

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CAMPUS DE TRÊS LAGOAS
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

EDSON RODRIGO DOS SANTOS DA SILVA

GEOMORFOLOGIA E DINÂMICA FLUVIAL DO RIO PARAGUAI NO TRECHO
ENTRE CÁCERES-MT E CORUMBÁ-MS.

TRÊS LAGOAS, MS

2020

EDSON RODRIGO DOS SANTOS DA SILVA

**GEOMORFOLOGIA E DINÂMICA FLUVIAL DO RIO PARAGUAI NO TRECHO
ENTRE CÁCERES-MT E CORUMBÁ-MS.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação Stricto Sensu em Geografia do Campus de Três Lagoas da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul em 2019, como requisito para obtenção do título de Mestre em Geografia, sob a orientação do Prof. Dr. Aguinaldo Silva e coorientação do prof. Dr. José Candido Stevaux.

TRÊS LAGOAS, MS

2020

FOLHA DE APROVAÇÃO

EDSON RODRIGO DOS SANTOS DA SILVA

**GEOMORFOLOGIA E DINÂMICA FLUVIAL DO RIO PARAGUAI NO TRECHO
ENTRE CÁCERES-MT E CORUMBÁ-MS.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação
Stricto Sensu em Geografia do Campus de Três Lagoas da
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul em 2020,
como requisito para obtenção de título de Mestre em
Geografia, sob a orientação do Prof. Dr. Aguinaldo Silva
e coorientação do prof. Dr. José Candido Stevaux.

Resultado: _____

Três Lagoas, MS, ____ de _____ de 2020.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Aguinaldo Silva

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - CPAN

Titular: Prof. Dr. Vitor Matheus Bacani

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - CPTL

Membro Externo: Prof.^a Dr. Frederico dos Santos Gradella

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – CPTL

Membro Externo: Prof.^a Dr. Sidney Kuerten

Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul – Campus de Jardim

*À minha família, base sólida, confiável, amiga
e companheira para todos os momentos.
Elemento básico para uma vida de realizações
e conquistas.*

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de mestrado, processo 001.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS/MEC – Brasil.

Agradecimentos se fazem ainda ao professor Aguinaldo Silva pela confiança e contínuo incentivo desde a Iniciação Científica iniciada ainda no ano de 2015.

Ao professor José Cândido Stevaux pela confiança e ensinamentos obtidos a cada nova conversa e nova correção de nosso trabalho.

Ao professor Frederico Santos Gradella pelos ensinamentos e apoio na realização desta pesquisa, nomeadamente por meio de apoio no uso do Laboratório de Geomorfologia e Pedologia (LAGEPE - UFMS/CPTL).

Ao professor Vitor Matheus Bacani que, conjuntamente aos ensinamentos, abriu-nos as portas do Laboratório de Sensoriamento Remoto Aplicado (LaSeR – UFMS/CPTL) para a realização desta pesquisa desde maio de 2018.

Ao professor Cesar Gustavo da Rocha Lima pelos ensinamentos e corriqueira amizade e companheirismo no La-Ser.

Ao Leandro Luz pelo apoio e por nos receber em Maringá-PR durante o mês de outubro de 2018 para realização de disciplina de Geomorfologia Fluvial na Universidade Estadual de Maringá (UEM).

Ao Hudson de Azevedo Macedo pela recepção em São Carlos-SP e pelos ensinamentos em Geomorfologia Fluvial e pelo aporte na realização de diversas etapas importantes em nosso trabalho.

Aos amigos de Corumbá, sobretudo àqueles do Laboratório de Estudos Socioambientais (LABES – UFMS/CPAN).

Aos amigos que conhecemos ao longo de nossa estadia em Três Lagoas que, mesmo podendo cometer a injustiça de esquecer-se de mencionar alguém, devo citar o “brilhante” Erivelton Pereira Vick, o “paciente” Víncler Fernandes Ribeiro de Oliveira, o “filho” Bruno Henrique Machado da Silva, a “irmã” Alessandra Alves Pereira e tantos outros que fizeram cada dia e cada semana mais agradável e inesquecível.

Devo agradecer ainda a sociedade brasileira, que em seu esforço inequívoco de reprodução cotidiana, permite-nos a evolução pessoal e o aperfeiçoamento de saberes e técnicas. Enfim, a todos que de alguma forma contribuíram para nosso trabalho, o meu muito obrigado.

Ensinar alguma coisa

Aprender outra

E fazer algum bem

(Orlando Ribeiro)

RESUMO

A bacia do rio da Prata possui cerca de 3,1 milhões de km², constituindo a segunda maior bacia hidrográfica da América do Sul, no qual coexistem três grandes sistemas fluviais: o rio Paraná (4.880 km), o rio Paraguai (2.621 km) e o rio Uruguai (1.838 km). O rio Paraguai, segundo maior canal em extensão, é comumente subdividido em três grandes trechos: a bacia do Alto Paraguai (BAP), o médio Paraguai e o Paraguai Inferior. Em seu trecho na BAP, o rio Paraguai percorre cerca de 1.693 km com padrões fluviais diferenciados e particulares, alicerçando um dos ambientes mais complexo e delicado do planeta: o Pantanal. Neste contexto, visto sua importância para o Pantanal, sua relevância enquanto navegável do sistema hidroviário Paraguai-Paraná, por dar sustentação a sistemas biológicos e a comunidades ribeirinhas tradicionais, o rio Paraguai precisa ser melhor estudado, de forma a atender as demandas para a otimização e manutenção de sua dinâmica hidrossedimentológica. Assim, o presente trabalho objetiva analisar a compartimentação geomorfológica e a dinâmica hidrossedimentológica do rio Paraguai no trecho entre Cáceres-MT e Corumbá-MS, localizado no interior da bacia do Pantanal, segmento este com aproximadamente 750 km de extensão. Assim, foram mapeados as diversas feições geomorfológicas identificadas ao longo do rio Paraguai no Pantanal, bem como foram analisados parâmetros hidráulicos e morfológicos do canal, tendo como base dados hidrossedimentológicos disponíveis nas referências e em bancos de dados hidrométricos, bem como em dados coletados em *in loco*. Para a compartimentação geomorfológica foram adotados diversos critérios disponíveis na literatura e aplicadas técnicas de Geoprocessamento para a identificação, delimitação e mapeamento dos compartimentos geomorfológicos, dos quais possuíram papel importante imagens orbitais realçadas e modelos digitais de elevação devidamente processados. Dessa forma, foram identificadas seis feições morfológicas diferentes ao longo do trecho do rio Paraguai na área de estudo, feições estas caracterizadas por padrões hidrológicos e morfológicos distintos, tanto na planície quanto no interior do canal. Os compartimentos mapeados foram: o cinturão de meandros com canal meandrante, cinturão de meandros com canal retilíneo, planície avulsiva de Descalvados, planície fluvio-lacustre de Porto Conceição, cinturão de meandros da Serra do Amolar e a planície avulsiva de Corumbá. Em termos hidrológicos, concluiu-se que apesar das tendências gerais do rio Paraguai se assemelharem àquelas que caracterizam os compartimentos geomorfológicos, o canal perfilha padrões hidrossedimentológicos algumas vezes distintos. Em termos de descarga sólida total, concluiu-se que esta decorre em larga medida da descarga sedimentar suspensa, que representa cerca de 92% de toda a descarga sólida estimada para o canal. Conclui-se também que apesar

das tendências gerais de cada compartimento, a dinâmica sedimentar (erosão e deposição) variou bastante, com os maiores índices de trocas sedimentares ocorrendo nos compartimentos em que se registram as maiores potências de canal específica. Dessa forma, o presente trabalho contribui para o avanço no conhecimento da dinâmica hidrossedimentológica do rio Paraguai e de sua geomorfologia, procurando subsidiar também a tomada de decisão sobre o planejamento e ordenamento do uso e cobertura da terra na área e possíveis tipos de obras a serem implementadas para o melhoramento da navegação, mitigando seus possíveis impactos.

Palavras Chave: Geomorfologia fluvial; hidrossedimentologia; dinâmica hidráulica, descarga sedimentar, potência de canal, Pantanal.

ABSTRACT

The Prata River basin has about 3.1 million km², constituting the second largest hydrographic basin in South America, in which three large river systems coexist: the Paraná River (4,880 km), the Paraguay River (2,621 km) and the Uruguay River (1,838 km). The Paraguay River, the second largest channel in length, is commonly subdivided into three major stretches: the Upper Paraguay basin (BAP), the middle Paraguay and the Lower Paraguay. In its section at BAP, the Paraguay river runs about 1,693 km with different and particular river patterns, maintaining one of the most complex and delicate environments on the planet: the Pantanal. In this context, given its importance for the Pantanal, its relevance as a navigable part of the Paraguay-Paraná waterway system, as it supports biological systems and traditional riverside communities, the Paraguay River needs to be better studied, in order to meet the demands for optimization and

maintenance its hydrosedimentological dynamics. Thus, the present work aims to analyze the geomorphological compartmentalization and the hydrosedimentological dynamics of the Paraguay River in the section between Cáceres-MT and Corumbá-MS, located in the inside of the Pantanal basin, this segment approximately 750 km long. Thus, the different geomorphological features identified along the Paraguay River in the Pantanal were mapped, as well as hydraulic and morphological parameters of the channel were analyzed, based on hydrosedimentological data available in references and hydrometric databases, such as data collected in loco. For the geomorphological compartmentalization, several criteria available in the literature were adopted and geoprocessing techniques were applied for the identification, delimitation and mapping of the geomorphological compartments, of which enhanced orbital images and digital elevation models properly processed played an important role. That way, six different morphological features were identified along the section of the Paraguay River in the study area, which are characterized by distinct hydrological and morphological patterns, both on the plain and inside the channel. The compartments mapped were: the meandering belt with meandering channel, meandering belt with rectilinear channel, avulsive plain of Descalvados, fluvio-lacustrine plain of Porto Conceição, meandering belt of Serra do Amolar and the avulsive plain of Corumbá. In hydrological terms, it was concluded that although the general tendencies of the Paraguay River are similar to those that characterize the geomorphological compartments, the channel has sometimes different hydrosedimentological patterns. In terms of total solid discharge, it was concluded that this is largely due to the suspended sedimentary discharge, which represents about 92% of all estimated solid discharge for the channel. It is

also concluded that despite the general tendencies of each compartment, the sedimentary dynamics (erosion and deposition) varied considerably, with the highest indexes of sedimentary exchanges occurring in the compartments in which the highest specific channel powers are registered. Therefore, the present work contributes to the advance in the knowledge of the hydrosedimentological dynamics of the Paraguay River and its geomorphology, also searching for subsidize the decision making about the planning and ordering of land use and land cover in the area and possible kind of works to be implemented to improve navigation, mitigating its possible impacts.

Keywords: Fluvial Geomorphology; hydrosedimentology; hydraulic dynamics; sedimentary discharge; stream power; Pantanal.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - Localização da bacia do rio Paraguai no contexto da América do Sul e da bacia do Prata..	15
FIGURA 2 - Bacia sedimentar do Pantanal, com destaque para polígono eue engloba a área de estudo	21
FIGURA 3 - Tempo geológico das formações que alicerçam a área de estudo.....	23
FIGURA 4 - Descarga fluvial média do rio Paraguai	24
FIGURA 5 - Geomorfologia da região onde se localiza a área de estudo.....	25
FIGURA 6 - Solos da região onde se localiza a área de estudo.	27
FIGURA 7 - Mapa dos compartimentos geomorfológicos da área de estudo.....	34
FIGURA 8 - Localização do cinturão de meandros com canal meandrante	35
FIGURA 9 - Localização do cinturão de meandros com canal retilíneo.....	37
FIGURA 10 - Leque do rio Jauru e paleocanais distributários no megaleque do rio Paraguai.....	38
FIGURA 11 - Localização da planície avulsiva de Descalvados.....	40
FIGURA 12 - Visão geral da planície fluvio-lacustre de Porto Conceição.....	42
FIGURA 13 - Visão geral do cinturão de meandros da Serra do Amolar.....	44
FIGURA 14 - Planície avulsiva de Corumbá.....	46
FIGURA 15 - Destaques na planície avulsiva de Corumbá.....	47
FIGURA 16 - Localização das seções ADCP levantadas em pesquisa de campo	52
FIGURA 17 - Seções ADCP levantadas em pesquisa de campo, do rio Sepotuba até a foz do rio Cuiabá	58
FIGURA 18 - Seções ADCP levantadas em pesquisa campo, do cinturão de meandros da serra do amolar até a cidade de Ladário-MS.....	60
FIGURA 19 - Representação gráfica da variação da vazão do rio Paraguai ao longo do trecho estudado.....	61
FIGURA 20 - Trechos de trocas hídricas entre o rio Paraguai e o cinturão meandrante com canal meandrante	63
FIGURA 21 - Trechos de aumento na descarga do rio Paraguai na planície de Porto Conceição.....	65
FIGURA 22 - Balanço hidrológico do rio Paraguai entre o cinturão de meandros com canal meandrante e a planície avulsiva de Descalvados.....	67
FIGURA 23 - Balanço hidrológico do rio paraguai entre a planície de Porto Conceição e o cinturão da Serra do Amolar	68
FIGURA 24 - Balanço hidrológico do rio Paraguai entre o cinturão da Serra do Amolar e Corumbá	69

