica hídrica local baseadas nesse mapa.

Existem três áreas principais de extravasamento do rio Cuiabá nesse trecho, indicadas pelos retângulos A, B e C na Figura 46 A primeira área, nas proximidades da estação Porto Cercado, apresenta dois pontos de ruptura da sua margem esquerda, perdendo água para a planície em pequenas áreas inundadas, como se observa na Figura 49. Importante notar que esses pontos de rompimento ocorrem na margem côncava, onde ocorre maior velocidade das águas e o rio faz um constante trabalho de escavação.

**Figura 49 - Pontos de extravasamento do rio Cuiabá no compartimento II A.**



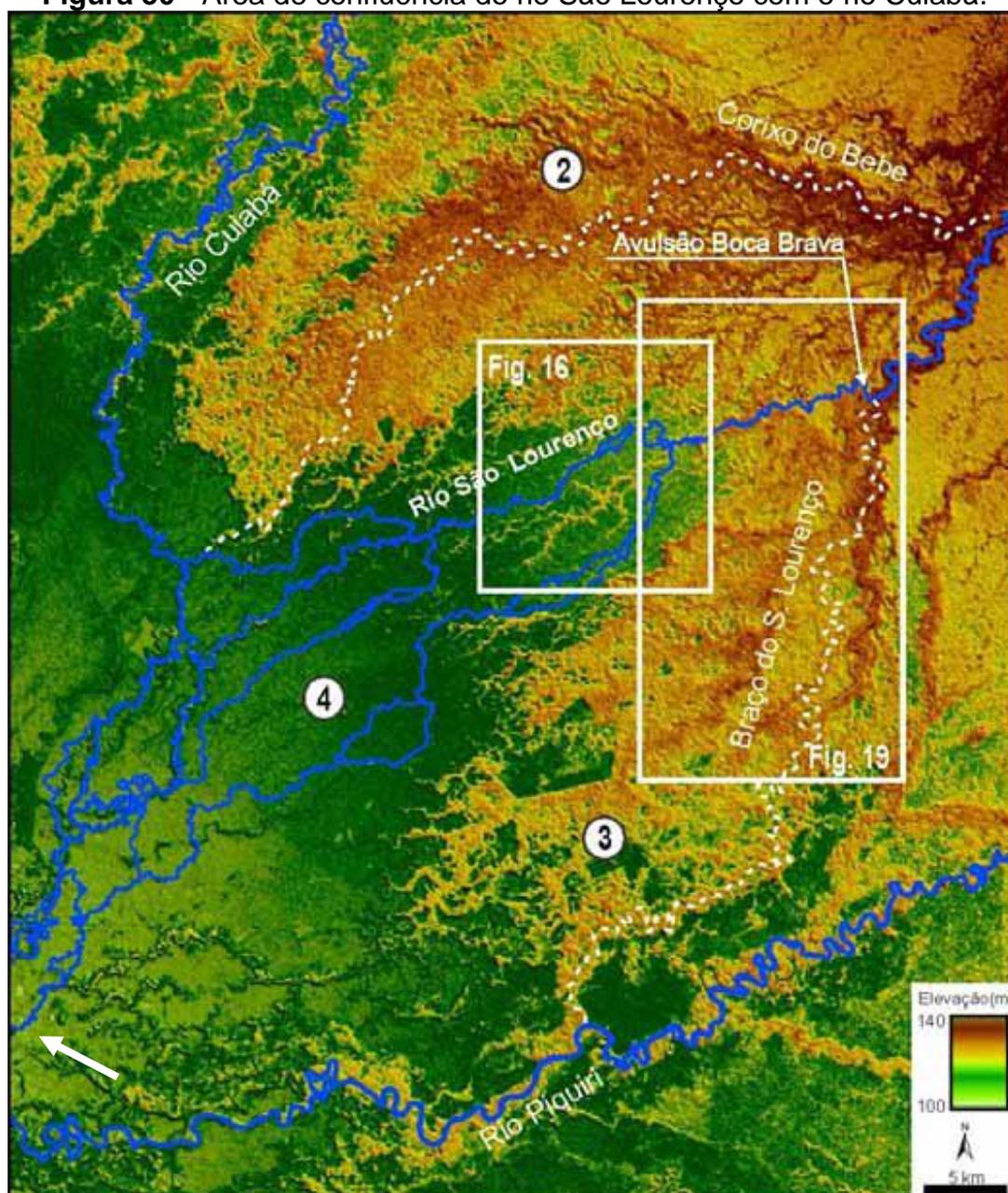
**Fonte:** Elaborado pela autora.

As demais áreas de extravasamento do rio Cuiabá (retângulo B e C da Figura 45) ficam próximas a seus principais afluentes, rio São Lourenço e Piquiri-Itiquira, e ambas se misturam com águas extravasadas pelo rio São Lourenço.

Essa região corresponde ao baixo curso do rio São Lourenço, onde ele se subdivide em diversos canais e perde água significativa para a planície, tendo uma importante contribuição para as inundações locais. Por assumir esse padrão multicanal, o rio São Lourenço desagua no rio Cuiabá em mais de um ponto, como se observa na Figura 50,

indicado pelo ponto 4 e pela seta. Dessa maneira, são formadas áreas inundadas que se misturam com os dois cursos d'água, sendo difícil identificar quais dessas áreas inundadas são alimentadas por extravasamento do rio Cuiabá, quais são alimentadas pelo extravasamento do rio São Lourenço e/ou por precipitação local

**Figura 50** - Área de confluência do rio São Lourenço com o rio Cuiabá.



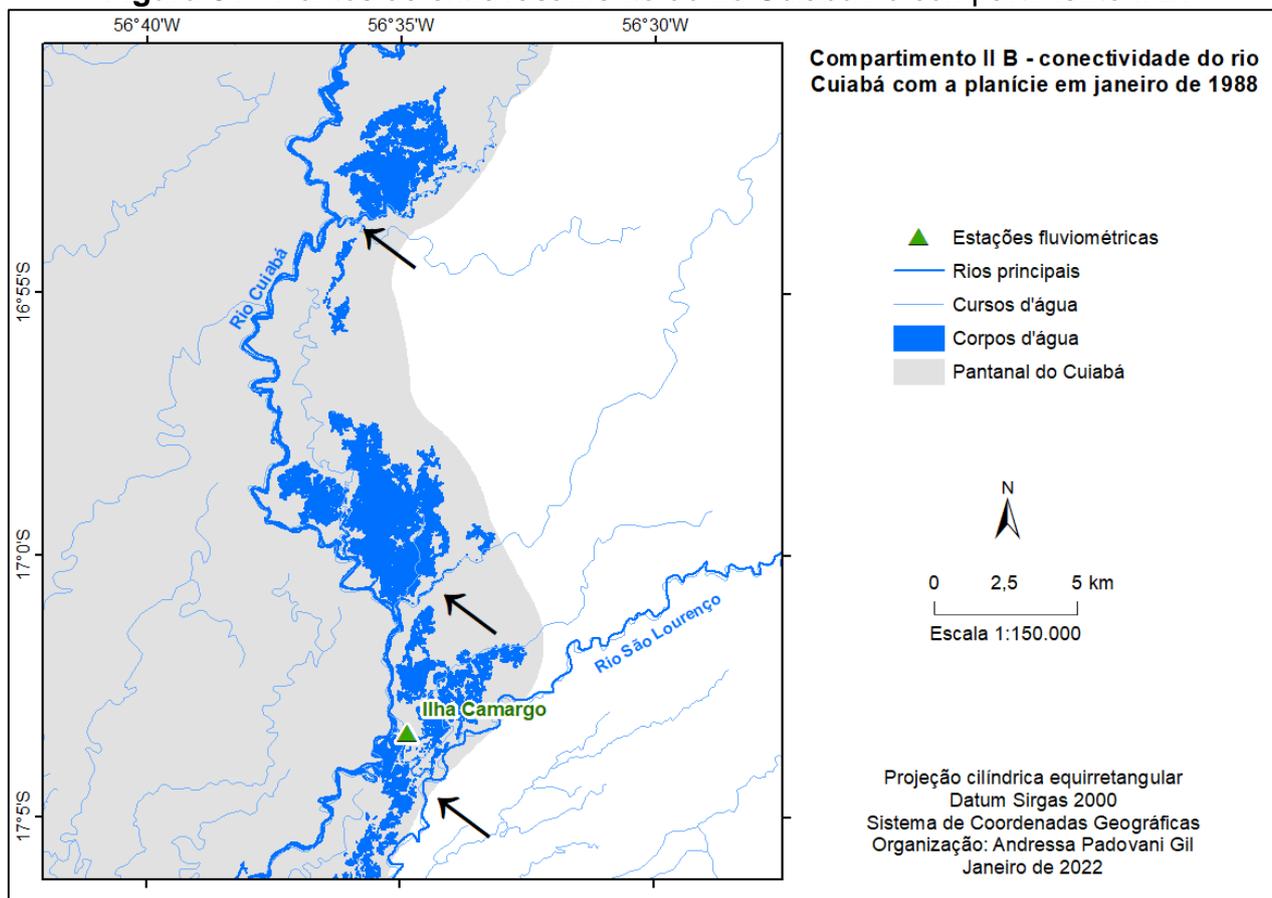
Fonte: Pupim (2014).

Por conta da dinâmica hídrica nesse local de confluência dos rios, que mistura a água extravasada dos dois e impossibilita a identificação da origem da inundação, foram

separados neste segundo compartimento dois *shapes* distintos: um com os corpos d'água que são causados por extravasamento do rio Cuiabá, mais próximas a seu leito; e outro com os corpos d'água da planície conectados ao rio Cuiabá, mais próximos aos seus afluentes, que se misturam com as águas do rio São Lourenço.

A área de inundação indicada pelo retângulo B na Figura 46 fica nas proximidades da estação Ilha Camargo. Nela, ocorrem três pontos de extravasamento do rio Cuiabá com inundações pontuais da planície à margem esquerda, sendo dois a montante da estação e um no seu entorno. Este último, localizado no entorno da estação, trata-se de uma área inundada próximo a um pequeno curso d'água que liga o rio Cuiabá ao rio São Lourenço, como se observa na Figura 51.

**Figura 51 - Pontos de extravasamento do rio Cuiabá no compartimento II B.**

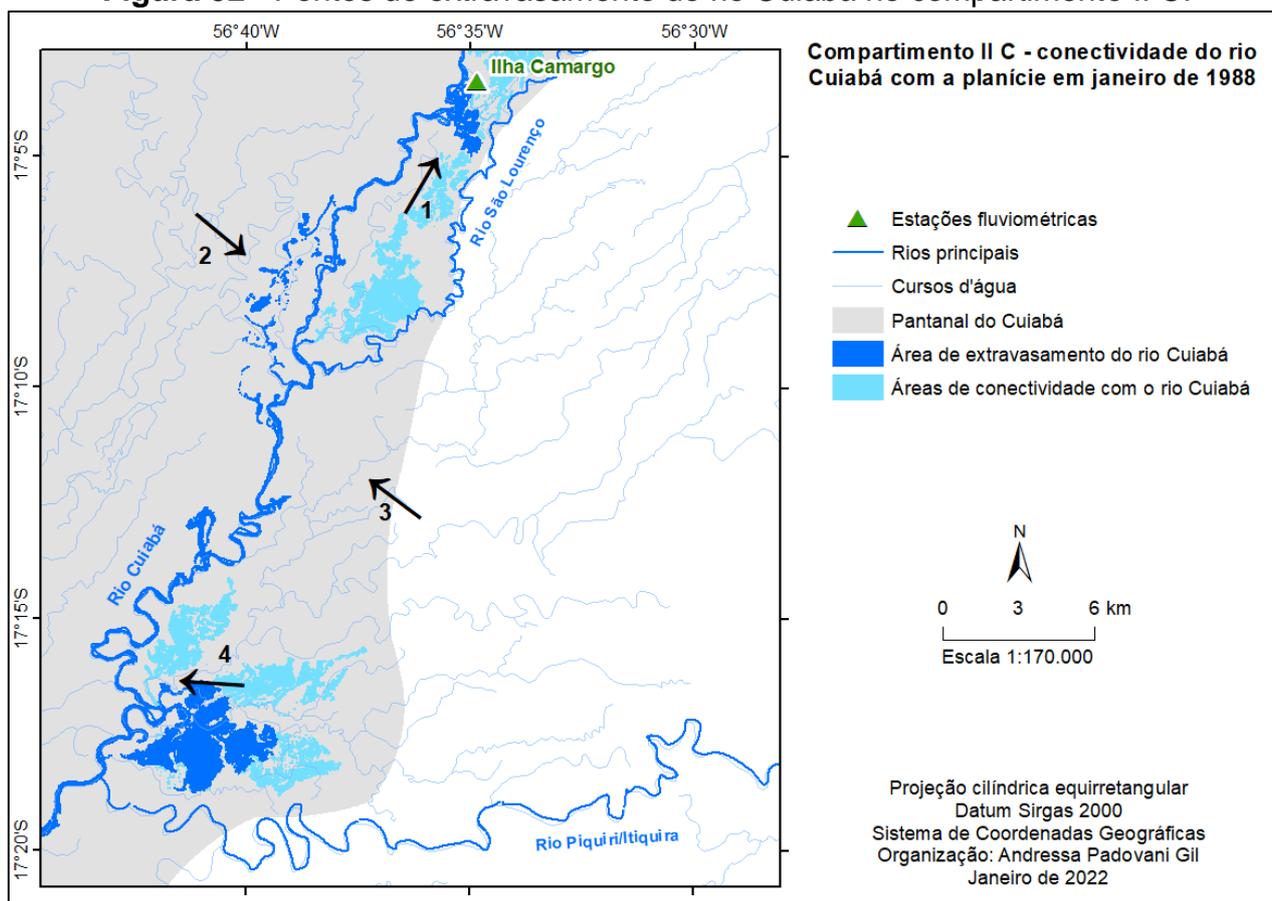


**Fonte:** Elaborado pela autora.

A área de inundação indicada pelo retângulo C na Figura 46 fica a jusante da estação Ilha Camargo, entre a foz do rio São Lourenço e do rio Piquiri/Itiquira, como se observa na Figura 52. A seta 1 indica o ponto onde um corpo d'água causado pelo extravasamento do

rio Cuiabá (em cor azul escuro) se mistura com outros corpos d'água extravasados pelo rio São Lourenço (cor azul claro). Na seta 2 está indicado um ponto de extravasamento do rio Cuiabá em sua margem direita, criando um estreito canal que flui no mesmo sentido que o rio principal e volta a se encontrar com ele a jusante.