FIGURA 25 - Balanço sedimentar do rio Paraguai entre o cinturão com canal meandrante e a planície de Descalvados.....	80
FIGURA 26 - Balanço sedimentar do rio Paraguai na planície fluvio-lacustre de Porto Conceição..	81
FIGURA 27 - Balanço sedimentar do rio Paraguai no cinturão da Serra do Amolar e na planície de Corumbá.....	82

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVOS	19
2.1 Objetivo Geral	19
2.2 Objetivos Específicos	19
3 CONTEXTUALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	20
4 COMPARTIMENTAÇÃO GEOMORFOLÓGICA	28
4.1 Introdução	28
4.2 Materiais e Métodos	29
4.3 Resultados e Discussões	33
4.3.1 Cinturão de meandros com canal meandrante (Cmcm)	35
4.3.2 Cinturão de meandros com canal retilíneo (Cmcr)	36
4.3.3 Planície avulsiva de Descalvados (PaD)	39
4.3.4 Planície fluvio-lacustre de Porto Conceição (PflPC)	41
4.3.5 Cinturão de meandros da Serra do Amolar (CmSA)	43
4.3.6 Planície Avulsiva de Corumbá (PaC)	45
4.4 Considerações finais	48
5 HIDROSEDIMENTOLOGIA	50
5.1 Introdução	50
5.2 Materiais e Métodos	51
5.3 Resultados e Discussões	55
5.3.1 Regime de fluxo	55
5.3.2 Regime e balanço hidrológico	61
5.3.3 Potência de Canal	70
5.3.4 Transporte de sedimentos e balanço hidrossedimentar	74
5.4 Considerações finais	84
6 CONCLUSÃO	87
REFERÊNCIAS	90

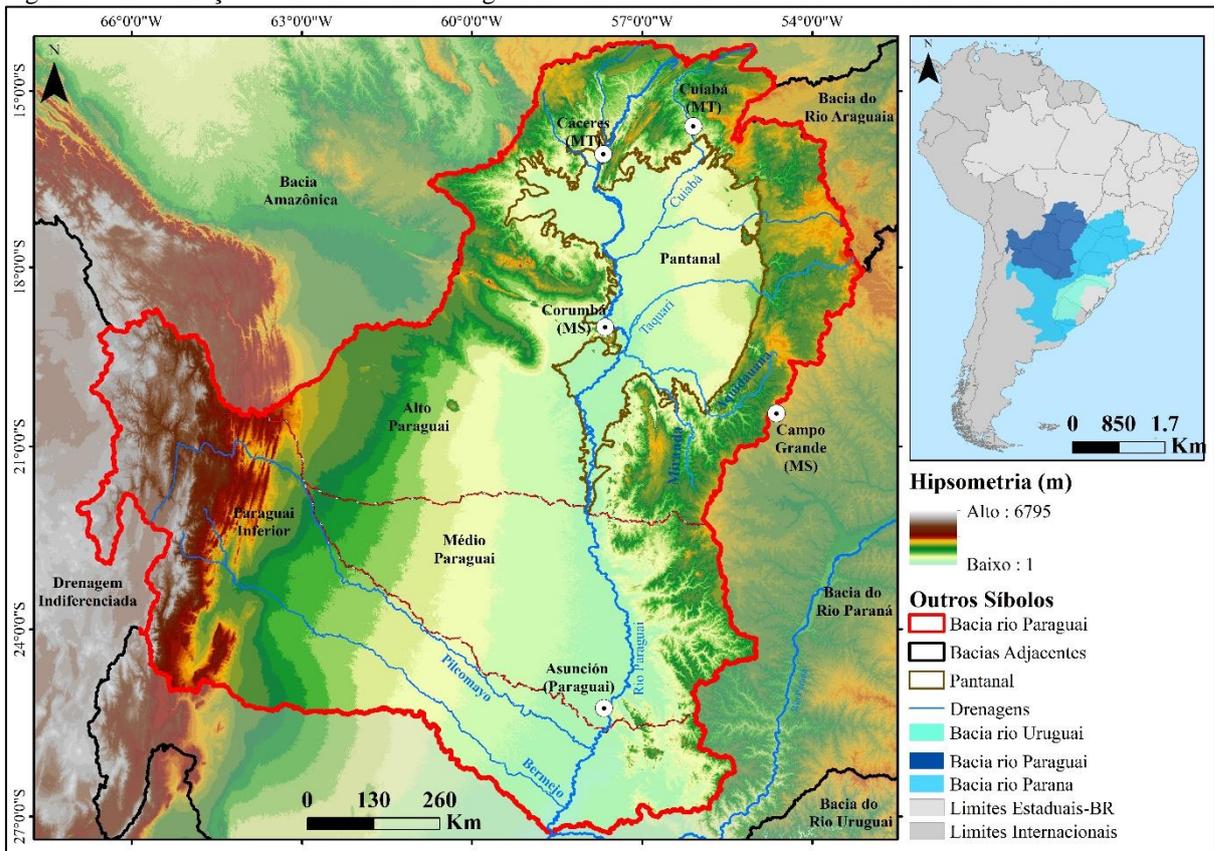
1 INTRODUÇÃO

A bacia do rio da Prata constitui a segunda maior bacia hidrográfica da América do Sul e a quinta maior do mundo, ocupando uma área de aproximadamente 3,1 milhões de km² (SILVA, 2010), perpassando territórios de Brasil, Bolívia, Paraguai, Argentina e Uruguai. Em seu sistema de drenagem, coexistem três grandes sistemas fluviais, significativamente importantes do ponto de vista social, econômico e ambiental: o rio Paraná (4.880 km), o rio Paraguai (2.621 km) e o rio Uruguai (1.838 km).

O rio Paraguai, segundo em extensão da bacia, nasce no planalto dos Parecis no Estado de Mato Grosso (14°37'S e 56°29'O). Almeida (1945), ratificado por IBGE (1977) subdividem o rio Paraguai em quatro grandes compartimentos com morfologia, regime hidrológico e geologia distintas: Paraguai Superior, que se estende por aproximadamente 430 km, desde suas nascentes localizadas no planalto dos Parecis até a confluência com o rio Jauru; o Alto Paraguai, trecho de 1.263 km, localizado entre a confluência com o rio Jauru até a foz com o rio Apa, na fronteira entre Brasil e Paraguai; o Médio Paraguai, trecho de aproximadamente 582 km localizado da citada confluência até a altura de Ita-Piru (Lomas Valentinas) à jusante de Assunção, Paraguai; e o Paraguai Inferior, de Ita-Piru até a confluência com o rio Paraná na altura da cidade argentina de Corrientes, consistindo no menor trecho, de aproximadamente 346 km. Entretanto a partir do Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai (MMA, 1997) o Paraguai Superior e o Alto Paraguai foram agrupados em um único segmento, o Alto Paraguai (Figura 1).

Em seu alto trecho, drena a Bacia do Alto Paraguai (BAP), percorrendo cerca de 1.693 km com padrões fluviais diferenciados e particulares, constituindo canal tronco do intrincado sistema pantaneiro, tornando assim difícil o estabelecimento de analogias com outros sistemas fluviais tropicais. A BAP possui aproximadamente 600.500 km², dos quais 362.376 km² situam-se entre os estados de Mato Grosso do Sul e Mato Grosso (60,34%), na região Centro-Oeste do Brasil, 121.473 km² em território boliviano (20,23%) e 116.679 km² no Paraguai (19,43%). Dentre os principais rios, destacam-se o Cuiabá, São Lourenço, Taquari, Miranda, Aquidauana e Apa, além dos rios Negro e Tucavaca pelo lado boliviano. Tais canais, distribuídos no interior da BAP, tem suas nascentes localizadas nos planaltos e depressões adjacentes, possuindo gradiente topográfico médio acima dos 30 cm/km e alto poder erosivo, fornecendo ao Pantanal umidade e grandes cargas sedimentares.

Figura 1 – Localização da Bacia do Rio Paraguai no contexto da Bacia do Prata e da América do Sul.



Fonte: SRTM - Shuttle Radar Topography Mission, resolução espacial de 90 m; ANA - Agência Nacional de Águas, bacias hidrográficas Ottocodificadas, nível 2; IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Base Cartográfica Contínua do Brasil, escala de 1:250.000.

Em seu trecho no Pantanal, o rio Paraguai percorre aproximadamente 1.490 km, desde a Província Serrana, ao Norte, até a foz do rio Apa, ao Sul. Conforme Macedo (2014), nesta região a deposição sedimentar ocorre em uma imensa planície aluvial, na qual coexistem sistemas de megaleques fluviais, planícies interleques, planícies indiferenciadas e o sistema tronco, representado pelo rio Paraguai e sua planície aluvial. Localizado no nível topográfico mais baixo da planície pantaneira, este sistema tronco é o coletor de águas e sedimentos que adentram a planície, sendo composto por diversos padrões de planícies aluviais.

Entretanto, a despeito da importância de tais sistemas para a manutenção da biota pantaneira, assim como ao delicado equilíbrio fluvial do rio Paraguai, alvo de inúmeros interesses e intervenções antrópicas, sua dinâmica hidrossedimentológica, relações canal-planície e demais aspectos ainda são poucos conhecidos, bem como sua importância e impacto em âmbito social, econômico, ambiental, entre outros.

Do ponto de vista social, o rio Paraguai constitui importante campo de reprodução da vida ribeirinha, uma ampla população tradicional distribuída em diversas comunidades ao longo do canal (FONSECA, 2017). Essa população, definida por Almeida e Da Silva (2012) como

“povos das águas”, possui irrestrita relação com o rio Paraguai e seus tributários, apropriando-se de suas margens para habitações, suas águas para atividades domésticas e produção econômica. Adaptam-se em parte às nuances dos processos de inundação, mas registram sucessivos impactos negativos devido à imprevisibilidade das cheias, dos processos formativos do canais fluviais e à ausência de políticas públicas adequadas. Exemplo bastante prático constitui a atual localização da comunidade da Barra do São Lourenço, erguida em margem côncava do rio Paraguai logo a jusante da confluência com o rio Cuiabá, uma área de processos erosivos acelerados, resultando em risco a própria existência da comunidade naquele local.

Do ponto de vista econômico, o rio Paraguai sempre apresentou relevância ímpar. Desde as grandes caravelas oceânicas espanholas ao longo do século XVI (COSTA, 1999), até o presente, perpassando o *boom* econômico da virada dos séculos XIX e XX (BRAZIL, 2014), o rio Paraguai sempre constituiu importante via navegável entre o estuário da Prata (Oceano Atlântico) e o interior do continente sul-americano. Se no passado colonial as caravelas espanholas navegavam até as proximidades da foz do rio Cuiabá (com esparsos relatos informando mesmo que aqueles navios de calado oceânico chegaram à foz do atual rio Jauru, mais a norte), modernamente a navegação fluvial alcança o município de Cáceres-MT, contribuindo para o escoamento da produção agrícola do Estado de Mato Grosso. A hidrovia Paraguai-Paraná liga cinco países da América do Sul (Argentina, Bolívia, Brasil, Paraguai e Uruguai), denotando assim sua proeminência como vetor fluvial da produção de vastos territórios. Como tal, é geralmente associado a projetos para otimização do transporte fluvial, muitos destes com potencial gerador de impactos ambientais, que no presente momento ainda são pouco compreendidos, como dragagem de seu leito, retificação de meandros etc.

Do ponto de vista ambiental, sua importância também é pouco compreendida, no qual os principais trabalhos elaborados decorreram de pesquisas para a implantação da hidrovia Paraguai-Paraná, da contextualização da bacia do Prata e de dissertações e teses, dos quais podem ser exemplificados os estudos de Tucci e Clarke (1998), que abordam as questões dos recursos hídricos na bacia do Prata; de Tucci (2001), que destaca desafios e temas relevantes para a compreensão e gerenciamento de recursos hídricos na bacia do Prata; de Collischonn et al. (2001), no qual analisam uma série histórica de dados pluviométricos e de níveis do rio Paraguai, evidenciando abruptas alterações hidrológicas a partir das décadas de 1960-70, resultado, em larga escala, do aumento das chuvas; de Silva (2006; 2010) que, no primeiro caso analisa as condições hidrológicas e padrões de canal do rio Paraguai no trecho entre Cáceres-MT e a fazenda Descalvados e, no segundo, a Geomorfologia e Hidrossedimentologia, bem como a Geocronologia do rio Paraguai em seu trecho de megaleque; de Kuerten (2010) que

analisa a evolução geomorfológica e as mudanças ambientais registradas durante o Quaternário no Megaleque do Nabileque, a jusante de Corumbá-MS; e de Macedo (2013; 2017a), que faz amplo estudo das características geomorfológicas e hidrossedimentológicas da planície Paraguai-Corumbá, entre outros.

Estes trabalhos, em parte, decorrem de nova perspectiva aos estudos ambientais no Pantanal (MACEDO, 2017a) oportunizadas pelo desenvolvimento da ciência da Geoinformação (CÂMARA, et al., 2003) e de suas técnicas de Geoprocessamento. Neste contexto, os produtos de Sensoriamento Remoto despontam como elementos basilares desta perspectiva, por permitirem, por um lado, análises complexas em regiões de difícil acesso, como a modelagem de processos naturais e antrópicos, e por outro, estudos de ordem multitemporal, oportunizando análises comparativas difíceis de serem realizadas em outros contextos. Dessa forma, tal perspectiva contribui para a melhor compreensão e delimitação dos processos naturais e compartimentos geomorfológicos no Pantanal, permitindo assim um entendimento mais amplo desta bacia.

Em relação à compreensão da dinâmica hidrossedimentológica do rio Paraguai, processos formativos e inter-relação com sua planície, podem-se destacar os trabalhos de Assine e Soares (2004), Assine e Silva (2009), Kurten e Assine (2011), Assine et al. (2015a, 2015b), Macedo (2017a) e Stevaux et al. (2019). Estes estudos, em linhas gerais, procuram compreender a dinâmica fluvial do canal, compartimentando-o em trechos que apresentam semelhanças internas, envolvendo um conjunto de características morfológicas do canal e de sua planície, bem como padrão hidrológico e de drenagem.

Nesta perspectiva, o delineamento dos trechos que compõe a planície do rio Paraguai pode ser definido como um mapeamento de ordem morfológica e hidrológica, apresentando elevada correlação com uma visão plana sobre o sistema fluvial, isto é, uma visão “do alto para baixo”, identificando as formas impressas na paisagem. Entretanto, uma questão se apresenta: a compartimentação da planície e do rio Paraguai tendo em vista parâmetros morfológicos e hidrológicos (conforme àqueles apresentados nos trabalhos citados no início desse parágrafo) é condizente com a sua dinâmica hidráulica? Em outros termos, a dinâmica hidráulica do rio Paraguai é consoante aos padrões que se esperam do canal em cada um dos trechos mapeados hidromorfolologicamente? Estas questões norteadoras indicam a hipótese deste trabalho, baseada na busca de um maior entendimento dos processos hidráulicos do rio Paraguai para o trecho analisado.

Desta maneira, o presente trabalho objetiva analisar a dinâmica fluvial do rio Paraguai no trecho entre Cáceres-MT e Corumbá-MS no Pantanal Matogrossense, trecho este de

aproximadamente 700 km de extensão, no qual engloba diversas planícies aluviais, diferenciadas em parte por processos autogênicos e/ou alogênicos, estabelecendo uma relação canal-planície com o rio Paraguai ainda pouco compreendida. Este trabalho enquadra-se no contexto de novas perspectivas nos estudos ambientais no Pantanal, tendo em vista as pressões antrópicas às quais as áreas de captação da BAP estão sujeitas, em que se podem destacar a expansão da agricultura empresarial, da pecuária extensiva, dos barramentos de canais para aproveitamento hidrelétrico, do crescimento das áreas urbanas e da conseqüente poluição, entre outros.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem como objetivo analisar a dinâmica hidrossedimentológica do rio Paraguai no trecho de aproximadamente 750 km de extensão entre Cáceres-MT e Corumbá-MS, localizado integralmente no interior da bacia sedimentar do Pantanal.

2.2 Objetivos específicos

- I.** Identificar, delimitar e compartimentar as unidades geomorfológicas localizadas na área de estudo, tendo em vista parâmetros morfológicos e hidrológicos;
- II.** Caracterizar os aspectos hidrológicos e morfológicos (vazão, cota, sinuosidade,) do rio Paraguai no interior dos compartimentos geomorfológicos;
- III.** Analisar a carga sedimentar em suspensão e em leito, procurando associar o seu tipo e granulometria aos processos de produção, transporte e deposição sedimentar, tanto no canal como na planície;
- IV.** Avaliar a contribuição de tributários (entradas de águas e sedimentos) em cada compartimento do sistema;

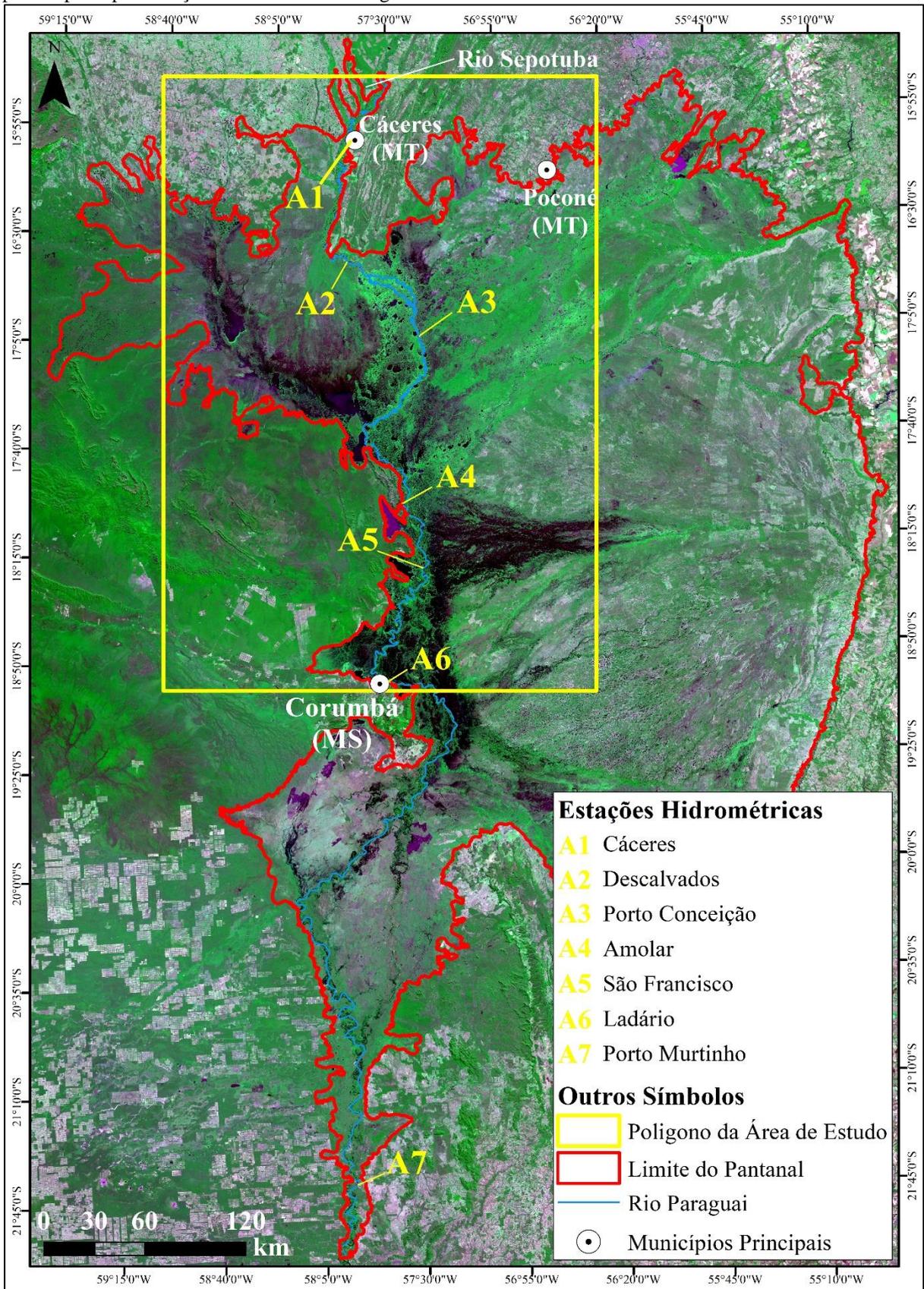
3 CONTEXTUALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo do presente trabalho localiza-se no entorno do rio Paraguai, alongando-se desde a confluência deste com o rio Sepotuba (15°55'S; 57°39'O) até a altura do município de Corumbá (19°0'0'S; 57°35'O). Esta ampla área localiza-se no interior da bacia sedimentar do Pantanal (Figura 2), em sua porção mais baixa, recebendo águas e sedimentos de todas as áreas adjacentes, a qual é responsável em grande parte por sua dinâmica hidrológica particular.

O Pantanal, por sua vez, constitui a expressão morfológica de uma bacia sedimentar tectonicamente ativa, compartilhada entre Brasil, Bolívia e Paraguai em área de aproximadamente 150.500 km² (PADOVANI, 2010), localizada inteiramente na bacia do alto Paraguai (BAP). Conforme Ab'Sáber (2006), o Pantanal é caracterizado como uma paisagem de exceção, possivelmente formada ao longo do Cenozoico, através do abatimento da planície erosiva pré-existente em decorrência da reativação tectônica responsável pela orogênese Andina (ALMEIDA, 1959). Tal processo resulta em uma bacia sedimentar instalada sobre a depressão do Alto Paraguai, recoberta por uma ampla camada sedimentar de até 500 metros de espessura (ASSINE & SOARES 2004; ASSINE et al. 2015b) que registra a evolução dos processos sedimentares ao largo das mudanças climáticas no Quaternário (AB'SABER, 1988; MCGLUE M.M. et al, 2012).

Enquanto uma das maiores áreas úmidas do planeta (POR 1995, FRASER e KEDDY 2005, JUNK et al. 2006), o Pantanal é considerado desde 2000 como Reserva da Biosfera e Patrimônio Natural da Humanidade pela Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO/ONU) devido a suas características particulares e dinâmicas, altamente sujeitas a alterações em decorrência de intervenções antrópicas, destacando-se assim a necessidade de adoção de políticas públicas conservacionistas. Seu clima tropical, conforme Alho (2005) é caracterizado por temperaturas médias que variam entre os 20 e 27° C, com balanço hídrico negativo, no qual a precipitação atinge índices entre 800 e 1.300 mm, enquanto a evaporação mantém-se entre os 1.300 e 1.600 mm, indicando a importância das águas drenadas das terras altas do entorno para a manutenção de seu equilíbrio hidrológico.

Figura 2 – Bacia Sedimentar do Pantanal, com destaque para polígono que engloba a área de estudo, bem como para as principais estações hidrométricas da região.

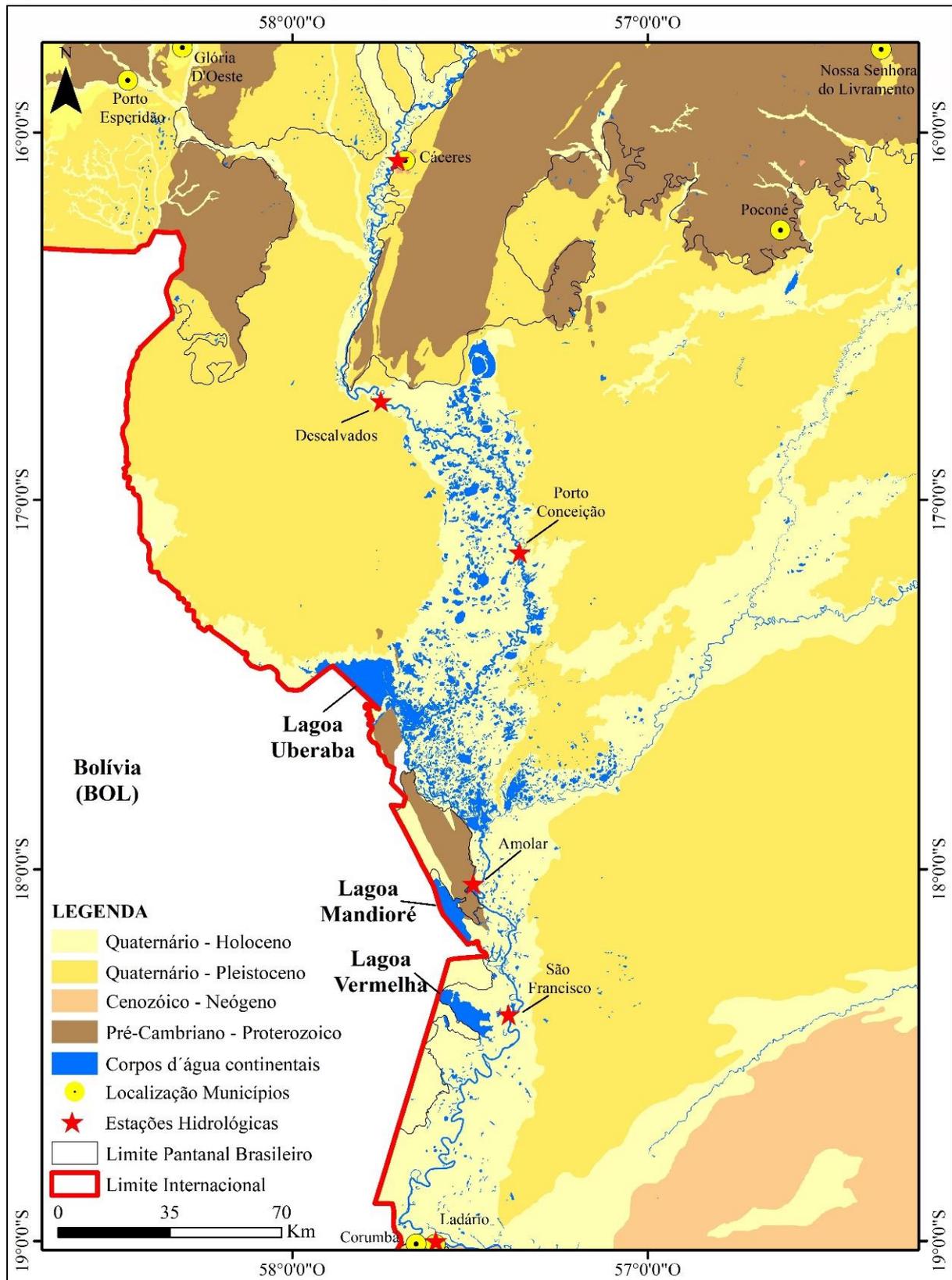


Fonte: Mosaico de cenas CBERS-4, sensor WFI. Limite da bacia sedimentar do Pantanal decorre de Padovani (2010).