**Figura 52 - Pontos de extravasamento do rio Cuiabá no compartimento II C.**

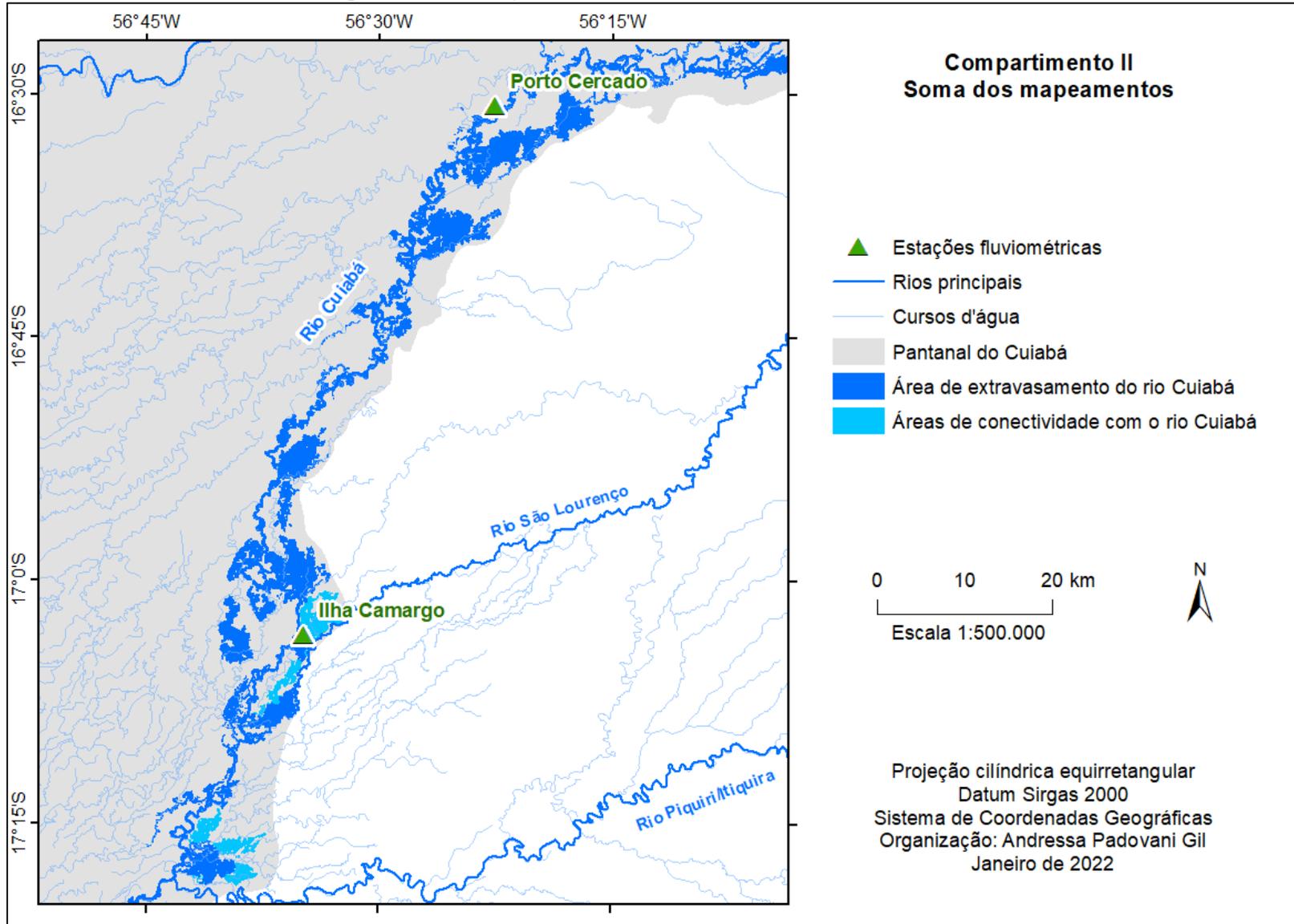


**Fonte:** Elaborado pela autora.

Nas setas 3 e 4 da Figura 52 são indicados corpos d'água que fazem conexão entre o rio Cuiabá e São Lourenço: a seta 3 indica um canal que sai de um ponto mais a montante do rio São Lourenço e flui para o rio Cuiabá num sentido sudoeste, e a seta 4 indica o local em que esse canal deságua no rio Cuiabá e se conecta a outros corpos d'água inundados na planície. Por esse motivo, partes dos corpos d'água conectados ao rio Cuiabá não foram mapeados como área de extravasamento de suas águas, por sofrerem influência das águas do rio São Lourenço. Optou-se por considerar esses corpos d'água como conectados ao rio Cuiabá, porém que não são extravasados por ele.

A soma de todos os corpos d'água conectados ao rio Cuiabá no compartimento II totaliza 221,44 km<sup>2</sup>; enquanto a soma dos corpos d'água que recebe extravasamento do rio totaliza 199,25 km<sup>2</sup>. Isso significa que 22,19 km<sup>2</sup> são de áreas que fazem conexão com o rio Cuiabá, mas provavelmente não recebem água do seu leito nas cheias. A Figura 53 apresenta essas áreas para o compartimento II. Como mencionado anteriormente, esse compartimento apresenta uma área de inundação conectada ao rio Cuiabá bem menor que no compartimento I, de montante.

**Figura 53 - Compartimento II - soma das áreas inundadas.**

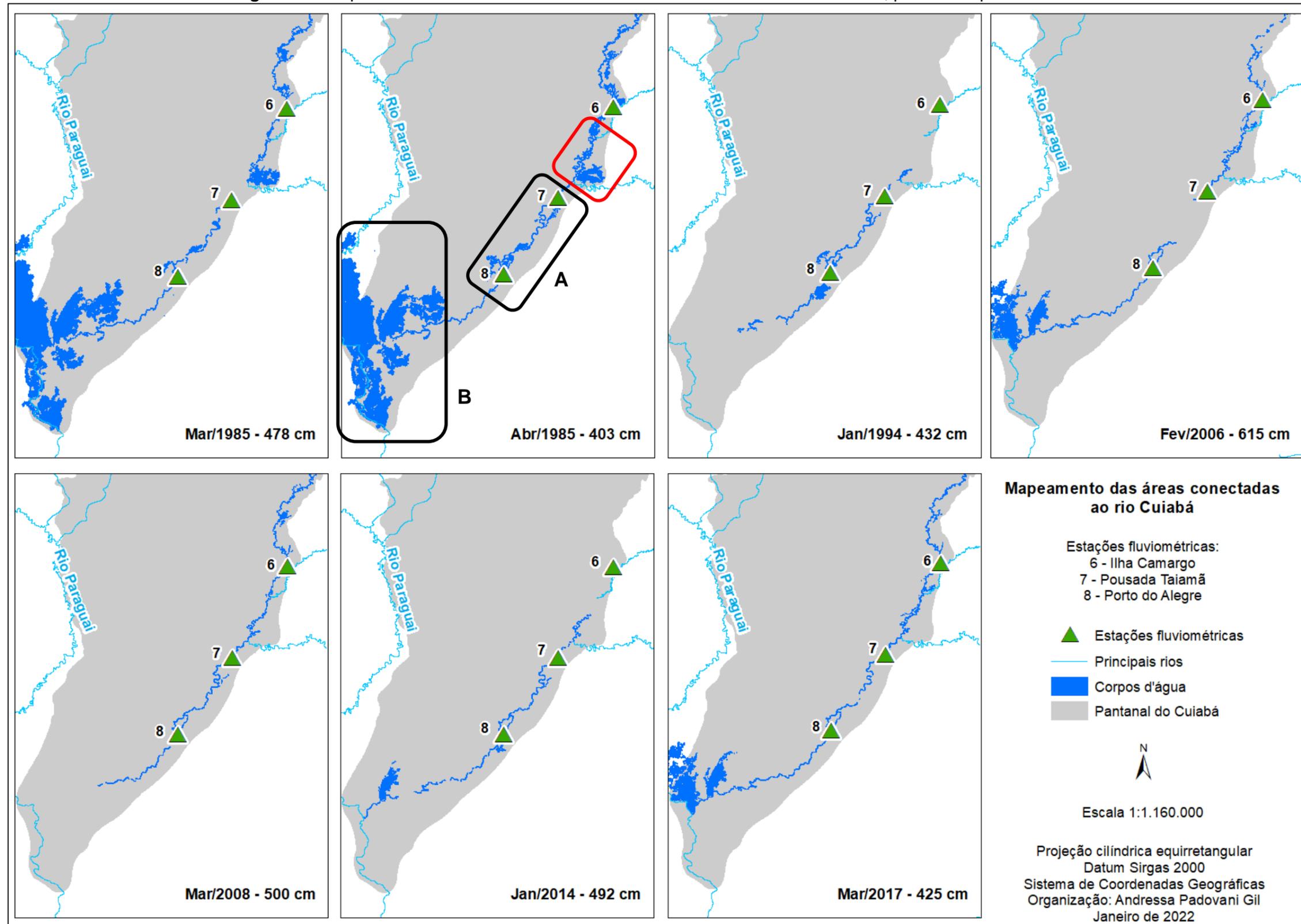


Fonte: Elaborado pela autora.

#### **4.4.3 Compartimento III - setor a jusante**

O último setor compreende o trecho final do rio Cuiabá, das proximidades da estação fluviométrica Ilha Camargo até sua foz no rio Paraguai. A Figura 54 apresenta os corpos d'água em conectividade com o rio Cuiabá mapeados pelo MNDWI para as imagens deste compartimento.

Figura 54 - Mapeamento do rio Cuiabá e áreas de conectividade direta com seu leito, para o compartimento III.



Fonte: Elaborado pela autora

A área de inundação entre a estação fluviométrica Ilha Camargo e Pousada Taiamã, que coincide com o trecho em que o rio Cuiabá recebe seus principais afluentes (rios São Lourenço e Piquiri-Itiquira) e está indicada em vermelho no mapa de abril de 1985 (Figura 54) não será analisada aqui, pois já foi apresentada no compartimento anterior, em detalhe na Figura 52. Nessa área, embora haja pontos de extravasamento do rio Cuiabá e perda de água para a planície, o recebimento de água dos rios São Lourenço e Piquiri-Itiquira contribui para o aumento significativo da vazão do rio Cuiabá entre as duas estações, como se observa na Figura 56. No mês de abril que registra o pico de vazão média, a diferença é de 604,59 m<sup>3</sup>/s na estação Ilha Camargo (montante) para 1.179,07 m<sup>3</sup>/s, na estação Pousada Taiamã (jusante).

Assim como nos dois primeiros, nesse compartimento também predominam as imagens registradas no mês de março, para os anos de 1985, 2008 e 2017. Porém, diferente dos compartimentos I e II, que apresentaram a maior área de inundação no mês de janeiro, neste último a maior inundação ocorreu nas imagens registradas em março e abril, ambas do ano de 1985, como se observa na Figura 54. Esse comportamento já era esperado, considerando que pelas características naturais do Pantanal leva um tempo para o deslocamento do pico de cheia do norte em direção ao setor médio e baixo da planície. Além disso, como já foi apresentado no item 4.3, o pico de vazão do rio Cuiabá na estação Porto do Alegre, localizada nessa área, ocorre apenas em abril.

Novamente, assim como nos dois primeiros, nesse compartimento o mapa que registrou a maior inundação não coincide com a imagem que registrou o pico de nível do rio Cuiabá: as maiores inundações ocorreram em março de 1985, cujo nível foi de 478 cm e abril de 1985, cujo nível foi 403; enquanto fevereiro de 2006 registrou o maior nível, com 615 cm. Comparando os dados hidrológicos para o último trimestre de cada evento de inundação, é possível observar na Tabela 9 que todas as variáveis hidrológicas apresentaram valor mais elevado para o evento de inundação de 1985, mesmo que no evento de 2006 a data da imagem de satélite mapeada apresentasse um nível maior do rio.

**Tabela 9** - Comparação entre os dados hidrológicos na estação Porto do Alegre.

	Inundação de 1985			Inundação de 2006		
	Fev/85	Mar/85	Abr/85	Dez/05	Jan/06	Fev/06
Precipitação total mensal (mm)	223,20	346,70	87,00	210,80	150,70	149,70
Nível médio mensal (cm)	620	602	588	483	546	563
Vazão média mensal (m <sup>3</sup> /s)	1121,4524	1012,9325	951,383	691,895	877,789	940,444

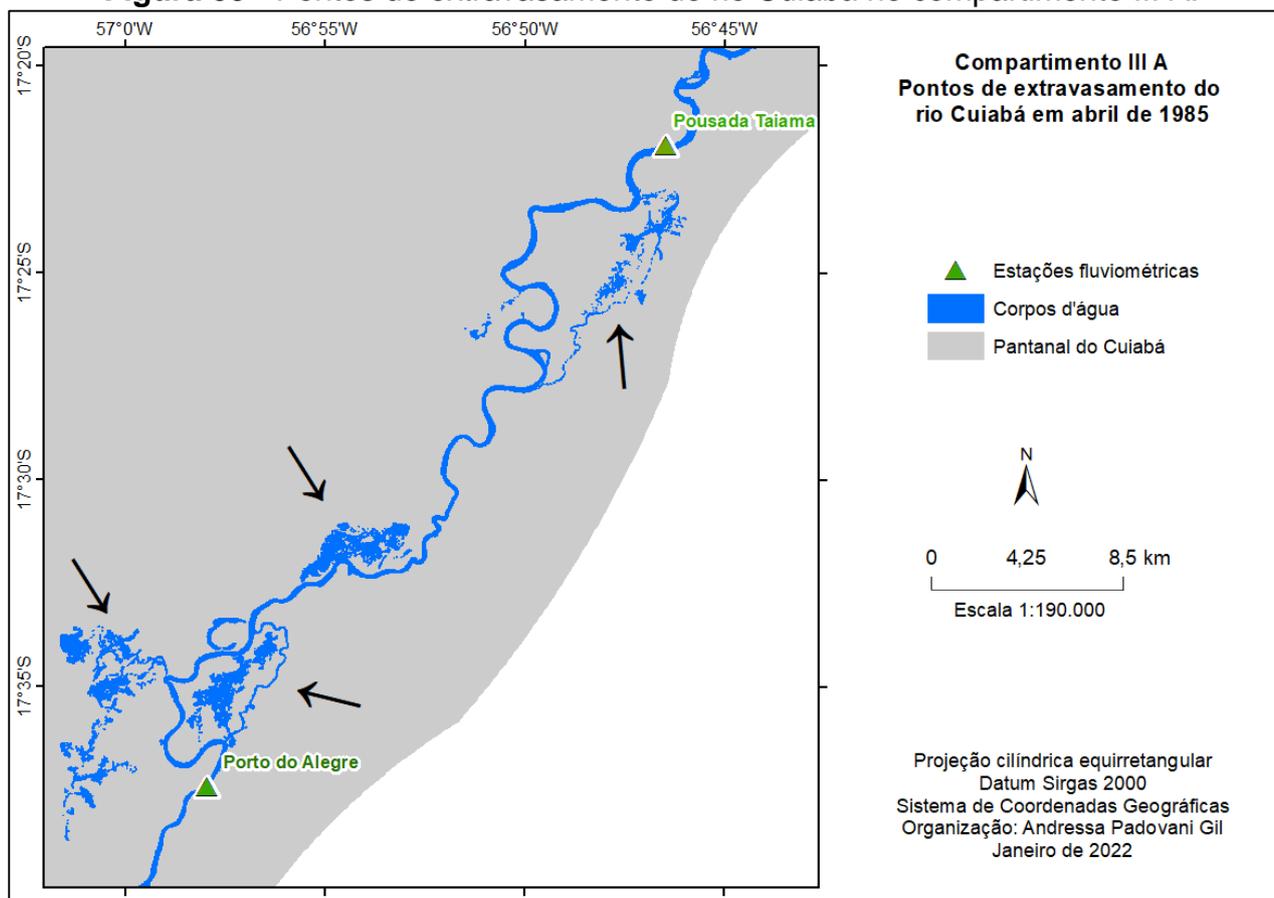
**Fonte:** Dados da ANA (2019), organizada pela autora.