O contorno do Pantanal é constituído por formações geológicas que alicerçam a bacia de captação da BAP (USSAMI et al., 1999), compostas basicamente por terrenos pré-cambrianos, paleozoicos e mesozoicos caracterizados sobretudo, a leste, por arenitos de diversos períodos (como aqueles encontrados no Planalto de Maracaju-Campo Grande, Chapada dos Guimarães, entre outros), a sudeste por calcários (encontrados na Planalto da Bodoquena e Araras) e, em parte do oeste, por maciços pré-cambrianos (Urucum e Amolar). Nestas áreas adjacentes e mormente de altitude mais elevada em relação ao Pantanal, na qual localizam-se as principais nascentes da BAP, os rios mantêm um sistema de drenagem primordialmente tributário, com elevado gradiente topográfico, alta energia e leito em rocha, com erosão nos talvegues, escavando vales nas rochas subjacentes (ASSINE, et al., 2015b). O tempo geológico das formações que englobam a área de estudo podem ser visualizadas na Figura 3.

A despeito da dinâmica fluvial estabelecida nestas áreas de planalto, em que as volumosas cargas sedimentares mobilizadas pelos processos erosivos tendem a ser transportados (com exceção às áreas mais planas, com vales mal definidos), no Pantanal desenvolve-se um amplo sistema distributário e deposicional devido, em parte, ao desconfinamento de canais, à redução do gradiente topográfico, da velocidade de fluxo, do alto suprimento de cargas sedimentares, entre outros. Tal processo resulta na redução da capacidade de transporte sedimentar e na conseqüente sedimentação do leito, que pode ocasionar mudanças de canais por meio de processos de avulsões, bastante comuns no interior dos sistemas de leques aluviais encontrados na bacia pantaneira (ASSINE et al., 2015a). Dessa forma, ao longo da bacia há predomínio de depósitos sedimentares Neógenos e Pleistocênicos, com aluviões holocênicos relacionados à deposição sedimentar moderna, sobretudo por meio dos sistemas de leques atuais e às áreas de deposição dos rios Paraguai, Cuiabá e Taquari (IBGE 2018).

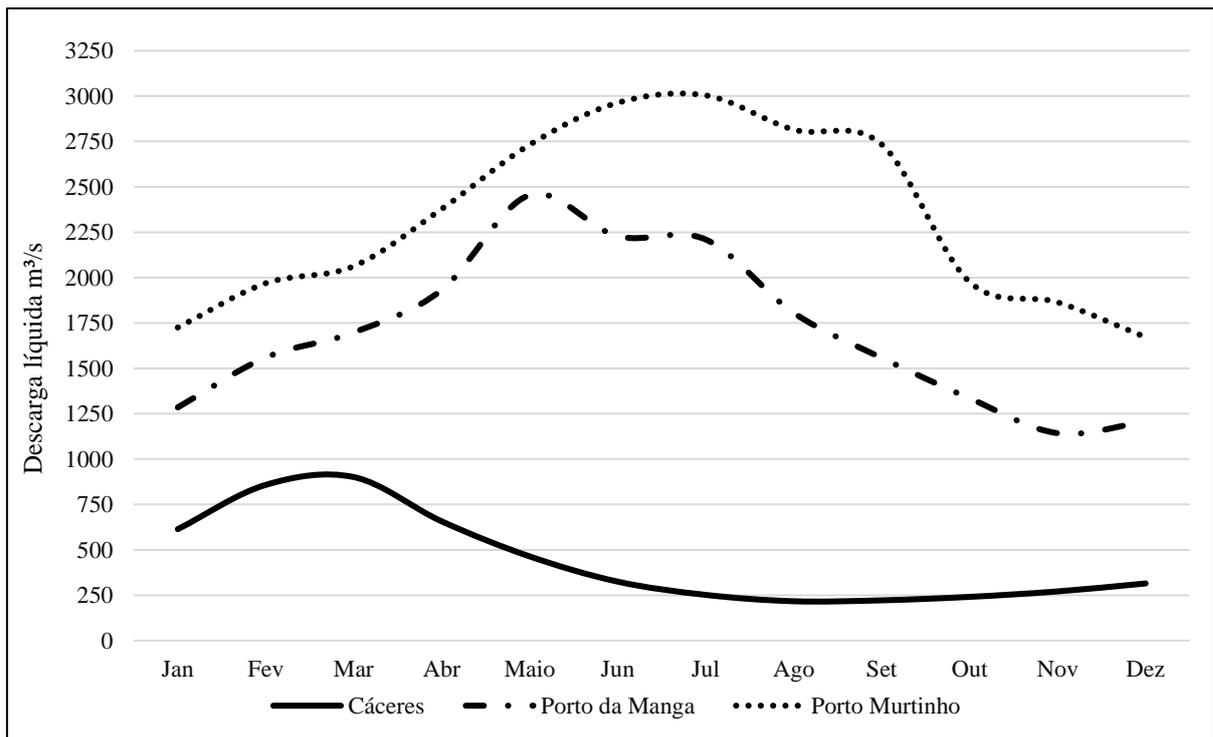
Figura 3 – Tempo geológico das formações que alicerçam a área de estudo.



Fonte: Modificado do Mapeamento de Recursos Naturais do Brasil (IBGE, 2018), organizados a partir da união das folhas SD-21, SE-21 e SF-21.

Nesta conjuntura de bacia sedimentar, conforme Alho et al. (1988) e Junk et al. (2006), a topografia no Pantanal expressa-se de maneira contínua, estabelecendo um gradiente topográfico ínfimo de 2 a 3 centímetros por quilômetro na direção norte-sul, e de 5 a 25 (cm/km) na direção leste-oeste, causando uma ampla diferenciação entre os períodos de cheias das diversas regiões pantaneiras que, conforme Alvarenga et al. (1984), pode ocorrer em um intervalo médio de três a quatro meses entre as áreas próximas aos planaltos e as regiões mais baixas do interior da bacia. Dessa forma, enquanto no norte do Pantanal o pulso de inundação coincide com o período chuvoso, ao sul o pulso de inundação ocorre num período de até três meses após a estação chuvosa (JUNK, et al., 2006). O descompasso entre a descarga fluvial média do rio Paraguai pode ser verificado entre as estações hidrométricas de Cáceres-MT, ao norte, Porto da Manga-MS no centro e Porto Murtinho-MS mais ao sul (Figura 4).

Figura 4 - Descarga fluvial média do rio Paraguai, entre as estações hidrométricas de Cáceres, Porto da Manga e Porto Murtinho entre o intervalo de Janeiro de 1969 a dezembro de 2017.

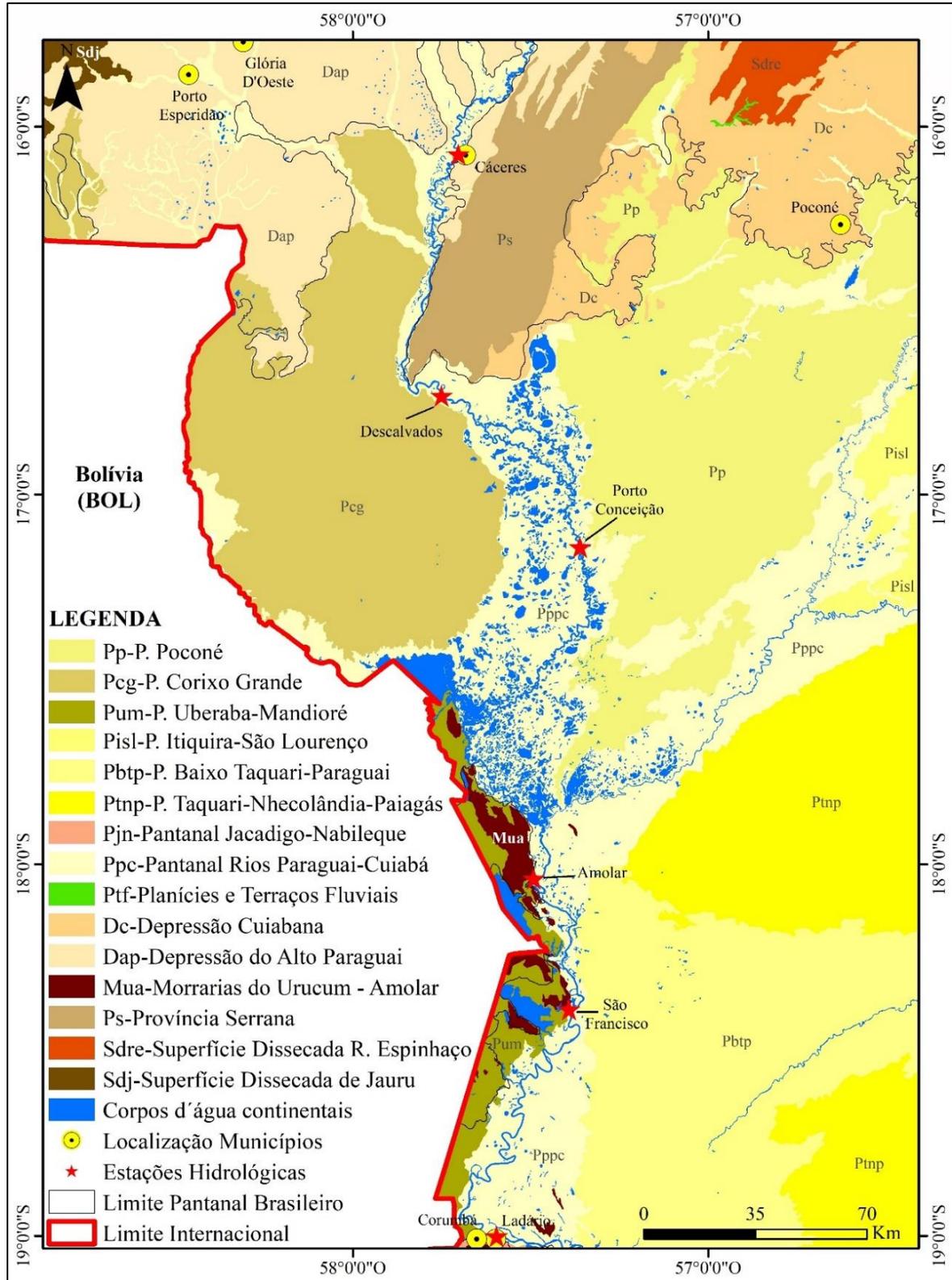


Fonte: Séries históricas, Rede Hidrometeorológica Nacional, Agência Nacional de Águas (ANA, 2019).

A geomorfologia da região pode ser compreendida a partir do Mapeamento de Recursos Naturais do Brasil (IBGE, 2018). Neste levantamento, o trecho compreendido pela área de estudo, subdivide-se em feições externas e internas ao Pantanal, com as feições internas referindo-se a compartimentos que compõem o Pantanal, caracterizados por diferentes padrões topográficos, hidrográficos, estruturais, entre outros. A planície do rio Paraguai, bem como a

do rio Cuiabá são mapeadas em conjunto, identificadas como Planícies e Pantanaís do rio Paraguai-Cuiabá (Figura 5).

Figura 5 – Geomorfologia da região onde se localiza a área de estudo.