A precipitação total acumulada no trimestre para a inundação de março e abril de 1985 foi 656,90 mm, enquanto a precipitação total acumulada para a inundação de fevereiro de 2006 foi 511,20 mm. Os dados médios de nível e vazão do rio para cada mês também se apresentaram maiores para o evento de inundação de 1985, o que pode ter contribuído para que sua inundação tenha sido maior que a de 1996.

Como se observa na Figura 54, a inundação de 1985 foi mais expressiva que as demais, e considerando que para as imagens de 1994, 2008 e 2014 existem lacunas no *shape* de corpos d'água causadas por cobertura de nuvens acima do rio Cuiabá em seu trecho final de deságue no rio Paraguai, a seguir serão apresentadas as considerações mais importantes sobre a dinâmica hídrica nesse compartimento baseada nos mapas de abril de 1985.

A jusante da estação Pousada Taiamã o rio Cuiabá apresenta duas áreas de extravasamento das águas para a planície, indicadas com os retângulos pretos no mapa de abril de 1985 (Figura 55). A primeira área indicada pelo retângulo A se localiza entre as estações fluviométricas de Pousada Taiamã e Porto do Alegre, ocorrendo pontos de rompimento da margem esquerda e direita do rio Cuiabá, dando origem a pequenos corpos d'água na planície (Figura 55).

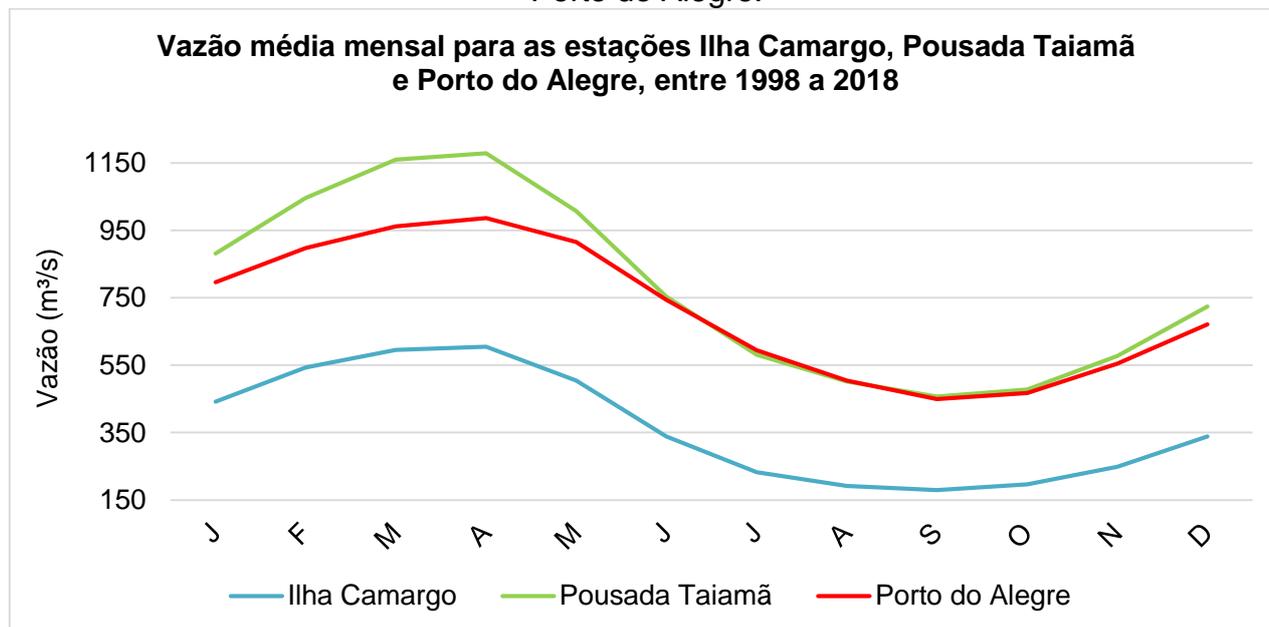
**Figura 55 - Pontos de extravasamento do rio Cuiabá no compartimento III A.**



**Fonte:** Elaborado pela autora.

Nessa área, a perda de água para a planície pode ser constatada nos dados de vazão média do rio Cuiabá, apresentados na Figura 56, onde se observa uma diminuição na vazão da estação fluviométrica Pousada Taiamã para a Porto do Alegre no período de cheia (janeiro a abril). No mês de abril, que registra o pico, a vazão média para a estação Pousada Taiamã (montante) é de 1.179,07 m<sup>3</sup>/s, e para a estação Porto do Alegre (jusante), 986,74 m<sup>3</sup>/s.

**Figura 56** - Vazão média mensal para as estações Ilha Camargo, Pousada Taiamã e Porto do Alegre.



**Fonte:** Dados da ANA (2019), organizada pela autora.

A vazão do rio Cuiabá neste trecho apresenta um comportamento semelhante nas três estações analisadas, apresentando maiores valores entre janeiro a maio, com o pico no mês de abril e menor valor no mês de setembro, e decaindo suavemente de junho a outubro, quando volta a subir lentamente.

A segunda área, indicada pelo retângulo B na Figura 54, localiza-se próximo à sua foz, no rio Paraguai, onde o rio Cuiabá perde água para a planície e inunda áreas consideráveis. Nessa região, o rio Paraguai também perde água para a planície, formando grandes corpos d'água que se misturam com as águas extravasadas do rio Cuiabá, não sendo possível identificar com precisão a contribuição isolada de cada um. Existem, também, inúmeras lagoas, tanto à esquerda quanto à direita do rio Cuiabá, das quais o rio faz conexão direta com apenas algumas.

A conectividade das águas inundadas nessa região com os rios Cuiabá e Paraguai é evidenciada por Adámoli (1995), que classifica essa sub-região como “Pantanal do Paraguai”, e caracteriza-a “pelo claro predomínio de uma paisagem lacunar, que se estende por quase 150 km de comprimento, por 50 km de largura, confundindo-se com a foz do rio Cuiabá” (ADÁMOLI, 1995, p. 7).

Assine *et al.* (2016) discorrem sobre a dinâmica hidrológica nessa região, que compreende em sua delimitação duas distintas planícies do rio Paraguai: o Paraguai-Canzi

(a norte do rio Paraguai) e o Paraguai-Amolar (a sul do rio Paraguai), que recebem água e sedimentos dos rios Cuiabá e Paraguai. A planície Paraguai-Amolar possui uma feição estreita, limitada a oeste pela Serra do Amolar e a leste pelos megaleques do rio Cuiabá e Taquari, produzindo um efeito de gargalo das águas vindas de montante e causando um atraso na onda do pulso de inundação. Ainda sobre o comportamento das águas nessa região, os autores indicam:

[...] A planície fluvial estreita no gargalo da Serra do Amolar causa constrição do fluxo e inundação de remanso a montante. [...] Em consequência, o nível das águas sobe na planície de inundação dos rios Paraguai e Cuiabá, bem como nas lagoas Uberaba e Gaíva, criando uma grande área frequentemente inundada. [...] A redução no transporte de carga de sedimentos torna esta área um local de sedimentação ativa, exemplificado por leques de arrombamento no curso inferior do rio Cuiabá<sup>2</sup> (ASSINE *et al.*, 2016, p. 101, tradução nossa).

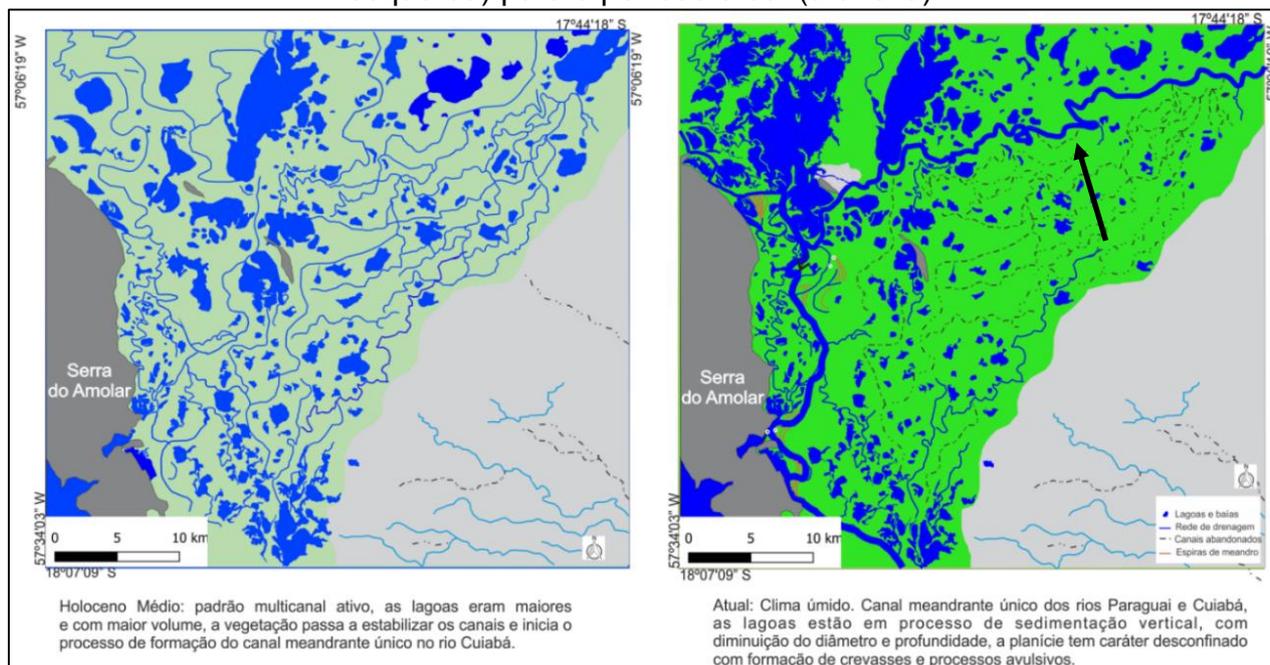
Luz (2019), em sua pesquisa sobre a hidrodinâmica da confluência dos rios Cuiabá-Paraguai identificou que esse efeito de gargalo no fluxo das águas é influenciado também pela potência de canal do rio Cuiabá, que em certos períodos do ano (principalmente no período de vazante) é maior que a potência do rio Paraguai e domina a direção do fluxo. Isso ocorre pelo fato de que o pico de cheia chega primeiro no rio Cuiabá, e posteriormente, no rio Paraguai, contribuindo para o atraso do pulso de inundação.

O autor realizou uma reconstrução paleoambiental neste trecho do megaleque do rio Cuiabá, identificando as mudanças no padrão de canal do rio. Durante grande parte do Holoceno, existia nessa área um sistema distributivo mais ativo, e a drenagem do rio Cuiabá era desconfinada, multicanal e distributiva. A partir de aproximadamente 3.000 anos antes do presente, o padrão multicanal começou a ser abandonado, dando lugar a um canal meandrante único (LUZ, 2019), como se observa na Figura 57: o rio Cuiabá em seu canal único está indicado com a seta preta. Ainda segundo o autor, as lagoas presentes nessa região são resultantes do crescimento dos diques marginais, que isolaram esses corpos hídricos durante a formação da planície.

---

<sup>2</sup> [...] Narrow river plain in the Serra do Amolar bottleneck causes flow constriction and backwater flooding upstream. [...] In consequence, the water level rises in the floodplain of the Paraguay and Cuiabá rivers, as well as in the Uberaba and Gaíva lakes, creating a large area often inundated. [...] The reduction in sediment load transport makes this area a site of active sedimentation, exemplified by crevasse splays in the lower course of the Cuiabá River. (ASSINE *et al.*, 2016, p. 101).

**Figura 57** - Evolução geomorfológica do canal do rio Cuiabá, do Holoceno Médio (à esquerda) para o período atual (à direita).



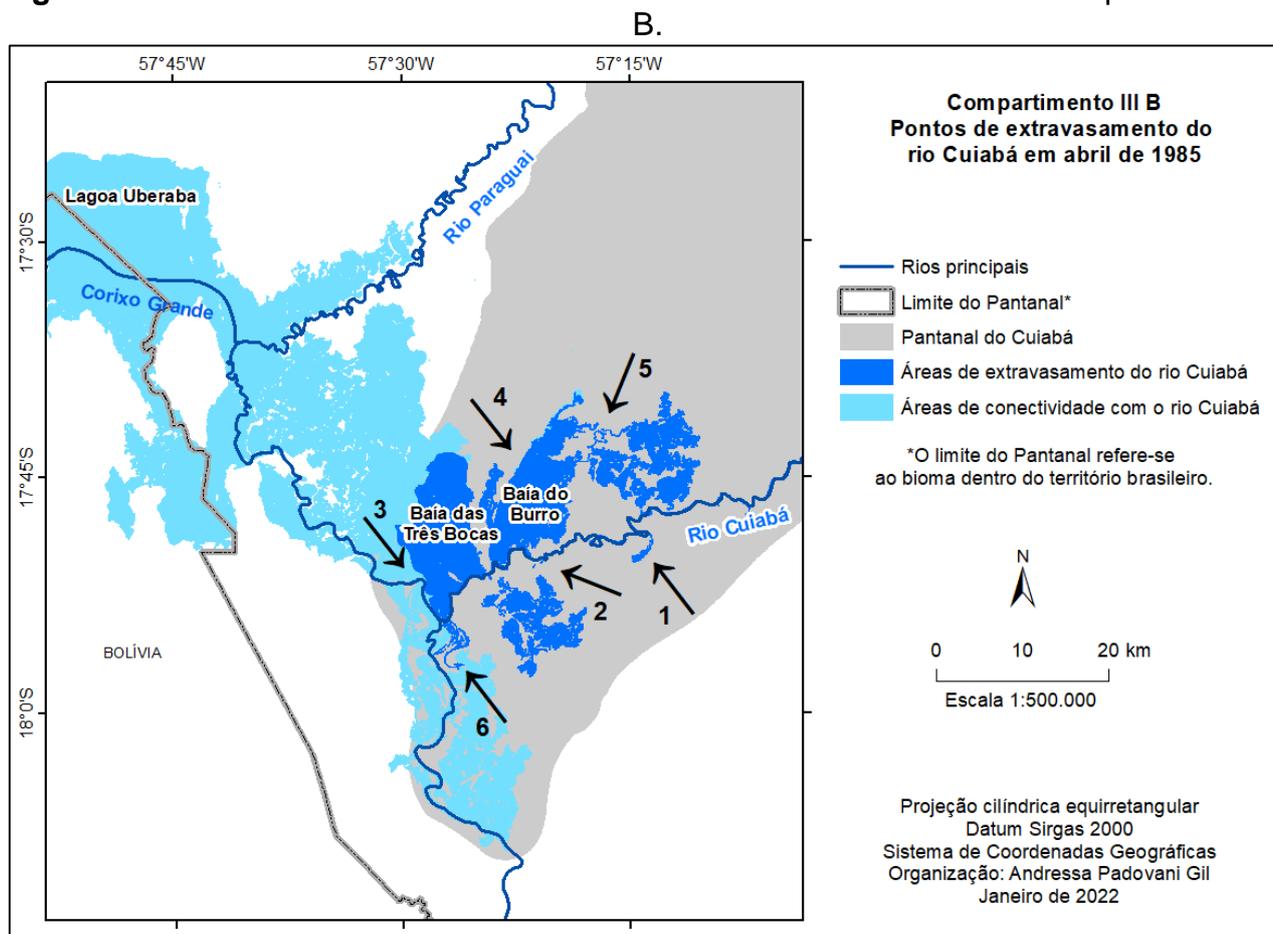
**Fonte:** Luz (2019).

Polaz (2013) identificou e caracterizou os corpos d'água dessa região, apresentando os nomes dos corixos que conectam o rio Cuiabá às lagoas. Alguns desses nomes foram utilizados neste trabalho, ao identificá-los no mapeamento realizado.

No compartimento III B, o rio Cuiabá faz conexão direta com o sistema lacustre da Baía do Morro e Baía das Três Bocas, perdendo água para essas lagoas. Estas, por sua vez, se conectam com diversos outros corpos d'água à sul e à noroeste do rio Cuiabá, se misturando a uma grande massa de água que se conecta também à Lagoa Uberaba e entorno, que são áreas sob influência de inundação do rio Paraguai. Por este motivo, os corpos d'água conectados ao rio Cuiabá foram separados em dois *shapes*, contendo:

- Corpos d'água da planície que se conectam ao rio Cuiabá;
- Corpos d'água da planície que recebem extravasamento das águas do rio Cuiabá.

A Figura 58 apresenta o mapeamento realizado deste trecho para a imagem de abril de 1985. As setas indicam pontos de conectividade com o rio Cuiabá que serão apresentados adiante em maior escala de detalhe.

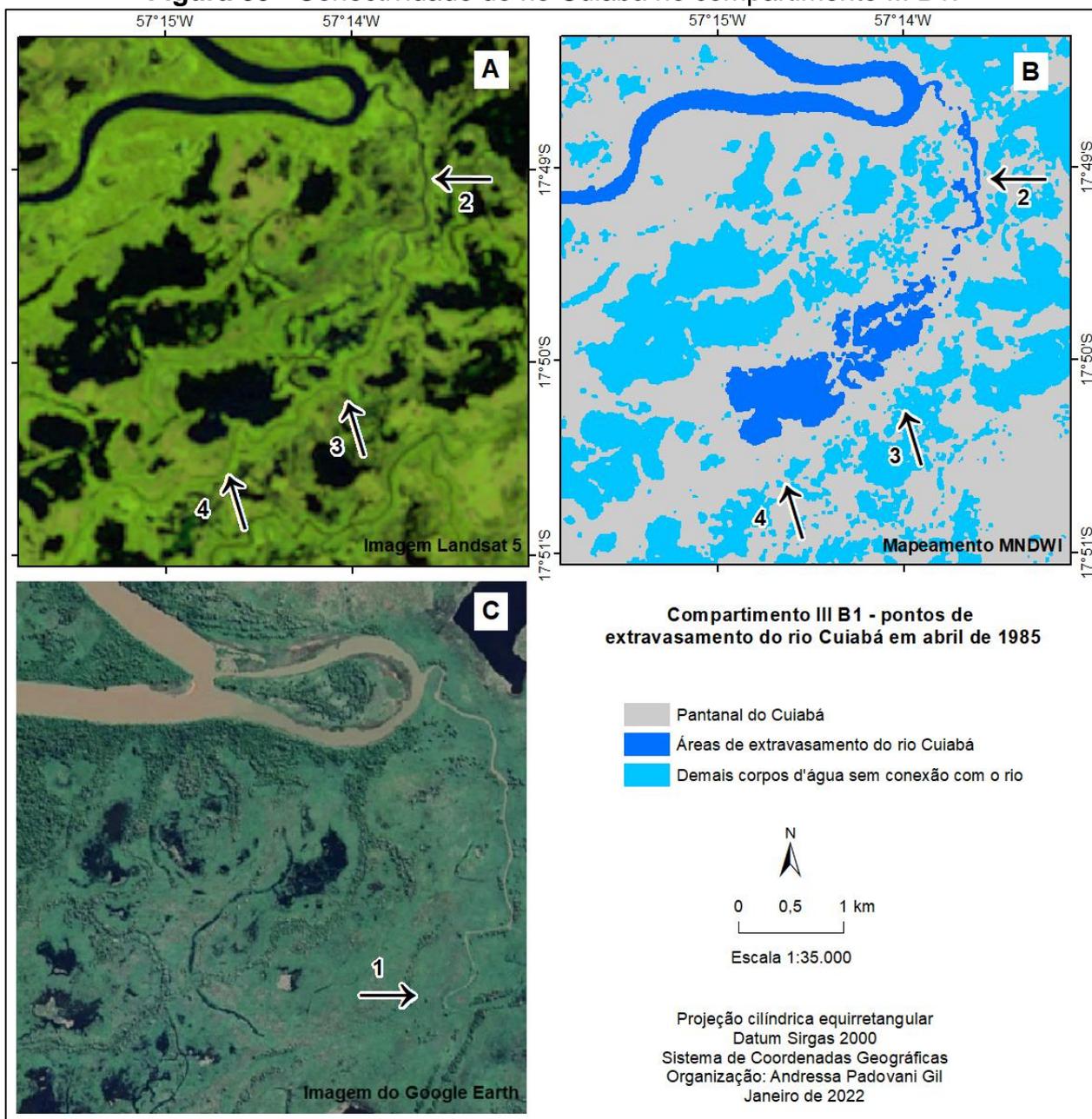
**Figura 58 - Pontos de extravasamento e conectividade do rio Cuiabá no compartimento III**

**Fonte:** Elaborado pela autora.

Neste trecho, o rio Cuiabá possui alguns pontos de arrombamento que geram estreitos canais que extravasam água para a planície. Alguns desses canais se bifurcam, deságuam em pequenas lagoas ou geram espraiamento das águas inundando a planície, e outros simplesmente cessam o fluxo de água sem desaguar em outro corpo d'água ou gerar grandes inundações: nesses casos, geralmente são paleocanais, cuja continuidade ocorria há milhares de anos atrás, conforme ilustrado na Figura 57.

A Figura 59 apresenta no quadro C um exemplo de arrombamento do rio Cuiabá em canal estreito que não deságuam em nenhum corpo d'água, indicando com a seta 1 o ponto onde o canal cessa. Esse canal, como se observa na seta 2 nos quadros A e B, é reativado em períodos de cheia e serve como fluxo de escoamento para o extravasamento das águas do rio Cuiabá.

**Figura 59 - Conectividade do rio Cuiabá no compartimento III B1.**

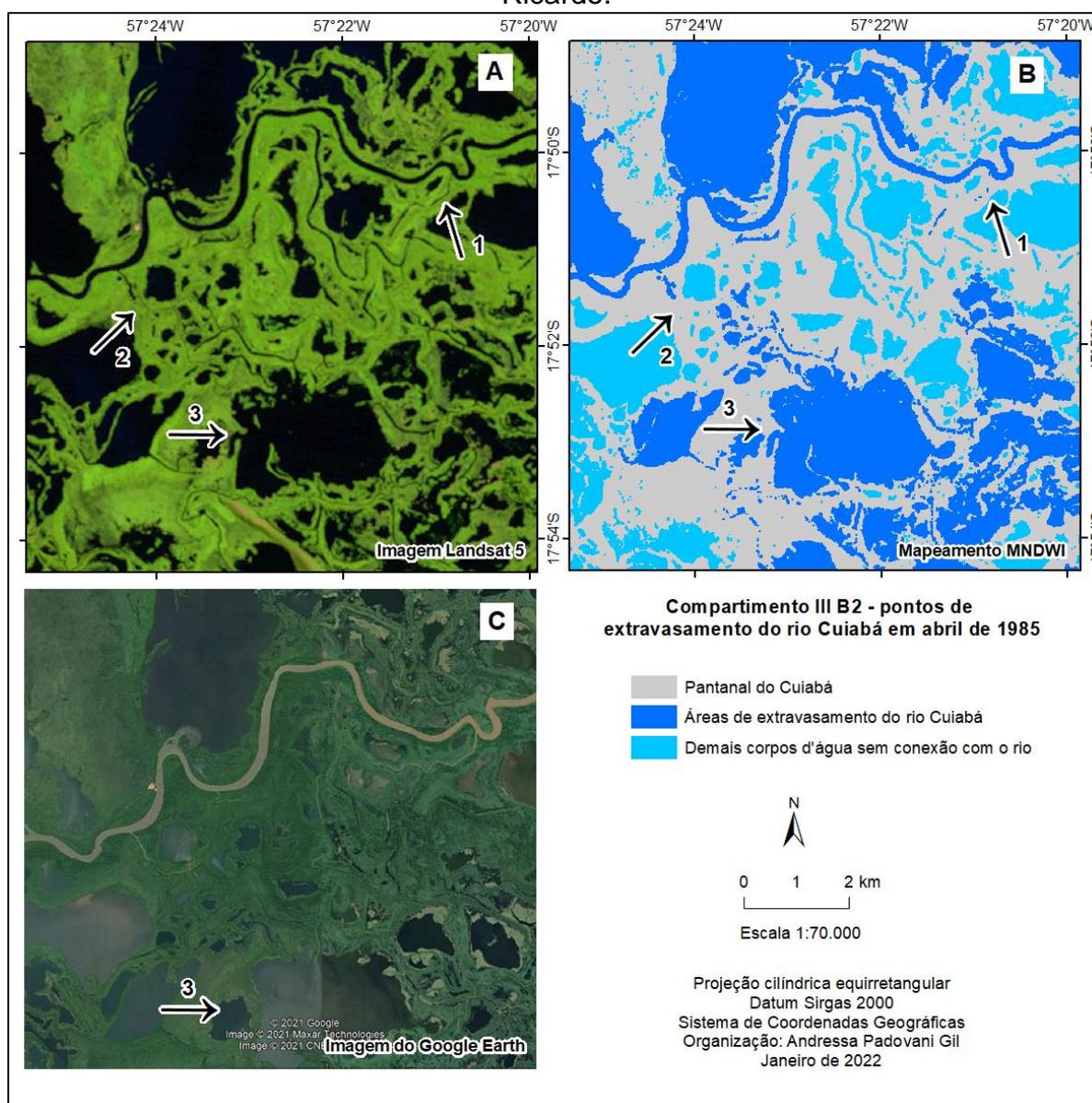


**Fonte:** Elaborado pela autora.

É possível observar também na Figura 59 que o MNDWI apresentou limitações para o mapeamento de canais mais estreitos, dificultando uma análise mais assertiva da dinâmica hídrica dessa região. Um exemplo é o próprio canal gerado a partir do ponto de arrombamento indicado nessa figura, que no mapeamento gerado apresenta descontinuidade em direção a jusante, como se observam nas setas 3 e 4: é possível observar no quadro A que o estreito canal segue seu curso d'água, enquanto no quadro B, no mapeamento gerado, ele não existe.

A Figura 60 apresenta o compartimento III B2, na qual se observa nas setas 1 e 2 que o MNDWI não mapeou estreitos canais de arrombamento do rio Cuiabá. O canal indicado pela seta 2 é denominado de corixo Boca do Ricardo por Polaz (2013), e segundo a autora, possui comunicação permanente com o rio Cuiabá. Observa-se que esse corixo conecta o rio com a lagoa indicada pela seta 3. Mesmo que o MNDWI não tenha conseguido mapear toda a extensão do corixo Boca do Ricardo, os fragmentos de polígonos do *shape* foram selecionados e adicionados ao mapa de corpos d'água que se conectam ao rio Cuiabá, dadas as evidências de que essa conectividade ocorre de fato.