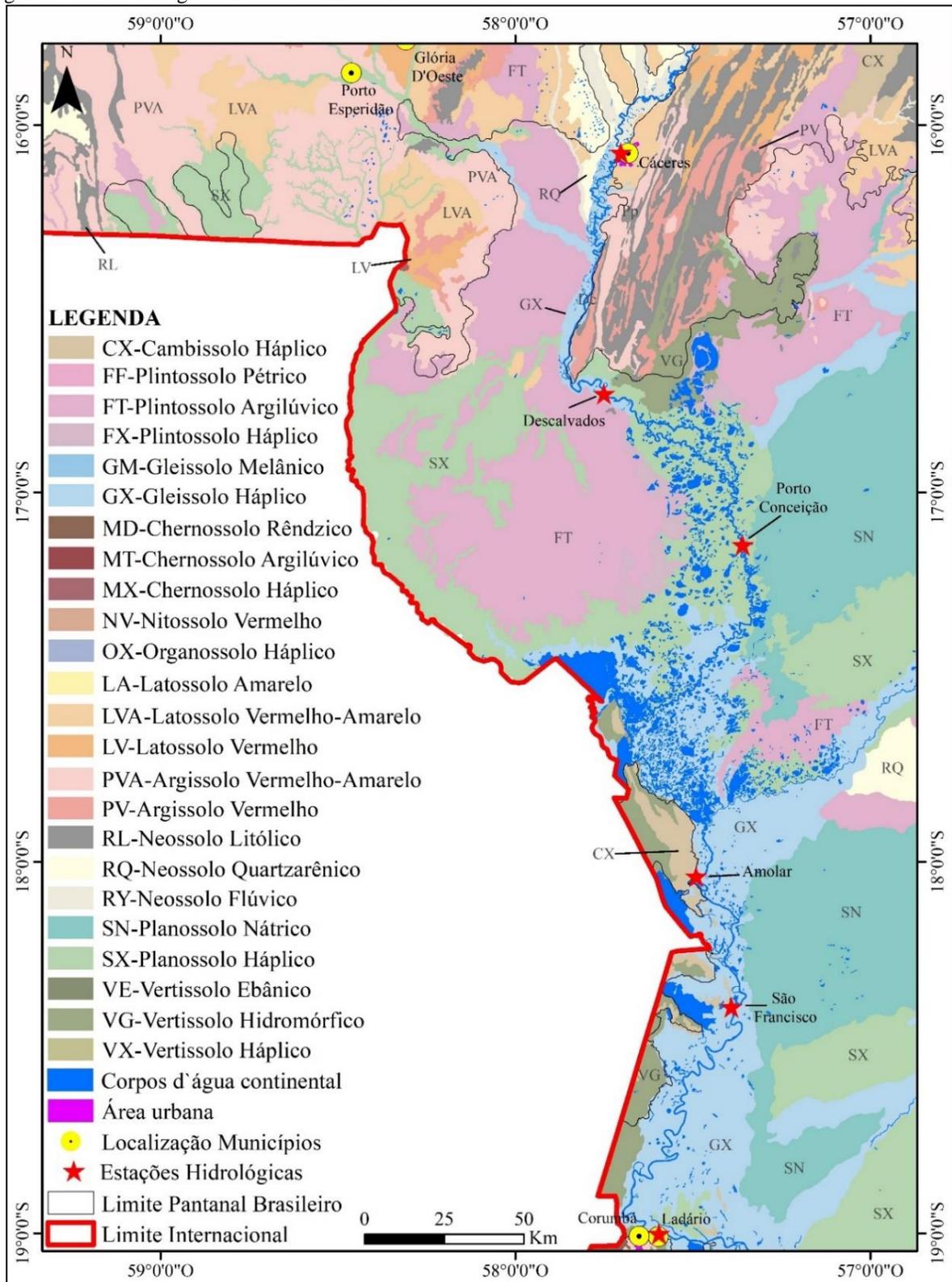


Fonte: Modificado do Mapeamento de Recursos Naturais do Brasil (IBGE, 2018), organizados a partir da união das folhas SD-21, SE-21 e SF-21.

O IBGE (2018) identifica vinte e quatro subordens de solos na área de estudo. Destes, destacam-se o Gleissolo Háplico e o Planossolo também do tipo Háplico por constituírem a quase totalidade dos solos encontrados nas planícies do rio Paraguai e do rio Cuiabá (Figura 6). Os Gleissolos Háplicos, conforme Lepsch (2011) são caracterizados por apresentarem elevada saturação por água, em grande parte devido à sua localização em áreas planas e úmidas, próximas ao sistema fluvial, sendo assim bastante influenciado por partículas provenientes de áreas adjacentes, transportadas e sedimentadas pela rede de drenagem. Os Planossolos Háplicos constituem solos imperfeitamente ou maldrenados, localizados em regiões planas e, no caso pantaneiro, com elevada presença de umidade, seja pela elevação do lençol freático ou presença de águas superficiais (IBGE 2007). Conforme Lepsch (2011), apresentam horizonte superficial de textura mais arenosa sobre horizontes subsuperficiais significativamente mais argilosos e adensados.

No trecho estudado, o rio Paraguai recebe importantes contribuições de diversos tributários, entretanto também contribui com drenagens secundárias desenvolvendo, ao longo de seu perfil longitudinal, um conjunto de padrões de drenagem. Os principais tributários no trecho são os rios Sepotuba, Cabaçal, Jauru e Cuiabá, drenando também águas provenientes das franjas dos megaleques do Paraguai, Cuiabá e Taquari. Por outro lado, o Paraguai também apresenta padrões distributários perdendo significativas quantidades de águas para as planícies adjacentes, em processos que serão mais bem analisadas nos próximos capítulos, como no megaleque do rio Paraguai, na planície de Descalvados e nas proximidades da Lagoa Vermelha, no rio Paraguai Mirim (MACEDO, 2017a).

Figura 6 – Solos da região onde se localiza a área de estudo.



Fonte: Modificado do Mapeamento de Recursos Naturais do Brasil (IBGE, 2018), união das folhas SD-21, SE-21 e SF-21. Para esta representação cartográfica, os solos foram agrupados tendo como base o segundo nível categórico de classificação de solos, conforme proposto por IBGE (2007).

4 COMPARTIMENTAÇÃO GEOMORFOLÓGICA

4.1 Introdução

O Pantanal ocupa aproximadamente 25% da Bacia do Alto Paraguai, distribuindo-se majoritariamente pelo território brasileiro (91%), com restritas áreas na Bolívia (7%) e no Paraguai (2%), totalizando aproximadamente 150.500 km² (PADOVANI, 2010). Entretanto, a despeito da importância desta área úmida, o entendimento dos processos fluviais, dos pulsos de inundações, das relações canal-planície, entre outros ainda não são evidentes, dificultando a compreensão dos processos de inundações e de conectividade entre a biota e o ambiente (STEVAUX et al., 2013).

A este respeito, tendo em vista a importância das características morfológicas do sistema fluvial, tais como padrão de canal, diques marginais, extensão da planície aluvial, entre outros, Assine e Silva (2009) propõem o zoneamento de planícies aluviais como elemento preponderante para o entendimento dos complexos e dinâmicos processos fluviais dos rios pantaneiros. Para tal, os autores apontam um conjunto de critérios que devem ser considerados nesta delimitação, tais como o padrão de drenagem (tributário, distributário), padrões de canal (meandrante, multicanal, etc.), confinamento dos vales aluviais, morfologias adjacentes (meandros abandonados, lagoas e diques marginais, paleocanais, barras sedimentares, etc.) e parâmetros morfométricos do canal (largura do canal, sinuosidade, etc.). Esta proposição enquadra-se também no âmbito das novas perspectivas para os estudos ambientais no Pantanal, perspectivas estas explicitadas por Macedo (2017a).

Assim, no contexto desta proposição, alguns trabalhos foram desenvolvidos em diferentes escalas e para diferentes regiões do Pantanal, dos quais podem se destacar: Assine (2003) que no trato de sistemas deposicionais do Pantanal identifica dois compartimentos geomorfológicos principais: leques aluviais e planícies fluviais. Destaca ainda que no Pantanal, o rio Paraguai percorre três feições diferentes, constituídas pelo leque do rio Paraguai, pela planície Paraguai-Paiaguás e pelo leque Jacadigo-Nabileque; Assine e Silva (2009) que ao abordarem a Geomorfologia do megaleque do rio Paraguai, realizaram um mapeamento mais pormenorizado, identificando um total de sete feições geomorfológicas para a área, das quais quatro são cortadas pelo rio Paraguai: uma planície meandrante com canal meandrante e uma planície meandrante com canal retilíneo, o lobo deposicional atual do megaleque rio Paraguai e uma planície fluvio-lacustre.

Destacam-se ainda Kuerten e Assine (2011) que ao analisarem o megaleque do Nabileque na porção Sul do Pantanal identificaram, dentre outras feições, um cinturão de meandros atual relativamente estreito no qual localiza-se o rio Paraguai; Macedo et al., (2014) mapeias as feições geomorfológicas da planície Paraguai-Corumbá, nas proximidades do município homônimo, enquanto que Assine et al., (2015a, b), mapearam um amplo contexto de compartimentos geomorfológicos para o conjunto do Pantanal, identificando cinco planícies diferentes ao longo do rio Paraguai no Pantanal: a planície Paraguai-Cáceres, Paraguai-Canzi, Paraguai-Amolar, Paraguai-Corumbá e Paraguai-Nabileque.

Mais recentemente Stevaux et al. (2019) identificaram oito feições geomorfológicas ao longo do rio Paraguai no Pantanal, sendo eles: o cinturão de meandros confinados de Cáceres, a planície avulsiva de Descalvados, a planície fluvio-lacustre de Porto Conceição, o cinturão de meandros confinados da Serra do Amolar, a planície avulsiva de Corumbá, o cinturão de meandros de Urucum, o cinturão de meandros incisos do Nabileque e o cinturão de meandros de Porto Murtinho. Com exceção do cinturão de meandros de Urucum, do cinturão de meandros incisos do Nabileque e do cinturão de meandros de Porto Murtinho, todas as outras feições geomorfológicas localizam-se na área de estudo deste trabalho, no trecho do rio Paraguai entre Cáceres-MT e Corumbá-MS, em extensão total de aproximadamente 700 km.

Estes trabalhos apresentam relevância ímpar visto seu papel para a caracterização física da área, contribuindo para o entendimento do funcionamento ambiental e para o estabelecimento de um planejamento pautado no aproveitamento sustentável dos recursos naturais da região, bem como ao entendimento das mudanças climáticas pretéritas.

Assim, tendo em vista a relevância desta técnica para o entendimento da dinâmica dos rios pantaneiros e seu papel para a compreensão do padrão fluvial do rio Paraguai, o presente capítulo objetiva identificar, delimitar e compartimentar as unidades geomorfológicas que compõem o sistema tronco do rio Paraguai, buscando destacar o seu funcionamento hidrológico nos trechos analisados e as relações estabelecidas entre o rio Paraguai e sua planície, caracterizando assim os padrões fluviais gerais do rio Paraguai em cada compartimento.

4.2 Materiais e métodos

Para a compartimentação geomorfológica da área foram adotados um conjunto de procedimentos e critérios conforme àqueles definidos por Assine e Silva (2009). Assim, para a identificação e mapeamento das áreas geomorfológicamente homólogas foi criado um amplo

banco de dados contendo um conjunto de produtos orbitais, dados secundários de acesso público e dados primários obtidos a partir de técnicas de Geoprocessamento.

Primeiramente foram adquiridas imagens orbitais de três programas satélites com resoluções espaciais, radiométricas e temporais diferenciadas, cada um dedicado a um objetivo em específico. Assim, foram adquiridas no portal *Earth Explorer* (USGS, 2019a), do Serviço Geológico dos Estados Unidos (*USGS* na sigla em inglês), cenas orbitais do satélite Landsat-8, sensor OLI e do satélite Landsat-5, sensor TM, especificadas em detalhes na Tabela 1. Ainda no portal *Earth Explorer* foram adquiridas imagens orbitais dos satélites Sentinel-2A e Sentinel-2B, sensor MSI, provenientes do *Corpenicus*, programa de observação da Terra coordenado e gerido pela Agência Espacial Europeia (*ESA* na sigla em inglês), pelos Estados-Membros da União Europeia e suas agências espaciais (LI; ROY, 2017).

As imagens Sentinel-2A e 2B acessíveis no portal *Earth Explorer*, conforme USGS (2019b), estão recortadas de acordo ao Sistema de Referência de Grades Militares dos EUA (*MGRS*) e já possuem pré-processamento com correções radiométricas e geométricas, conjuntamente com a ortorretificação em projeção UTM/WGS84. Deve-se considerar ainda que o Sentinel 2B, lançado em março de 2017, é um satélite idêntico ao Sentinel 2A, lançado em junho de 2015, possuindo resolução espacial de 10 metros e resolução temporal de 10 dias. Assim, a junção dos produtos gerados por ambos oportuniza imagens orbitais em um intervalo de apenas 5 dias que, conjuntamente às cenas provenientes do satélite Landsat-8, sensor OLI, possibilitam um intervalo médio global de revisita de apenas 2,9 dias (LI; ROY, 2017). Dessa forma, as cenas orbitais dos satélites Sentinel 2 A e B adquiridas para este trabalho podem ser visualizadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Cenas orbitais utilizadas.

Satélite	Sensor	Identificação da cena	Data	Bandas utilizadas
Landsat-8	OLI	228/71	Agosto de 2018	2, 3, 4, 5 e 6
Landsat-8	OLI	228/72	Agosto de 2018	2, 3, 4, 5 e 6
Landsat-8	OLI	227/71	Setembro de 2018	2, 3, 4, 5 e 6
Landsat-8	OLI	227/72	Setembro de 2018	2, 3, 4, 5 e 6
Landsat-8	OLI	227/73	Setembro de 2018	2, 3, 4, 5 e 6
Landsat-8	OLI	226/73	Agosto de 2018	2, 3, 4, 5 e 6
Landsat-8	OLI	227/72	Maio de 2017	2, 3, 4, 5 e 6
Landsat-5	TM	227/73	Junho de 1988	1, 2, 3, 4 e 5
Sentinel 2A	MSI	T21LVD	Agosto de 2018	2, 3, 4 e 8
Sentinel 2A	MSI	T21LUC	Agosto de 2018	2, 3, 4 e 8

Tabela 1 - continuação

Satélite	Sensor	Identificação da cena	Data	Bandas utilizadas
Sentinel 2A	MSI	T21KVA	Agosto de 2018	2, 3, 4 e 8
Sentinel 2A	MSI	T21KVB	Agosto de 2018	2, 3, 4 e 8
Sentinel 2B	MSI	T21KVV	Agosto de 2018	2, 3, 4 e 8
Sentinel 2A	MSI	T21LVC	Agosto de 2018	2, 3, 4 e 8
CBERS-4	WFI	168/117	Julho de 2018	13, 14, 15 e 16
CBERS-4	WFI	165/123	Julho de 2018	13, 14, 15 e 16

Fonte: o próprio autor.