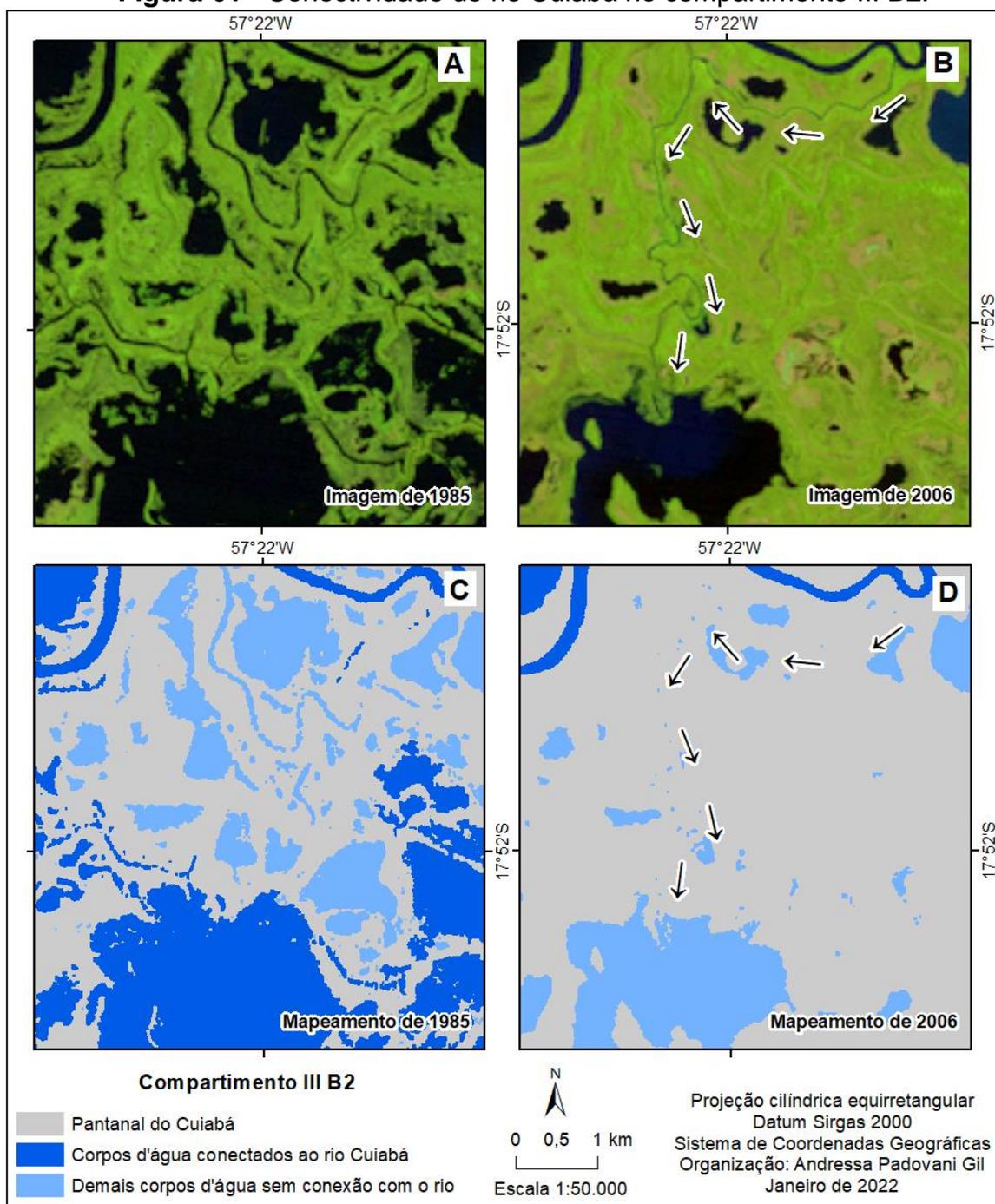
**Figura 60 - Conectividade do rio Cuiabá no compartimento III B2 - corixo Boca do Ricardo.**



Fonte: Elaborado pela autora.

O canal indicado pela seta 1 (Figura 60) na imagem de abril de 1985 aparentemente cessa sem desaguar em nenhum outro corpo d'água. Analisando a Figura 61, com a imagem de outra data (2006) é possível observar melhor seu traçado e notar sua conectividade com a mesma lagoa conectada ao corixo Boca do Ricardo: a direção dos fluxos está apresentada com as setas no quadro B.

**Figura 61 - Conectividade do rio Cuiabá no compartimento III B2.**

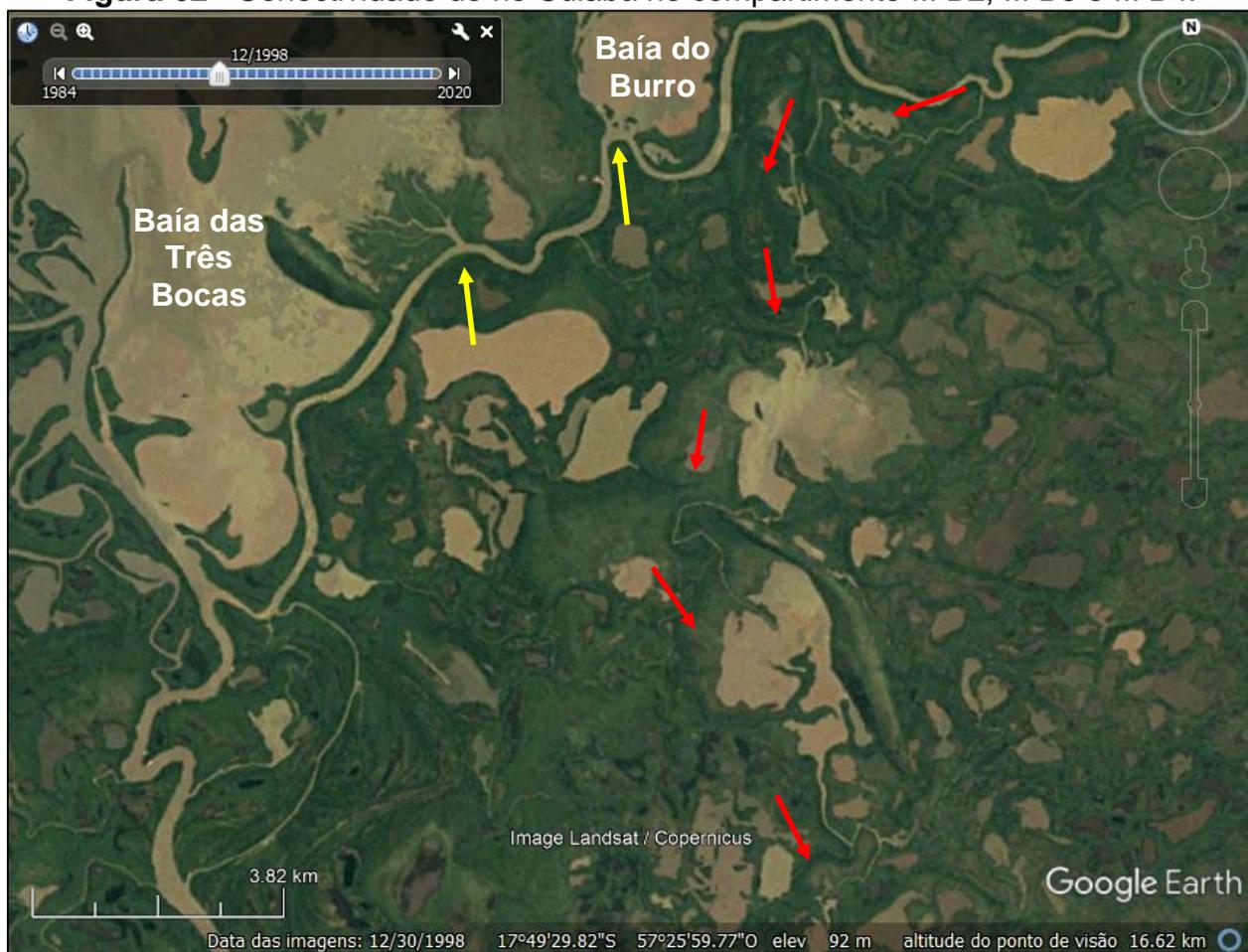


Fonte: Elaborado pela autora.

No quadro D da Figura 61, observa-se que o MNDWI gerado para a imagem de 2006 não foi capaz de realizar o mapeamento deste canal, e por este motivo, o resultado para o mapeamento desta imagem aponta que não existe conectividade do rio Cuiabá com a lagoa. É importante observar, ainda, o caráter altamente mutável dos canais e da dinâmica hidrológica entre as duas imagens apresentadas na Figura 61. Embora a imagem de 1985 apresente uma inundação mais expressiva, foi em 2006, que o rio Cuiabá registrou uma cota maior, com 615 cm, enquanto em 1985 registrou 403 cm.

A Figura 62 possibilita uma visualização ainda melhor deste canal, e a conectividade que é realizada entre o rio Cuiabá e a lagoa. O canal ainda segue o fluxo a montante, como mostrado nas setas vermelhas da Figura 60, se conectando com outra lagoa e mais corpos d'água.

**Figura 62 -** Conectividade do rio Cuiabá no compartimento III B2, III B3 e III B4.

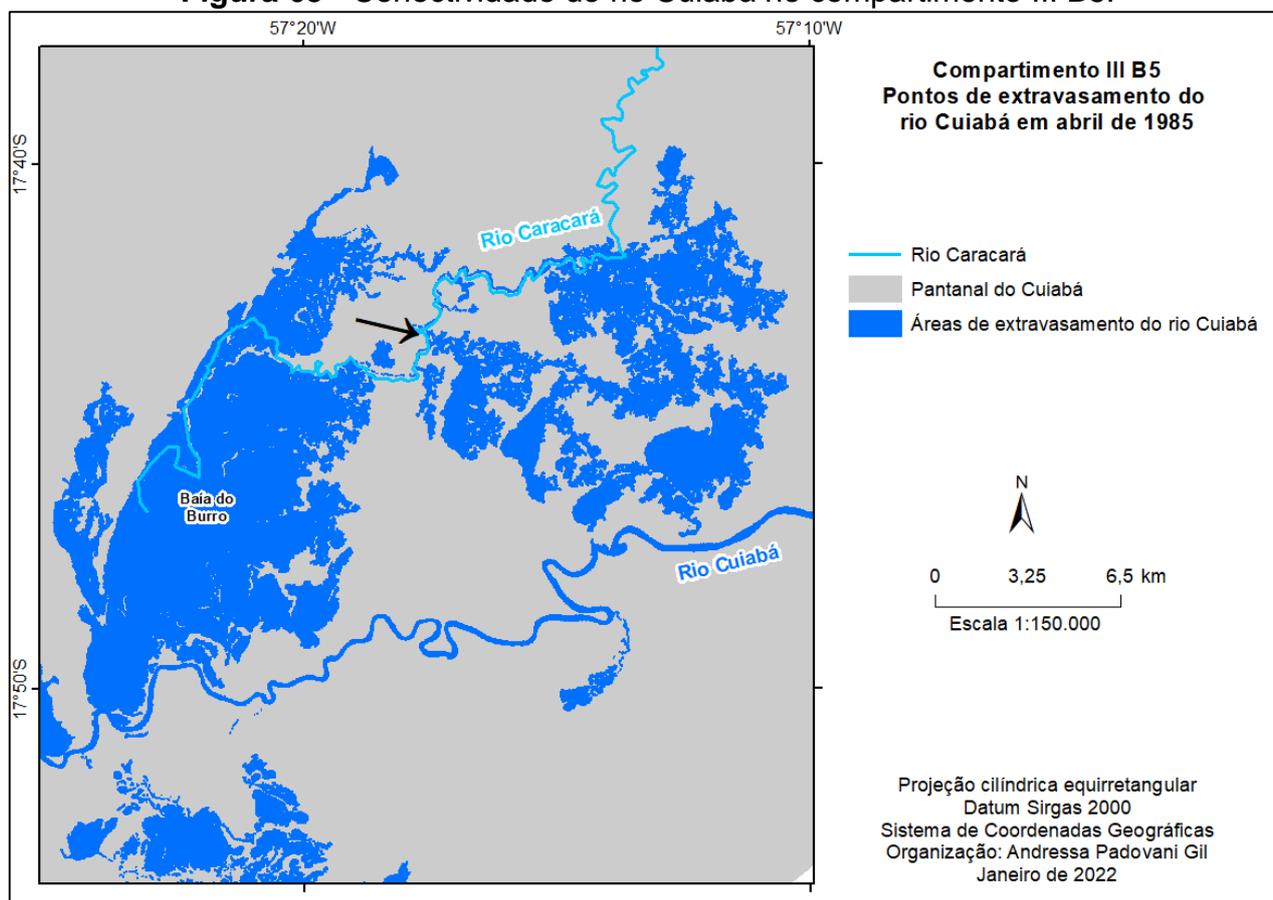


Fonte: *Google Earth Pro* (2020), organizado pela autora.

As setas amarelas na Figura 62 apresentam a conectividade do rio Cuiabá com a Baía das Três Bocas e a Baía do Burro, do compartimento III B3 e III B4. O canal que liga o rio Cuiabá à Baía das Três Bocas é denominado de Corixo Morro do Caracará (POLAZ, 2013).

O compartimento III B5 é composto por paleocanais intermitentes e lagoas permanentes, além do rio Caracará que deságua na Baía do Burro, que por sua vez está conectada ao rio Cuiabá por sua margem direita, como se observa na Figura 63. Em período de cheia, ocorrem pontos de arrombamento do rio Caracará indicados com a seta preta na Figura 63, reativando paleocanais e fazendo conectividade com as lagoas do compartimento III B5, configurando uma grande massa de área interligada.

**Figura 63 - Conectividade do rio Cuiabá no compartimento III B5.**

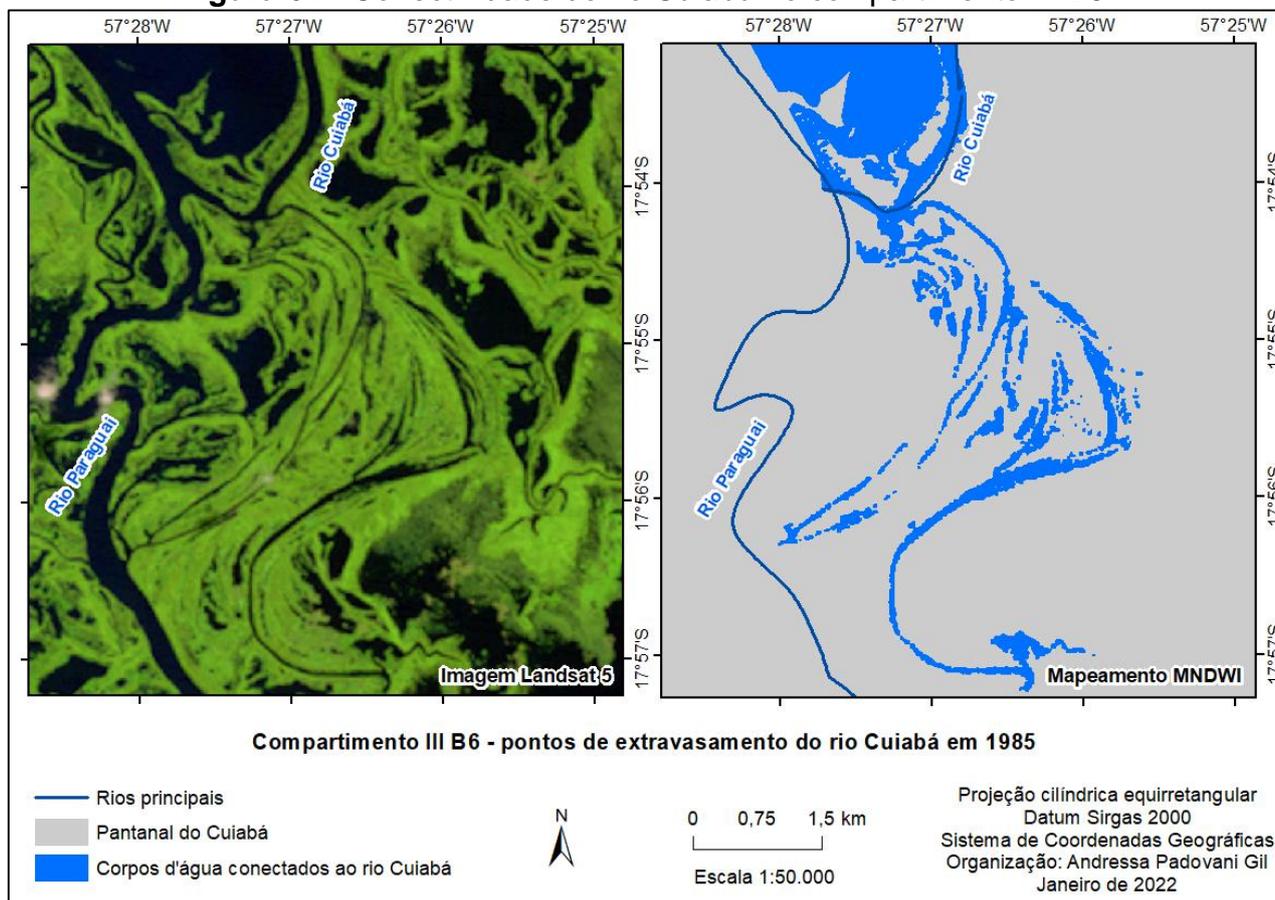


**Fonte:** Elaborado pela autora.

O compartimento III B6 se localiza a sul do rio Cuiabá, em sua margem esquerda, bem próximo à foz no rio Paraguai. Nesse trecho, ocorre um ponto de arrombamento do rio

Cuiabá, formando um arco flexionado para leste e desaguando mais adiante no rio Paraguai, como se observa na Figura 64.

**Figura 64 - Conectividade do rio Cuiabá no compartimento III B6.**

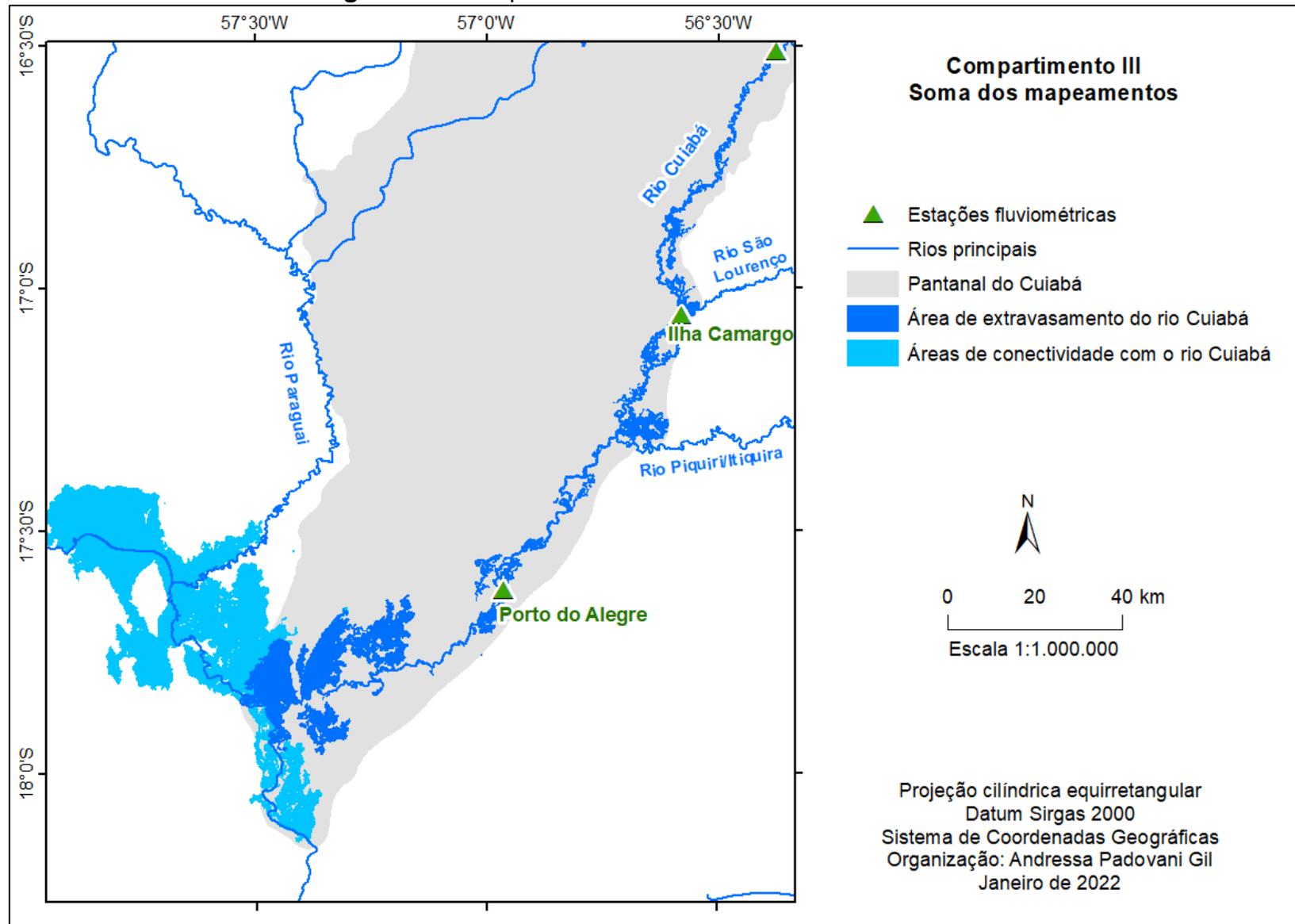


**Fonte:** Elaborado pela autora.

A soma de todos os corpos d'água conectados ao rio Cuiabá no compartimento III totaliza 1.737,40 km<sup>2</sup>; enquanto a soma dos corpos d'água que recebe extravasamento do rio totaliza 495,71 km<sup>2</sup>. Isso significa que 1.241,69 km<sup>2</sup> são de áreas que fazem conexão com o rio Cuiabá, mas provavelmente não recebem água do seu leito nas cheias, que são principalmente as áreas próximas ao rio Paraguai e recebem influência de sua inundação, se conectando ao rio Cuiabá no compartimento III, pontos B3 e B6, como já mostrado na Figura 57.

A Figura 65 apresenta todo o mapeamento realizado para o compartimento III, com os corpos d'água que recebem extravasamento do rio Cuiabá e os corpos d'água que se conectam ao rio.

**Figura 65 - Compartimento III - soma das áreas inundadas.**

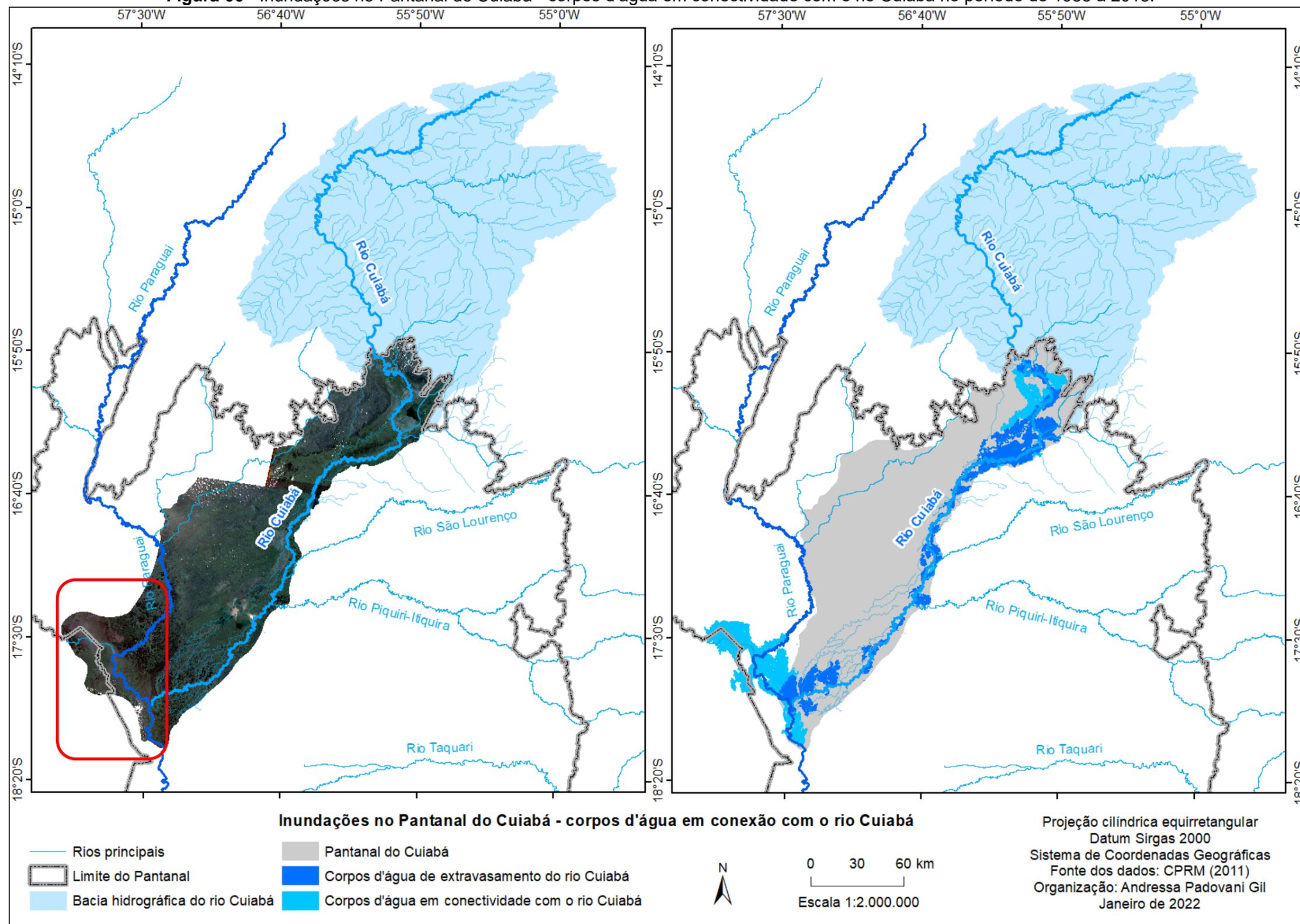


Fonte: Elaborado pela autora.

#### **4.4.4 Síntese das análises de inundação**

O resultado do mapeamento das inundações no Pantanal do Cuiabá revelou que os locais onde o rio Cuiabá mais contribui para as inundações são a montante, logo quando o rio entra no Pantanal; e a jusante, próximo à foz no rio Paraguai, como se observa na Figura 66.

**Figura 66 - Inundações no Pantanal do Cuiabá - corpos d'água em conectividade com o rio Cuiabá no período de 1985 a 2018.**



Fonte: Elaborado pela autora

A Tabela 10 apresenta a comparação das inundações entre os três compartimentos, e o total para o Pantanal do Cuiabá. Importante reforçar, como já mencionado no início do capítulo, que certos trechos dos compartimentos se sobrepõem, portanto o total para o Pantanal do Cuiabá não coincide com a soma individual dos compartimentos.

**Tabela 10** - Síntese das áreas inundadas no Pantanal do Cuiabá.

<b>Local</b>	<b>Área extravasamento (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área de conectividade que não recebe extravasamento (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área conectividade total (km<sup>2</sup>)</b>
Compartimento I	785,25	381,92	1.167,17
Compartimento II	199,25	22,19	221,44
Compartimento III	495,71	1241,69	1.737,40
Pantanal do Cuiabá	1.389,48	1.632,82	3.022,30

**Fonte:** Organizada pela autora

O trecho a montante é o que mais recebe extravasamento das águas do rio Cuiabá, em especial no trecho em que o rio muda seu padrão de canal de meandrante para multicanal, inundando vastas áreas da planície, como apresentado na Figura 43.

Por outro lado, o trecho de jusante é onde o rio Cuiabá realiza a maior conectividade com outras áreas inundadas que não recebem diretamente sua contribuição, que são as áreas sob a influência de inundação do rio Paraguai, como a área indicada em vermelho na Figura 66, que por este motivo não foi mapeada como parte do Pantanal do Cuiabá.

No trecho médio do rio Cuiabá dentro do Pantanal apresenta os menores valores de contribuição na área inundada, extravasando apenas nas áreas mais próximas ao canal.

De maneira geral, nas estações fluviométricas analisadas, as vazões médias do rio Cuiabá diminuem de montante para jusante no primeiro semestre do ano; e no segundo semestre, se estabilizam ou aumentam. Exceção é o trecho da estação fluviométrica Ilha Camargo (montante) para a estação Pousada Taiamã (jusante), pois conforme apresentado, nesse trecho o rio Cuiabá recebe a contribuição de seus principais afluentes (São Lourenço e Piquiri-Itiquira), aumentando sua vazão. Essa vazão, porém, volta a diminuir para a última estação, Porto Alegre, localizada a jusante. Isso evidencia duas características importantes sobre o Pantanal, já conhecidas pela literatura e que puderam ser constatadas também nesse estudo:

- Os principais rios do Pantanal possuem drenagem distributária, perdendo água do seu leito para a planície e inundando áreas consideráveis;
- O Pantanal, por ser muito plano, exerce um efeito de impedimento para o escoamento, retardando as inundações por mais tempo na planície.