Foram utilizadas ainda imagens orbitais do satélite CBERS-4, sensor WFI (Câmera de Campo Largo) ideal para trabalhos em áreas grandes. A largura de sua faixa imageada é de aproximadamente 866 km, fazendo com que as mesmas áreas sejam revisitadas em intervalos médios de até 5 dias. Assim, a quase totalidade do Pantanal pôde ser representada em apenas duas imagens orbitais (Tabela 1) com 64 metros de resolução espacial, adquiridas junto ao portal Catálogo de Imagens (INPE, 2019).

Outros recursos provenientes de dados orbitais referem-se aos arquivos contendo dados altimétricos. Neste segmento, foram utilizados dados da missão SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) de 30 metros de resolução espacial, também disponível no portal *Earth Explorer*, e dados do satélite *ALOS (Advanced Land Observing Satellite)*, sensor *PALSAR (Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar)* de 12,5 metros de resolução espacial disponível no portal *Alaska Satellite Facility's* (UAF, 2019). Optou-se pela aquisição de ambas as fontes de dados altimétricos devido a diferença de resolução espacial e tamanho das áreas imageadas, bem como suas respectivas aplicações. Assim, em escala mais ampla para uma visão geral da área de estudo, os dados SRTM apresentaram uma melhor aplicação, enquanto para áreas menores, no qual se faz necessário a visualização em maiores detalhes, utilizou-se o modelo digital de elevação proveniente do satélite *ALOS-PALSAR*.

Para apoiar a delimitação das feições geomorfológicas utilizaram-se ainda, dados secundários de domínio público, como o Mapeamento de Recursos Naturais do Brasil (IBGE, 2018), nomeadamente os mapeamentos geológicos, geomorfológicos e pedológicos provenientes das folhas SD-21, SE-21 e SF-21, em escala 1:250.000. Para o melhor entendimento dos dados, os arquivos foram organizados de forma a representar até o último nível taxonômico disponível no mapeamento que, nos dados geomorfológicos, atingem até o quinto táxon (IBGE, 2009) e, no mapeamento pedológico, atingem até o quarto nível hierárquico, os subgrupos (IBGE, 2007). Os arquivos foram processados por meio do *software*

de SIG *ArcGis* 10.6® (ESRI, 2018), no qual adotou-se a ferramenta *merge* para a junção das folhas e *clip* para o recorte das mesmas à área de estudo.

Assim como os arquivos vetoriais, as cenas orbitais também foram processadas no *software ArcGis* 10.6® (ESRI, 2018). Todas as cenas passaram por técnicas de realce para melhorar sua visualização conforme àquelas descritas por Florenzano (2008), sendo procedido também o processo de composição de bandas por meio da ferramenta *composite bands*, a qual objetiva a conversão de diversos arquivos matriciais, isto é, as bandas de cada imagem, em um único arquivo multicamadas. Para as cenas do satélite Landsat-8, sensor OLI, foram utilizadas as bandas 2, 3, 4, 5 e 6 (azul, verde, vermelho, infravermelho próximo e infravermelho médio); para as cenas dos satélites Sentinel 2A e B, sensor MSI, adotaram-se as bandas 2, 3, 4 e 8 (azul, verde, vermelho e infravermelho próximo, respectivamente) e para as cenas do satélite CBERS-4, sensor WFI, empregaram-se as bandas 13, 14, 15 e 16 (azul, verde, vermelho e infravermelho próximo, respectivamente). A junção deste grupo amplo de bandas permite a aplicação de um conjunto de composições coloridas diferenciadas de forma ágil e rápida, oportunizando observações melhoradas de diferentes elementos de uma mesma área, como corpos d'água continentais, áreas úmidas, interfaces entre feições do relevo, densidade e padrão da vegetação, entre outros.

Dessa forma, para as cenas do satélite Landsat-8 adotou-se preferencialmente as composições RGB 6, 5, 4 e 5, 4, 3; para as cenas Sentinel 2A e B empregou-se as composições RGB 8, 4, 3 e 4, 8, 3 e para as imagens CBERS-4 utilizaram-se principalmente as composições RGB 15, 16, 14 e 13, 16, 14. A junção das cenas orbitais, dos Modelos Digitais de Elevação, dos dados secundários de acesso público e referências provenientes de outros trabalhos realizados na área de estudo, permitiram o mapeamento das feições morfológicas em escala de 1:100.000, condizente ao entendimento dos compartimentos geomorfológicos localizados no sistema tronco do rio Paraguai. Destaca-se ainda que a delimitação da bacia sedimentar do Pantanal seguiu proposta de Padovani (2010), pois este apresenta melhor precisão quanto aos seus limites externos, principalmente em suas porções internacionais.

Foram levantadas ainda seções transversais do canal com auxílio do *Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP)* na área de estudo, realizadas entre os dias 30 de abril e 08 de maio de 2016 para complementação dos dados hidrológicos registrados pelas estações hidrométricas de Cáceres, Descalvados, Porto Conceição, Amolar, São Francisco e Ladário, como vazão e nível (ANA, 2019). Estas seções transversais do canal serão melhor detalhadas no capítulo seguinte deste trabalho. Para melhor compreender a dinâmica fluvial caracteristicamente predominante do rio Paraguai no interior dos compartimentos geomorfológicos, serão apresentados os valores

médios de declividade de linha d'água, potência de canal e potência de canal específica, explicadas, calculadas e analisadas em pormenores no próximo capítulo (subseção 5.3.3).

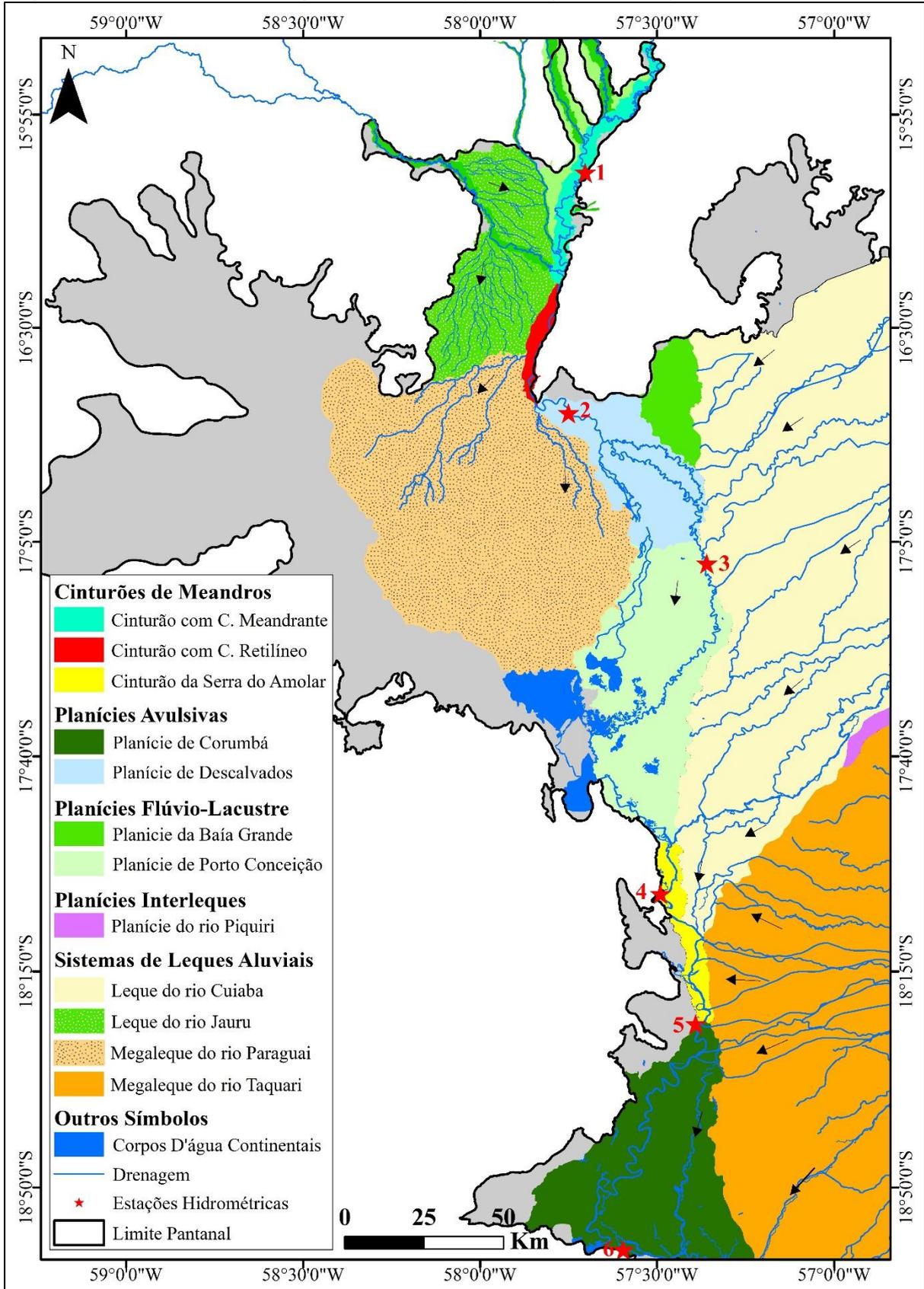
4.3 Resultados e discussões

Ao longo da área de estudo, o rio Paraguai percorre aproximadamente 750 km de norte a sul, recortando seis grandes compartimentos geomorfológicos (Figura 7), nomeadamente: cinturão de meandros com canal meandrante, cinturão de meandros com canal retilíneo, planície avulsiva de Descalvados, planície fluvio-lacustre de Porto Conceição, cinturão de meandros da Serra do Amolar e a planície avulsiva de Corumbá. Estas planícies, em quase sua totalidade, localizam-se topograficamente nas regiões mais baixas do Pantanal, drenando as águas provenientes de toda a bacia, em altitudes que variam entre os 110 metros no início da planície de Descalvados e os 84 metros na planície de Corumbá. A exceção refere-se aos cinturões meandrantes da região de Cáceres, localizados em altitudes mais elevadas.

Para além dos seis compartimentos geomorfológicos diretamente recortados pelo rio Paraguai, foram mapeados ainda outros oito compartimentos que apresentam significativa relação com o rio Paraguai e que, portanto, constituem elementos importantes para a compreensão de sua dinâmica fluvial. São eles: os terraços fluviais (encontrados no norte do Pantanal); as planícies aluviais dos rios Sepotuba, Cabaçal e Jauru; o leque aluvial do rio Jauru; o megaleque do rio Paraguai; a planície fluvio-lacustre da Baía Grande; o leque aluvial do rio Cuiabá; a planície interleque do rio Piquiri e o megaleque do rio Taquari.

Estes compartimentos são marcados um por conjunto de formas, pretéritas e atuais, intrínsecas e extrínsecas à paisagem presente, constituindo registro inequívoco das mudanças paleogeográficas ocorridas na área desde o Pleistoceno (MACEDO, 2017a; ASSSINE; SILVA, 2009). Assim, para o melhor entendimento dos processos fluviais, faz-se necessário uma análise mais ampla das partes do sistema, buscando entender as formas deposicionais e erosivas intrínsecas impressas na paisagem (SILVA, 2010), bem como elementos externos de suma importância, como a controles tectônicos e neotectônicos, que fazem-se presentes sobretudo ao longo do rio Paraguai no trecho estudado (PARANHOS FILHO et al., 2017).

Figura 7 – Mapa dos compartimentos geomorfológicos da área de estudo. Estrelas em vermelho referem-se às estações hidrológicas: 1 Cáceres; 2 Descalvados; 3 Porto Conceição; 4 Amolar; 5 São Francisco e 6 Ladário. Setas em preto indicam o sentido de fluxo predominante das águas em regiões de drenagem distributária.