Sobre essa característica de retardamento das inundações, analisando o rio Cuiabá, Adámoli (1995) observou que “quanto maiores sejam as vazões que passam por Cuiabá, maiores serão as perdas, uma vez que a estação Pantanal (Faz. São João) estabiliza sua vazão máxima em torno de 350-400 m<sup>3</sup>/s” (ADÁMOLI, 1995, p. 24-27). O autor ainda pontua que foi esta observação que deu origem à proposta de caracterizar os rios do Pantanal como um “sistema de vertedouros naturais, pelos quais os excedentes são transbordados, dando lugar às inundações regionais” (ADÁMOLI, 1995, p. 27).

Por fim, foi possível observar, com esta pesquisa, a importância e a contribuição do rio Cuiabá para as inundações no Pantanal, sendo um dos principais rios da sua porção norte.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos nessa pesquisa evidenciaram o importante papel da bacia hidrográfica do rio Cuiabá, no planalto, para as inundações do Pantanal. É na bacia hidrográfica que ocorre maior precipitação, e suas características ambientais contribuem para o predomínio do escoamento superficial, de modo que a precipitação se converte em fluxos hídricos alimentando a vazão do rio Cuiabá.

A diferença de altitudes na bacia hidrográfica e no Pantanal também é um fator importante para as inundações locais: o gradiente de canais que na bacia hidrográfica é maior que no Pantanal evidencia as condições que propiciam a formação do megaleque do rio Cuiabá, que ao sair do planalto com maiores declividades e chegar no Pantanal em relevo acentuadamente plano, adquire padrão distributário e perde água e sedimentos para a planície. Somado ao padrão distributário e ao relevo plano, os solos encharcados do Pantanal que possuem baixa capacidade de infiltração possibilitam a manutenção das inundações de vastas áreas por longos períodos.

Os diferentes padrões de inundação em cada compartimento evidenciam que no primeiro trecho a contribuição do rio Cuiabá para as inundações é mais expressiva que nos demais. Essa diferença pode ser justificada pela maior precipitação local que ocorre no primeiro compartimento, diminuindo em direção a jusante no Pantanal, e pela mudança no rio Cuiabá que passa a ser multicanal e contribui significativamente para as inundações locais. Mais a jusante no compartimento médio, ao assumir novamente um canal único meandrante, sua influência para as inundações diminui e se restringe às áreas mais próximas ao rio; e no último compartimento, a evolução geomorfológica do rio Cuiabá deixa marcas até os dias atuais.

Como já apresentado, nesse último trecho, o rio possuía um padrão multicanal que passou para um padrão de canal único, e alguns desses paleocanais ou remanescentes de canais estreitos e ativos hoje servem como fluxo de escoamento do rio Cuiabá em períodos de cheia, inundando a planície e conectando-o a lagoas presentes no local. Além disso, a proximidade ao rio Paraguai e as áreas de inundação sob sua influência restringem as inundações causadas pelo rio Cuiabá, causando um efeito de gargalo no fluxo das águas e contribuindo também para a manutenção de áreas inundadas, retardando o escoamento a jusante.

A quantificação da área dos corpos d'água do Pantanal que recebem extravasamento do rio Cuiabá ou que se conectam a ele não deve ser considerada como absoluta e inquestionável, visto que a dinâmica hídrica da planície é extremamente complexa e varia significativamente de um ano para o outro; além das limitações apresentadas na metodologia utilizada. A grande quantidade de paleocanais e canais intermitentes na planície pode assumir diferentes características ao longo do tempo e responder de maneira diferente a cada evento de inundação. Além disso, há que se considerar também o caráter altamente mutável dos rios do Pantanal e os frequentes processos de avulsão.

O mapeamento gerado pelo MNDWI apresentou resultados satisfatórios para o mapeamento dos cursos d'água, porém com limitações de aplicabilidade para uma área úmida tão complexa quanto o Pantanal.

As principais dificuldades e limitações encontradas na pesquisa foram:

- Separação do solo e da vegetação úmidos com corpos d'água, visto que há algumas áreas de solo úmido que o MNDWI mapeia como se fosse água. Além disso, no Pantanal há grandes áreas que ficam inundadas no período de cheia e que se encontram cobertas de vegetação aquática, podendo mascarar a presença de água e comprometer o seu mapeamento, visto que a vegetação possui respostas espectrais diferentes da água.
- Mapeamento de canais estreitos, como corixos e vazantes que são abundantes no Pantanal. Muitas vezes, a conectividade entre os rios principais e as lagoas, baías e áreas inundadas na planície é feita através desses canais, que não foram satisfatoriamente mapeados principalmente por conta das limitações técnicas da resolução espacial das imagens orbitais (de 30 metros).
- Identificação do que são os corpos d'água extravasados do rio Cuiabá e de outros rios. As áreas de confluência no Pantanal são marcadas por intensa mistura de água de ambos os rios com outros corpos d'água inundados na planície, o que impossibilita uma identificação mais assertiva da origem dessas águas.
- A presença de nuvens sobre trechos do rio ou das áreas inundadas é um problema comum quando se utilizam imagens orbitais, sendo um fato já esperado, especialmente por ter se trabalhado com o período coincidente com a maior pluviosidade.

Os resultados da pesquisa corroboram com o caráter integrador da paisagem geográfica e evidenciam a influência mútua de seus elementos, como o relevo, a geologia, o solo e o clima, este último que regula a entrada de águas no sistema da bacia. A análise multiescalar correlacionando as diferentes unidades da BAP (o planalto e a planície) também exalta o caráter unitário da bacia hidrográfica, ao passo em que é possível perceber que alterações em seus elementos poderiam impactar direta ou indiretamente as inundações da planície pantaneira.

Sugere-se que sejam realizados em trabalhos futuros, campanhas de campo para validação dos mapeamentos da inundação no Pantanal, bem como para obter informações mais detalhadas sobre a dinâmica hídrica que somente são possíveis de obtenção a partir de uma observação *in loco*, como a verificação das áreas de rompimento da margem do rio, conectividade com outros rios e demais corpos d'água da planície, entre outros.

## REFERÊNCIAS

- ADAMOLI, J. **Diagnóstico do Pantanal: características ecológicas e problemas ambientais**. Brasília: PNMA, 1995.
- ANA. **Diagnóstico Analítico do Pantanal e Bacia do Alto Paraguai** - Implementação de práticas de gerenciamento integrado de bacia hidrográfica para o Pantanal e Bacia do Alto Paraguai. Brasília: Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - ANA/GEF/PNUMA/OEA, 2004.
- ANA. Portal Hidroweb - Séries históricas de estações. Disponível em: <[http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/medicoes\\_historicas\\_abas.jsf](http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/medicoes_historicas_abas.jsf)>. Acesso em 25 de abril de 2019.
- ANJOS, R. S.; CANDEIAS, A. L. B.; NÓBREGA, R. S. Mapeamento da precipitação estimada e observada no semiárido pernambucano e sua relação com a modelagem de dados espaciais. In: **Revista Brasileira de Cartografia**, Nº 69/3, p. 447-462, 2017.
- ASSINE, M.L. **Sedimentação na Bacia do Pantanal Mato-Grossense, Centro-Oeste do Brasil**. 2003, 105 p. Tese (Livre-Docência em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2003.
- ASSINE, M.L.; MACEDO, H.A.; STEVAUX, J.C.; BERGIER, I.; PADOVANI, C.R.; SILVA, AGUINALDO. Avulsive rivers in the hydrology of the Pantanal wetland. In: BERGIER, I.; ASSINE, M.L. (Orgs.). **Dynamics of the Pantanal wetland in South America**. New York: Springer, 2016, p. 83-110.
- BARBOSA, C.C.F.; NOVO, E.M.L.M.; MARTINS, V.S. **Introdução ao Sensoriamento Remoto de Sistemas Aquáticos: princípios e aplicações**. 1ª edição. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos. 161p. 2019.
- BEIRIGO, R. M. **Formação e degradação de feições redoximórficas em solos do Pantanal-MT**. 2013, 125 p. Tese (Doutorado em Ciências, Área de concentração: Solos e Nutrição de Plantas), Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.
- BERTRAND, G. Paisagem e geografia física global: esboço metodológico. **Revista RA'É GA**, Curitiba, n. 8, p. 141-152, 2004.
- BOTELHO, R. G. M.; SILVA, A. S. Bacia hidrográfica e qualidade ambiental. In: VITTE, A.C.; GUERRA, A. J. T. (Orgs). **Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil**. 7. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2014.

BRASIL. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Plano de Recursos Hídricos da Região Hidrográfica do Paraguai - PRH Paraguai**. Resumo Executivo: Agência Nacional das Águas. Brasília: ANA, 2018.

BRASIL. **Caderno da Região Hidrográfica do Paraguai**. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos. Brasília: MMA, 2006. 140 p.

BRASIL. **Lei Nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Brasil, 1997a. Disponível em <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L9433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm)>. Acesso em: 03 jun. 2019.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. **Plano de conservação da Bacia do Alto Paraguai (PCBAP)**. Brasília, Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal, Programa Nacional do Meio Ambiente. Brasília, DF: PNMA, 1997b.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. **Projeto RADAMBRASIL**. Folha SD-21 Cuiabá: Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1982a.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. **Projeto RADAMBRASIL**. Folha SE-21 Corumbá e parte da Folha SE-20: Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1982b.

BRASIL. Ministério do Interior. **Estudos de Desenvolvimento Integrado da Bacia do Alto Paraguai (EDIBAP)**: relatório da 1ª fase. Descrição física e recursos naturais. Brasília, 1979.

CALHEIROS, D. F.; OLIVEIRA, M. D. O rio Paraguai e sua planície de inundação - o Pantanal Mato-Grossense. **Ciência & Ambiente**, v. 41, p. 113-130, 2010.

CAMARGO, L (org). **Atlas de Mato Grosso**: abordagem socioeconômico-ecológica. Cuiabá, MT: Entrelinhas, 2011.

CASTRO, S. B.; CARVALHO, T. M. Análise morfométrica e geomorfologia da bacia hidrográfica do rio Turvo - GO, através de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento. **Scientia Plena**, v. 5, n. 2, p. 3-7, 2009.

CHIARANDA, R.; COLPINI, C.; SOARES, T. S. Caracterização da Bacia Hidrográfica do Rio Cuiabá. In: **Advances in Forestry Science**, v.3, n.1, p.13-20, 2016.

CHITALE, S. V. River channel patterns. **Journal Hydraulics Division**, ASCE, 96: p. 201-221, 1970.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia fluvial**. 1. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1981.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1980.

COELHO, A. L. N.; RAMOS, A. L. D.; BERGAMASCHI, R. B. Uso Imagens Temporais CBERS-2B/CCD para Zoneamento de Área Sazonalmente Inundável no Município de Piúma - ES: uma proposta metodológica. In: **Anais...** Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, XV, 2011, Curitiba.

COELHO, A.L.N. **Alterações hidrogeomorfológicas no médio-baixo Rio Doce / ES**. 2007, 228 p. Tese (Doutorado em Geografia, Área de concentração: Ordenamento Territorial Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2007a.

COELHO, A.L.N. Modelagem hidrológica da bacia do rio Doce (MG/ES) com base em imagens SRTM (Shuttle Radar Topography Mission). **Caminhos de Geografia**, v.8, n. 22, 2007b.

COELHO NETTO, A. L. C. Hidrologia de encosta na interface com a geomorfologia. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia**: uma atualização de bases e conceitos. 4. ed., Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001, p. 93-148.

COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. **Hidrologia para Engenharia e Ciências Ambientais**. 1ª ed., Porto Alegre: Editora ABRH, 2013.

CORRADINI, F. A. **Geomorfologia fluvial, mudanças ambientais e evolução do Megaleque do rio São Lourenço, quaternário do Pantanal mato-grossense**. 2011, 164 p. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2011.

COSTA, F. R.; ROCHA, M. M. Geografia: Conceitos e paradigmas - apontamentos preliminares. **Revista Geomae**, v.1, n.2, 2010.

COUTO, E. G.; OLIVEIRA, V. A.; BEIRIGO, R. M.; OLIVEIRA JUNIOR, J. C.; NASCIMENTO, A. F.; VIDAL-TORRADO, P. Solos do Pantanal Mato-grossense. In: CURI, N.; KER, J. C.; NOVAIS, R. F.; VIDAL-TORRADO, P.; SCHAEFER, C. E. G. R. [Orgs.] **Pedologia**: Solos dos biomas brasileiros. 1ª. ed., Viçosa-MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2017, p.303-352.

CPRM. Carta hidrogeológica - Folha SD. 21 Cuiabá. 2015a. Disponível em: <<https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/16572>>.

CPRM. Carta hidrogeológica - Folha SE. 21 Corumbá. 2015b. Disponível em: <<https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/17496>>.

CPRM. Previsão hidrológica e alerta de enchentes: Pantanal Mato-Grossense. Disponível em: <[https://www.cprm.gov.br/sace/index\\_bacias\\_monitoradas.php?getbacia=bparaguaiBoletins#](https://www.cprm.gov.br/sace/index_bacias_monitoradas.php?getbacia=bparaguaiBoletins#)>. Acesso em: 20 de março de 2020.

CUNHA, C. N.; JUNK, W. J. Parte II: A Classificação dos Macrohabitats do Pantanal Mato-grossense. In: CUNHA, C. N.; PIEDADE, M. T. F.; JUNK, W. J. **Classificação e delineamento das áreas úmidas brasileiras e de seus macrohabitats**. Cuiabá: EdUFMT, 2014.

CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. Degradação Ambiental. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (orgs.). **Geomorfologia e Meio Ambiente**. 7 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2009. p.337-379.

CUNHA, S.B. Canais fluviais e a questão ambiental. In: CUNHA, S.B; GUERRA, A.J.T. (Orgs.) **A Questão Ambiental: Diferentes Abordagens**. 1. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003.

CUNHA, S.B. Geomorfologia Fluvial. In: GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. (orgs.) **Geomorfologia: Uma Atualização de Bases e Conceitos**. 4. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5ª ed., Brasília: Embrapa, 2018.

FANTIN-CRUZ, I.; GIRARD, P.; ZEILHOFER, P.; COLLISCHONN, W. Dinâmica de inundação. P. 25 a 35. In: FERNANDES, I. M.; SIGNOR, C. A.; PENHA, J. **Biodiversidade no Pantanal de Poconé**. Cuiabá, 2010.

FAUSTO, M. A.; ANGELINI, L. P.; MACHADO, N. G.; NOGUEIRA, J. S.; BIUDES, M. S.; DANELICHEN, V. H. M.; MÜTZENBERG, D. M. S.; NASSARDEN, D. C. S.; MARQUES, H. O. Estimativa do albedo e do saldo de radiação da superfície no sistema de Baías Chacororé-Sinhá Mariana no Pantanal de Mato Grosso por sensoriamento remoto. In: **Anais... XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**. 2015, INPE.

FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

FLORENZANO, T. G. Geotecnologias na geografia aplicada: difusão e acesso. **Revista do Departamento de Geografia**, n. 17, p. 24-29, 2005.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em sensoriamento remoto**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

FLORENZANO, T. G. Sensoriamento remoto para Geomorfologia. In: FLORENZANO, T. G. (Org.). **Geomorfologia, conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

FRANÇA, G. V. **Interpretação fotográfica de bacias e redes de drenagem aplicada a solos da região de Piracicaba**. 1968. 151 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Solos e Nutrição de Plantas)-Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1968.

GIL, A. P.; PADOVANI, C. R.; COELHO, A. L. N. Comparação entre NDWI e MNDWI para o mapeamento de áreas inundadas no Pantanal do Taquari. In: Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2019, Santos. **Anais eletrônicos...** Campinas, 2019. Disponível em: <<https://proceedings.science/sbsr-2019/papers/comparacao-entre-ndwi-e-mndwi-para-o-mapeamento-de-areas-inundadas-no-pantanal-do-taquari>> Acesso em: 04 mai. 2020.

GUERRA, A. T. **Dicionário geológico-geomorfológico**. 5ª ed, Rio de Janeiro: IBGE, 1978.

HELFER, F.; LOPES, F.; RISSO, A.; BELTRAME, L. F. S.; MERTEN, G. H. Estimativa de Perda de Solo por Erosão Laminar na Bacia Hidrográfica do Rio Cuiabá Usando Técnicas de Geoprocessamento. In: XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2003, Curitiba, PR. **Anais do XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. São Paulo, S., 2003.

HORTON, R. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geological Society of American Bulletin**, New York, v. 56, n.3, p. 807-813, 1945.

IBGE. Banco de Dados de Informações Ambientais (BDiA). 2020. Disponível em: <<https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/home>>. Acesso em: 10 mar. 2020.

IBGE. **Manual Técnico de Pedologia**. 3ª ed., Rio de Janeiro: IBGE, 2015.

INPE; EMBRAPA. **Encontro sobre Sensoriamento Remoto aplicado a estudos no Pantanal**. 1995. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/787914/livro-de-resumos>>.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente**. 2. ed. São José dos Campos: Editora Parêntese, 2009

JUNK, W. J.; BAYLEY, P. B.; SPARKS, R. E. **The flood pulse concept in river-floodplain systems**. p. 110-127. In: Proceedings of the International Large River Symposium. Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences, 1989.

JUNK, W. J.; DA SILVA, C. J. O conceito do pulso de inundação e suas implicações para o Pantanal de Mato Grosso. In: SIMPÓSIO SOBRE RECURSOS NATURAIS E SÓCIO-ECONÔMICOS DO PANTANAL, 2., 1999, Corumbá. Manejo e conservação. **Anais...** Corumbá: EMBRAPA - CPAP, 1999. p. 17-28.

JUNK, W. J.; PIEDEDE, M. T. F.; LOURIVAL, R.; WITTMANN, F.; KANDUS, P.; LACERDA, L. D.; BOZELLI, R. L.; ESTEVES, F. A.; NUNES DA CUNHA, C.; MALTCHIK, L.; SCHÖNGART, J.; SCHAEFFER-NOVELLI, Y.; AGOSTINHO, A. A.; NÓBREGA, R. L. B.; CAMARGO, E. Parte I: Definição e Classificação das Áreas Úmidas (AUs) Brasileiras: Base Científica para uma Nova Política de Proteção e Manejo Sustentável. In: CUNHA, C. N.; PIEDEDE, M. T. F.; JUNK, W. J. **Classificação e delineamento das áreas úmidas brasileiras e de seus macrohabitats**. Cuiabá: EdUFMT, 2014.

JUNK, W. J.; WANTZEN, K. M. The flood pulse concept: new aspects, approaches and applications - an update. In: WELCOMME, R. L.; PETR, T. (Orgs.), **Proceedings of the Second International Symposium on the Management of Large Rivers for Fisheries** (p. 117-149). Bangkok: Food and Agriculture Organization and Mekong River Commission, FAO Regional Office for Asia and the Pacific. Vol. II, 2004.

LEOPOLD, L. B.; WOLMAN, M. G. **River channel patterns: braided, meandering and straight**. In: U. S. Geological Survey Paper, (282-B), p. 39-84, 1957.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. 2ª ed, São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

LUZ, L. D. **Geomorfologia da planície de inundação e hidrodinâmica da confluência Paraguai-Cuiabá: Pantanal mato-grossense, Brasil**. 2019, 108 p. Tese (Doutorado em Geografia), Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes, Universidade Estadual de Maringá Maringá, 2019.

MACEDO, H. A. **Evolução geomorfológica e dinâmica hidrossedimentar da Planície fluvial Paraguai-Corumbá, quaternário do Pantanal**. 2017, 193 p. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2017.

MACIEL, A. B. C.; LIMA, Z. M. C. O conceito de paisagem: diversidade de olhares. **Sociedade e Território**, Natal, v. 23, nº 2, p. 159 - 177, jul./dez. 2011.

MARCUZZO, F. F. N.; CARDOSO, M. R. D.; MELO, D. C. R. Distribuição temporal da frequência de chuvas no bioma Pantanal. In: **Anais do III Simpósio de Geotecnologias no Pantanal**. Corumbá: Embrapa, 2010. Disponível em: <<http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/1064>>. Acesso em: 10 jan. 2021

MCFEETERS, S.K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. **International Journal of Remote Sensing**, v. 17, n. 7, p. 1425-1432, 1996.

MEIRA, F. C.; STEVAUX, J. C.; TORRADO, P. V.; ASSINE, M. L. Compartimentação e evolução geomorfológica da planície do rio Cuiabá, Pantanal mato-grossense. In: **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 20, n. 1, p. 159-183, 2019

MENDONÇA, F. **Geografia física: ciência humana?** 4. ed. São Paulo: Contexto, 1996.

MERINO, E. R. **Caracterização geomorfológica do sistema deposicional do rio Miranda (borda sul do Pantanal mato-grossense, MS) com base em dados orbitais**. 2011, 67 p. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2011.

MIOTO, C. L.; FILHO, A. C. P.; ALBREZ, E. A. Contribuição à caracterização das sub-regiões do Pantanal. In: **Entre-Lugar**, Dourados-MS, ano 3, n.6, p. 165 - 180, 2012.

MORAES, A. C. R. **Geografia: Pequena História Crítica**. 20. ed. São Paulo: Annablume, 2005.

MUSIS, C. R.; JÚNIOR, J. H. C.; FILHO, N. P. Caracterização climatológica da Bacia do Alto Paraguai. In: **GEOGRAFIA**, Rio Claro, Vol. 22, N. 1, 1997.

MUSIS, C.R. **Caracterização climatológica da Bacia do Alto Paraguai**. Dissertação, Universidade Federal de Mato Grosso Cuiabá. 65p. 1997.

NARDINI, R. C.; POLLO, R. A.; CAMPOS, S.; DE BARROS, Z. X.; CARDOSO, L. G.; GOMES, L. N. Análise morfométrica e simulação das áreas de preservação permanente de uma microbacia hidrográfica. **Irriga, Botucatu**, v. 18, n. 4, p. 687-699, outubro-dezembro 2013. ISSN 1808-3765.

NOVO, E. M. L. M. Ambientes fluviais. In: FLORENZANO, T.G. (Org.). **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

OLIVEIRA, V. A.; JACOMINE, P. K. T.; COUTO, E. G. Solos do bioma Cerrado. In: CURI, N.; KER, J. C.; NOVAIS, R. F.; VIDAL-TORRADO, P.; SCHAEFER, C. E. G. R. **Pedologia - Solos dos Biomas Brasileiros**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2017.

PADOVANI, C. R. **Dinâmica espaço-temporal das inundações do Pantanal**. 2010, 174 p. Tese (Doutorado em Ecologia Aplicada), Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

POLAZ, C. N. M. **Caracterização da Ictiofauna e Aplicação do Índice de Integridade Biótica no Parque Nacional do Pantanal Mato-grossense, Poconé, MT**. 2013, 175 p. Tese (Doutorado em Ciências), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

PUPIM, F. N. **Geomorfologia e paleo-hidrologia dos megaleque dos rios Cuiabá e São Lourenço, quaternário da bacia do Pantanal**. 2014, 109 p. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2014.

RESENDE, E. K. **Os controles geológicos e os pulsos de inundações no Pantanal**. Artigo de Divulgação na Mídia, Embrapa Pantanal, Corumbá-MS, n. 63, p.1-2. mai. 2004.

RICCOMINI, C.; ALMEIDA, R. P.; GIANNINI, P. C. F.; MANCINI, F. Processos fluviais e lacustres e seus registros. In: TEIXEIRA, W.; FAIRCHILD, T. R.; TOLEDO, M. C. M.; TAIOLI, F. **Decifrando a Terra**. 2 ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, p.306-333, 2009.

ROCHA, A. A. A Dimensão Socioambiental Em Bacias Hidrográficas In: ROCHA, A. A. **Sociedade e Natureza: a produção do espaço urbano em bacias hidrográficas**. 1 ed., Vitória da Conquista: Edições UESB, 2011.

ROCHA, P. C. Geomorfologia e conectividade em ambientes fluviais do Alto rio Paraná, Centro-Sul do Brasil. In: **Boletim de Geografia**, Maringá, v. 28, n. 2, p. 157-176, 2010.

ROCHA, P. C. Sistemas rio-planície de inundações: geomorfologia e conectividade hidrodinâmica. In: **Caderno Prudentino de Geografia**, Presidente Prudente, n.33, v.1, p.50-67, jan./jul.2011.

ROSA, R. Geotecnologias na Geografia Aplicada. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 16, p. 81-90, 2005.

SABATER, S.; ELOSEGI, A. Ecosistema Fluvial. In: BAPTISTA, M.; PÁDUA, V. L. **Restauração de Sistemas Fluviais**. 1. ed. Barueri: Editora Manole, 2016.

SARTORI, A.; NETO, F. L.; GENOVEZ, A. M. Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para a Estimativa da Chuva Excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 1: Classificação. In: **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, V. 10 Nº 4, 2005.

SCHUMM, S. A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands of Perth Amboy. **Geological Society of America Bulletin**, New York, v. 67, n. 5, p. 597-646, 1956.

SCHUMM, S. A. Sinuosity of alluvial rivers on the great plains. In: **Geological Society of America Bulletin**, v. 74, p. 1.089-1.100, 1963.

SILVA, A. **Geomorfologia do megaleque do rio Paraguai, quaternário do pantanal mato-grossense, Centro-Oeste do Brasil**. 2010, 128 p. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2010.

SILVA, J. P.; RODRIGUES, C. Morfologia fluvial como indicador de geodiversidade: exemplos de rios brasileiros. **Revista de Geografia (Recife)**, v. 27, n. 3, p. 220-235, 2010.

SILVA, J. S. V. **Aplicações de técnicas de sensoriamento remoto e sistema de informações geográficas na avaliação da dinâmica de inundação no Pantanal**. 1991, 140 p. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Sensoriamento Remoto), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1991.

SILVA, J. S. V.; ABDON, M. M. Delimitação do Pantanal brasileiro e suas sub-regiões. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, p. 1703-1711, 1998.

SILVA, V. C. B. Criar TIN no ArcGis e sobreposição de imagem ao TIN no ArcScene. Disponível em: <<http://www.clickgeo.com.br/arcgis-fazer-tin-sobrepor-imagem-arcscene/>>. Acesso em: 20 fev. 2020.

SOUZA, C. A.; SOUZA, J. B. Pantanal mato-grossense: origem, evolução e as características atuais. **Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros - Seção Três Lagoas/MS** - nº 11 - Ano 7, Maio 2010.

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

STRAHLER, A. N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. In: **Trans. American Geophysical Union**, 38, 1957, p.913-920.

SUERTEGARAY, D. M. A. Espaço geográfico uno e múltiplo. **Scripta Nova**, n. 93, 2001.

SUGUIO, K.; BIGARELLA, J. J. **Ambientes Fluviais**. 2. ed. Florianópolis: Editora da UFSC, 1990.

TROLL, Carl. A paisagem geográfica e sua investigação. **Espaço e cultura**, Rio de Janeiro: UERJ, NEPEC, n. 2, p. 7, jun.1997.

USGS - United States Geological Survey. Disponível em: <<https://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em 05 de maio de 2019.

VANNOTE, R. L.; MINSHALL, G. W.; CUMMINS, K. W.; SEDELL, J. R.; CUSHING, C. E. The River Continuum Concept. In: **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 37, p. 130-137, 1980.

VARGAS, T.; GOMES, M. G.; BELLADONA, R.; ADAMI, M. V. D. Aplicação do Interpolador IDW para Elaboração de Mapas Hidrogeológicos Paramétricos na Região da Serra Gaúcha. In: **Sciencia cum Industria**, V. 6, Nº 3, p. 38-43, 2018.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245 p.

XU, H. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. **International Journal of Remote Sensing**, v. 27, n. 14, p. 3025-3033, 2006.

ZANI, H. **Mudanças morfológicas na evolução do megaleque do Taquari: uma análise com base em dados orbitais**. 2008, 85 p. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Geociência e Meio Ambiente), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2008.

ZANI, H.; ASSINE, M. L.; SILVA, A.; CORRADINI, F. A.; KUERTEN, S.; GRADELLA, F. S. Geformas deposicionais e feições erosivas no Pantanal mato-grossense identificadas por sensoriamento remoto. **Geografia**, v. 34, número especial, p. 643-654, 2009.

ZARISTA, S. **Monitoramento da dinâmica de inundação no Pantanal norte com uso de índices EVI e LSWI do Modis**. 2013, 47 p. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Física Ambiental), Instituto de Física da Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, 2013.