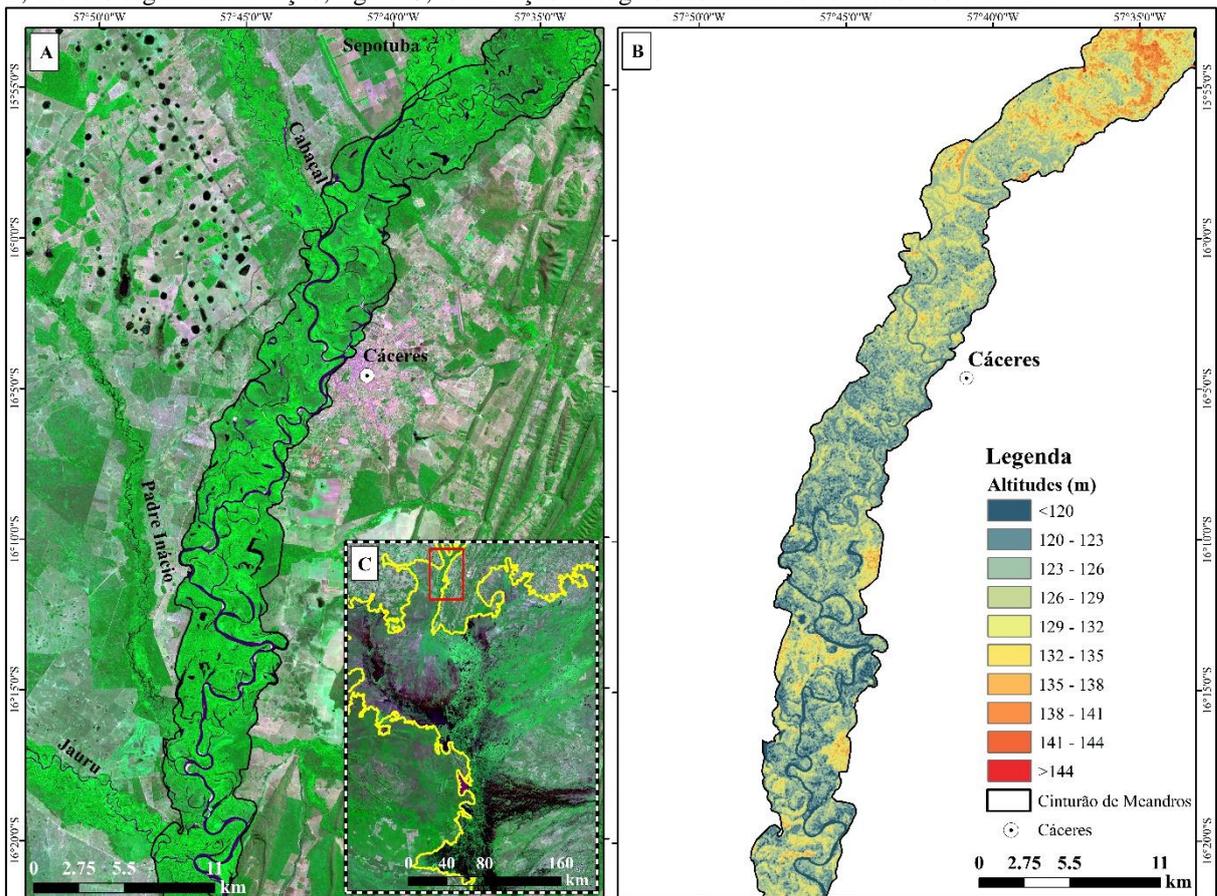


Fonte: o próprio autor.

4.3.1 Cinturão de meandros com canal meandrante (Cmcm)

Ao adentrar à bacia pantaneira, a montante da confluência com o rio Sepotuba, o rio Paraguai constrói um amplo cinturão de meandros orientado na direção NE-SW, confinado à esquerda pela Província Serrana e pela a Depressão do Alto Paraguai, enquanto pela margem direita encontra as planícies aluviais dos rios Sepotuba, Cabaçal e Jauru, bem como amplos terraços aluviais, terrenos provenientes da Depressão do Alto Paraguai e porções do leque aluvial do rio Jauru. Apesar de confinado, este cinturão apresenta largura que varia entre 1 a 7 km, registrando alguns sistemas de paleocanais (*paleochannel*), espiras de meandros (*scroll bar*), barras em pontal (*point bar*), meandros abandonados (*meander scar*) e lagos em meandros abandonados (*oxbow lakes*), com gradiente topográfico de apenas 0,000008 (Figura 8).

Figura 8 – Localização do cinturão de meandros com canal meandrante. Figura A, imagem orbital da região; figura B, modelo digital de elevação; figura C, localização da região destacada no contexto doo Pantanal.



Fonte: figura A, satélite Sentinel 2A; figura B, satélite ALOS, sensor PALSAR; figura C, satélite CBERS-4, sensor WFI.

Ao longo deste trecho, o rio Paraguai percorre aproximadamente 94 km, apresentando um padrão de canal tipicamente meandrante (cuja sinuosidade é de 2,12), com declividade média de 0,000050. Em termos de energia para a realização dos processos fluviais, o rio

Paraguai apresenta potência de canal (*stream power*) de aproximadamente de 241 J s^{-1} , enquanto que sua potência de canal específica (entendida como a relação da potência com a largura do canal) é de $1,40 \text{ W m}^{-2}$.

Ao longo deste trecho, a medição *in loco* aponta que o rio Paraguai recebe as águas provenientes dos rios Sepotuba ($165 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$), Cabaçal ($86 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) e Jauru ($121 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$), bem como de canais menores como o córrego Padre Inácio, sendo que as contribuições do rio Sepotuba e Cabaçal são registradas na estação hidrométrica de Cáceres, enquanto o ganho de vazão proveniente do rio Jauru registra-se na estação de Descalvados, localizada já na planície homônima. A vazão média registrada nestas estações varia bastante respondendo, em curto intervalo de tempo, aos índices pluviométricos registrados na região. Assim, conforme Silva (2010), nos períodos secos (junho a setembro) a vazão mantém-se próxima a $200 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, podendo atingir os $2.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ nos períodos úmidos (janeiro a abril), sendo que a média anual histórica (intervalo entre 1965-2018) é de aproximadamente $444 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

Mantendo um padrão de drenagem tipicamente tributário, ao longo deste cinturão de meandros o rio Paraguai caracteriza-se por um pulso de inundação curto e particular, algo ratificado pelos registros de vazão entre a estação de Cáceres e Descalvados (ASSINE; SILVA, 2009). Este curto intervalo indica um rápido escoamento das águas e uma elevada associação entre a precipitação e o pulso de inundação, processo comum nos rios dos planaltos adjacentes ao Pantanal. Tal processo também vale para o cinturão de meandros com canal retilíneo, indicando que esta é uma região do rio Paraguai na qual o pulso de inundação coincide com o período de precipitação, algo não registrado nos trechos a jusante.

4.3.2 Cinturão de meandros com canal retilíneo (Cmcr)

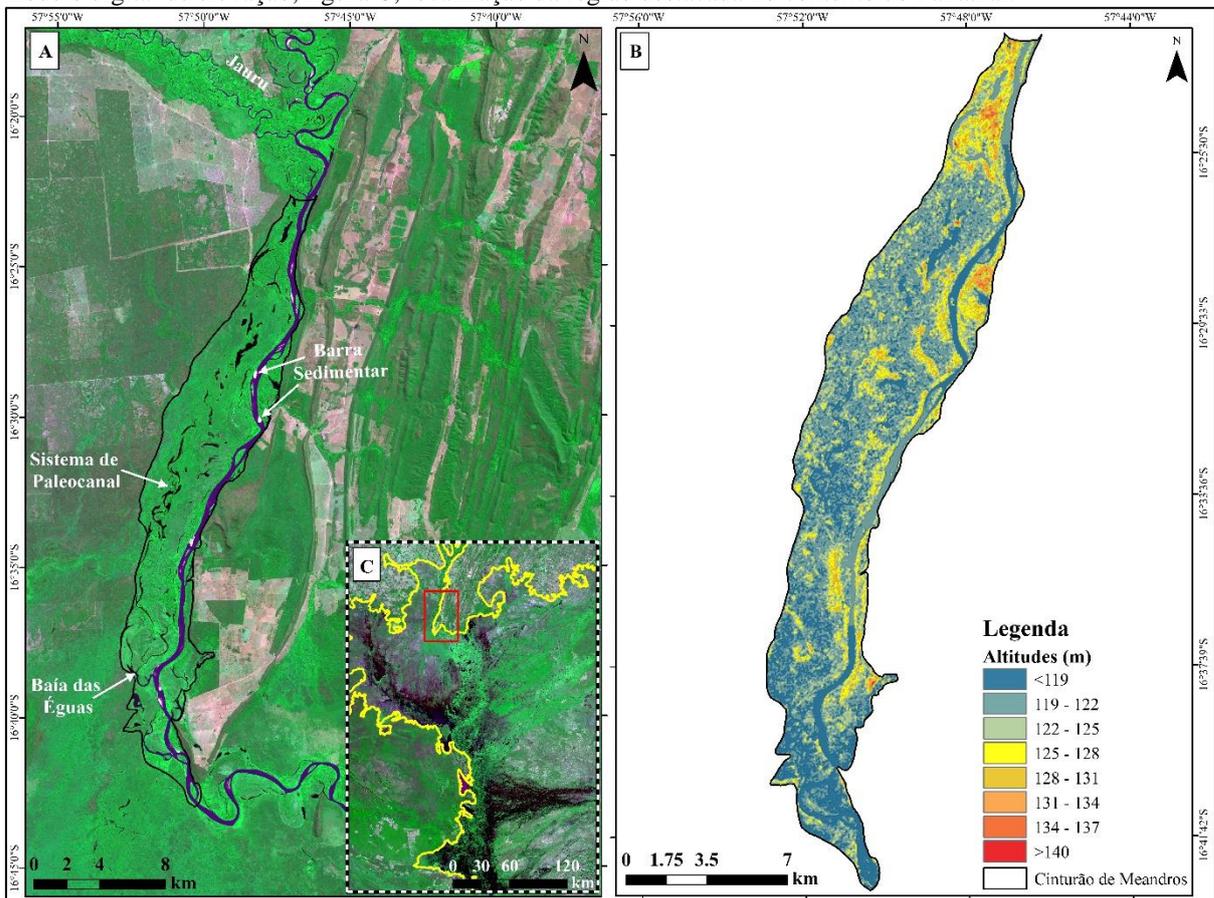
Em seu trecho retilíneo, a jusante da confluência com o rio Jauru, o Paraguai flui em uma planície entrincheirada a leste por relevo montanhoso da Província Serrana, a oeste pelas porções distais do leque aluvial do rio Jauru e a sul pelo megaleque do rio Paraguai, apresentando larguras que variam entre os 1,5 a 6,5 km e gradiente topográfico 0,000021. A planície, apesar de mais estreita que a planície do segmento a montante, apresenta um amplo sistema de paleocanais em sua margem direita (Figura 9A), canais estes mais sinuosos e estreitos em relação ao canal atual o que, conforme Silva (2010), pode indicar relevantes mudanças fluviais ao longo do Quaternário.

Neste trecho, o rio Paraguai torna-se retilíneo (sinuosidade de apenas 1,11), mas mantém-se com padrão tributário, fluindo em orientação NNE por aproximadamente 41 km,

desde jusante da confluência do rio Jauru até a altura da baía das éguas (Figura 9A). Por sua vez, a declividade do canal cai para 0,000039, 26% abaixo daquela registrada no trecho a montante.

Mesmo com o acréscimo na vazão, o rio Paraguai apresenta a mesma potência de canal (241 J s^{-1}) do trecho anterior resultado, sobretudo, da diminuição registrada na declividade. Entretanto, devido à maior largura do canal (reflexo de um ajuste da geometria hidráulica em relação à maior vazão), sua potência específica é menor, de apenas $0,88 \text{ W m}^2$, o que indica uma menor capacidade de erosão e transporte e a prevalência de processos deposicionais neste trecho, o que pode ser verificado pela maior ocorrência de barras arenosas (Figura 9A).

Figura 9 - Localização do cinturão de meandros com canal retilíneo. Figura A, imagem orbital da região; figura B, modelo digital de elevação; figura C, localização da região destacada no contexto do Pantanal.

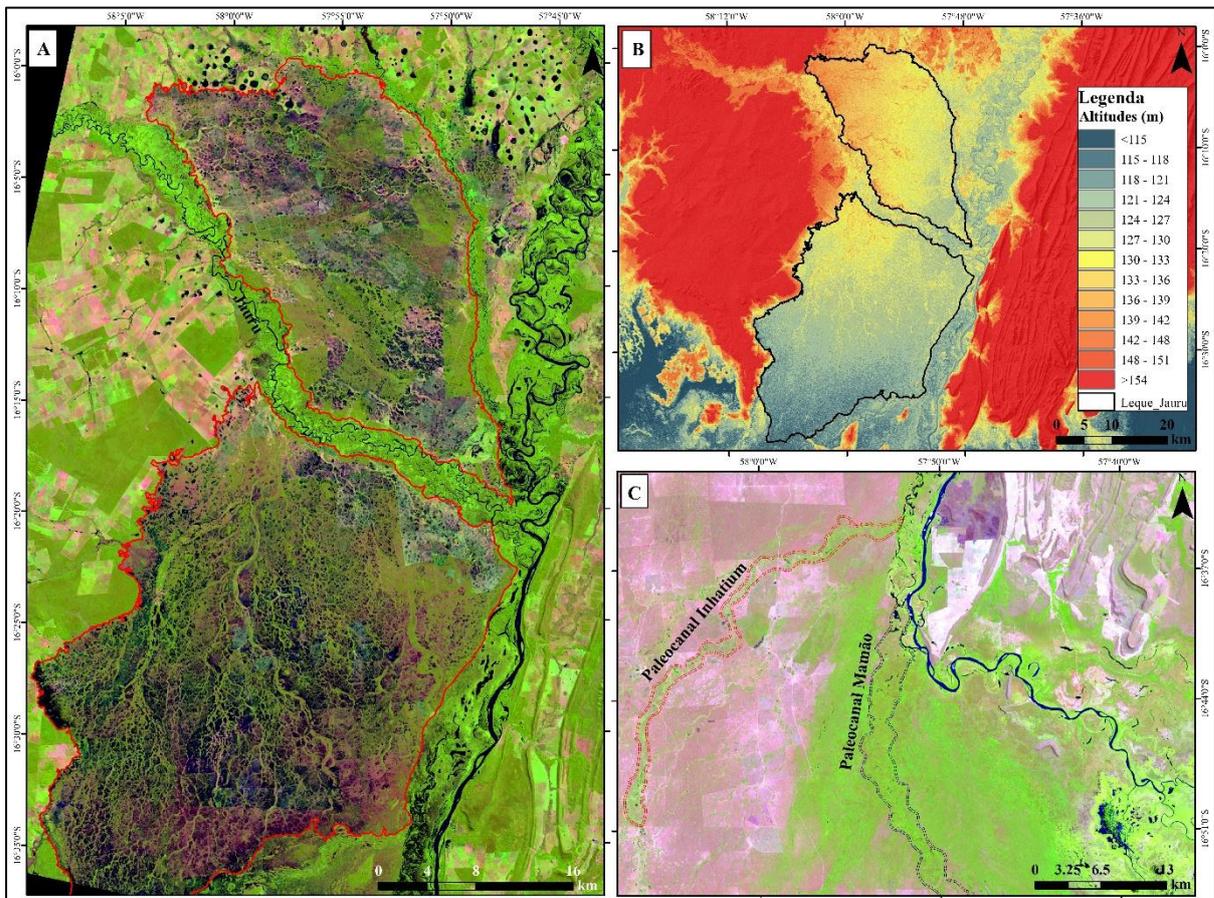


Fonte: figura A, satélite Sentinel 2A; figura B, satélite ALOS, sensor PALSAR; figura C, satélite CBERS-4, sensor WFI.

Ao longo deste trecho retilíneo, o Paraguai drena, em determinados períodos do ano, as águas provenientes do leque aluvial do rio Jauru, leque este segmentado em dois grandes compartimentos localizados a norte e a sul da planície do rio Jauru, totalizando área de aproximadamente 1.740 km^2 (Figura 10, A e B). Apesar da escassez de estudos acerca deste

sistema fluvial e de seu papel ainda pouco compreendido para o funcionamento hidrossedimentológico do rio Paraguai e da porção norte do megaleque do Paraguai, o leque do rio Jauru pode ser definido como um leque aluvial de captação em terras baixas, com sedimentos provenientes de rochas pré-cambrianas ígneas e metamórficas, com rendimento sedimentar significativamente inferior os leques com captação em planaltos sedimentares, como os dos rios Taquari, São Lourenço, entre outros (ASSINE et al. 2015b).

Figura 10 – Leque do rio Jauru e paleocanais distributários no megaleque do rio Paraguai. A, cena orbital da porção norte e sul do leque aluvial do rio Jauru; B, modelo digital de elevação da área; C, destaque para os sistemas distributários representados pelos paleocanais do Inhatium e Mamão.



Fonte: Figura A, satélite Landsat 8, sensor *OLI* de maio de 2017; figura B, satélite *ALOS*, sensor *PALSAR*; figura C, satélite Landsat 8, sensor *OLI* de agosto de 2018.

Em sua porção meridional, o trecho retilíneo do rio Paraguai circunvizinha o lobo reliquear e pré-atual do megaleque do rio Paraguai, o quarto maior sistema deposicional de leque aluvial no Pantanal, com área de 6.166 km² (SILVA, 2010), atrás somente do megaleque do rio Taquari que possui área de aproximadamente 50.000 km² (ASSINE et al., 2015a), e dos leques do rio Cuiabá com 15.300 km² e do rio São Lourenço com 12.800 km², ambos estudados por Pupim (2014).

Neste trecho, fazem-se presentes inúmeros paleocanais, ocasionalmente ativos durante os períodos úmidos, drenando significativa vazão do rio Paraguai e contribuindo assim para o desenvolvimento de um amplo sistema de drenagem distributário, do qual os paleocanais do Inhatium e Mamão constituem elementos importantes (ASSINE e SILVA, 2009) (Figura 10 C).

4.3.3 Planície avulsiva de Descalvados (PaD)

A planície avulsiva de Descalvados (STEVAUX et al. 2019) corresponde ao lobo deposicional moderno do megaleque do rio Paraguai (ASSINE; SILVA, 2009). Esta planície ocupa uma área de aproximadamente 1.320 km², limitando-se a norte por planícies adjacentes, bem como pelas porções distais de leques aluviais de fluxos gravitacionais provenientes da Província Serrana; a leste por uma restrita planície fluvio-lacustre, aqui denominada de planície fluvio-lacustre Baía Grande, e pela franja ocidental do leque do rio Cuiabá; a sul pela planície fluvio-lacustre de Porto Conceição e a Oeste pela franja oriental do megaleque do rio Paraguai (Figura 11).

Ao longo desta planície, registra-se uma elevação em 10% da declividade média do rio Paraguai, atingindo índices de 0,000041. Apesar desta elevação, a potência de canal diminui (176 J s⁻¹), em grande parte devido à significativa redução de sua vazão. Entretanto, a diminuição da vazão reflete-se também na redução da largura do canal e na consequente elevação da potência de canal específica para 1,32 W m⁻², o segundo maior valor calculado entre os diversos compartimentos que compõe a planície do rio Paraguai.

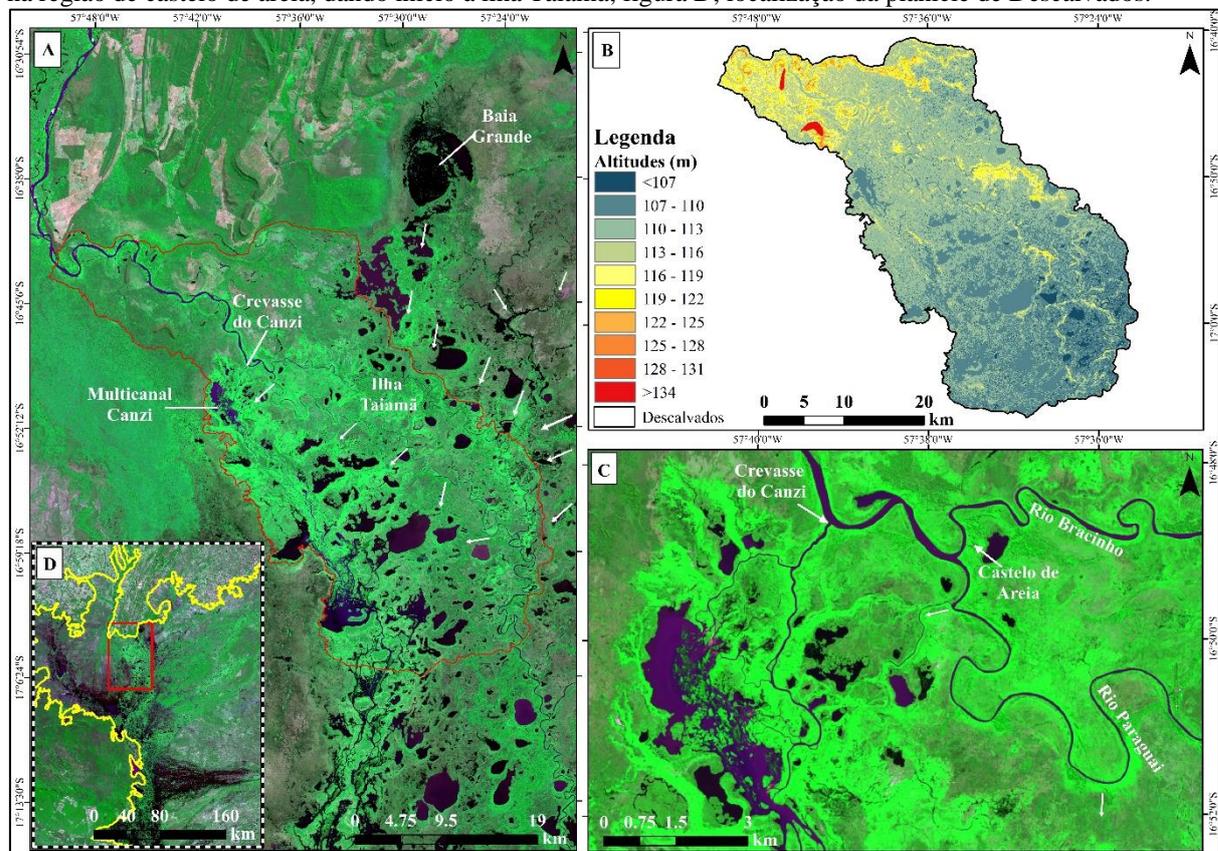
Apesar da potência de canal específica média nesta planície ser elevada, seu valor varia ao longo de 194 km no interior da planície de Descalvados, visto que o rio Paraguai apresenta uma ampla variação de padrões fluviais. Ao adentrá-la, o rio deflete bruscamente para SE, mantendo padrão meandrante por aproximadamente 39 km até a região conhecida como “Castelo de Areia” (16°49'S; 57°37'O). À esta região, o rio Paraguai perfila padrão multicanal, visto que se bifurca dando origem, em sua margem esquerda, ao rio Bracinho (Figura 11C). A área localizada entre ambos é conhecida como ilha Taiamã, uma das maiores ilhas do Pantanal, com área de aproximadamente 150 km². Neste segmento, tanto o rio Paraguai quanto o rio Bracinho apresentam elevada sinuosidade (2,01 e 2,1 respectivamente), com o rio Bracinho registrando uma largura média superior em relação ao rio Paraguai.

Este trecho multicanal representa um dos principais pontos de trocas hídricas entre o canal e as planícies circundantes. Enquanto o rio Paraguai apresenta drenagem distributária, o rio Bracinho registra drenagem tendencialmente tributária, fato ratificado em medição de

campo realizada no dia 5 de maio de 2016. No início da ilha Taiamã, a vazão medida do rio Paraguai (canal à direita) era de $148 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, enquanto que o rio Bracinho (canal à esquerda) registrara $215 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. A jusante, ao final da bifurcação, o rio Paraguai apresentou vazão de apenas $98 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, enquanto no rio Bracinho mediram-se $275 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, uma vazão 22% maior em comparação à medição inicial. Deve-se destacar que as vazões registradas em campo tem como parâmetro a média diária de $697 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, registrada no mesmo dia 5 de maio na estação hidrométrica de Descalvados, única estação hidrológica da região com dados referentes a 2016.

A diferença no volume de água vertido por cada canal decorre da relação estabelecida entre este e suas respectivas planícies, diferenciadas em termos geomorfológicos e em processos hidrológicos. Dessa forma, enquanto o rio Paraguai é margeado pelo sistema multicanal do rio Canzi, apresentando uma série de pequenos canais de *crevasse* que parecem verter suas águas para lagos e pântanos adjacentes (setas em branco na Figura 11C), o rio Bracinho recebe importantes aportes provenientes do corixo Bento Gomes, da planície fluvio-lacustre da Baía Grande e principalmente da franja oeste do leque do rio Cuiabá (Figura 11A).

Figura 11 – Localização da planície avulsiva de Descalvados. Figura A, imagem orbital da região; figura B, modelo digital de elevação; figura C, destaque para a *crevasse* que origina o rio Canzi e para a bifurcação do rio Paraguai na região de castelo de areia, dando início à ilha Taiamã; figura D, localização da planície de Descalvados.



Fonte: figura A: cena orbital do satélite Sentinel 2-A; figura B: modelo digital de elevação confeccionado a partir de dados altimétricos do radar ALOS-PALSAR; figura C, cena orbital do satélite Sentinel 2-A; figura D, cena orbital satélite CBERS-4, sensor WFI.

A aproximadamente 3 km a montante da ilha Taiamã (16°48'40"S; 57°39'9"O) localiza-se uma importante avulsão em andamento à margem direita do rio Paraguai (Figura 11 C), a partir de feições morfológicas conhecidas localmente como arrombados (*crevasse* na literatura internacional), isto é, uma ruptura dos diques marginais que origina progradação sedimentar (*crevasse splays*) sobre áreas baixas adjacentes, inundando-as permanentemente caso o processo de avulsão se complete (ASSINE, 2005).

O volume de água vertido por esta *crevasse* pôde ser mensurada em medição de campo realizada no dia 5 de maio de 2016, a qual verteu vazão de aproximadamente 225 m³ s⁻¹ do rio Paraguai, o que representa cerca de 32% da vazão registrada no mesmo 5 de maio de 2016 pela estação hidrométrica de Descalvados (697 m³ s⁻¹), localizada 17,5 km a montante da região. Este volume de água é drenado pela complexa rede de multicanais que originam o rio Canzi (SILVA, 2010), localizado ao extremo oeste desta planície (Figura 11 A).

Este processo de avulsão, caso completado, pode levar ao abandono do atual curso do rio Paraguai e a conseqüente ligação da ilha Taiamã à planície (ASSINE et al., 2015b), o que evidentemente ocasionará significativas alterações na dinâmica natural da região e, sobretudo, no transporte fluvial, por meio da hidrovia Paraguai-Paraná, lançando dúvidas sobre a sua viabilidade e continuidade no futuro.

Dessa forma, conjuntamente à *crevasse* que origina o rio Canzi, a bifurcação do rio Paraguai ao largo da ilha Taiamã e transbordamentos pontuais de diques marginais constituem os principais pontos de perdas de água do canal para a planície, abastecendo lagos e áreas úmidas adjacentes, retardando dessa maneira, o pulso de inundação. Portanto, pode-se definir que a onda de cheia ao longo da planície avulsiva de Descalvados decorre entre março a maio, a primeira, das três fases de inundação ao longo da bacia pantaneira (STEVANUX et al., 2019).

4.3.4 Planície fluvio-lacustre de Porto Conceição (PflIPC)

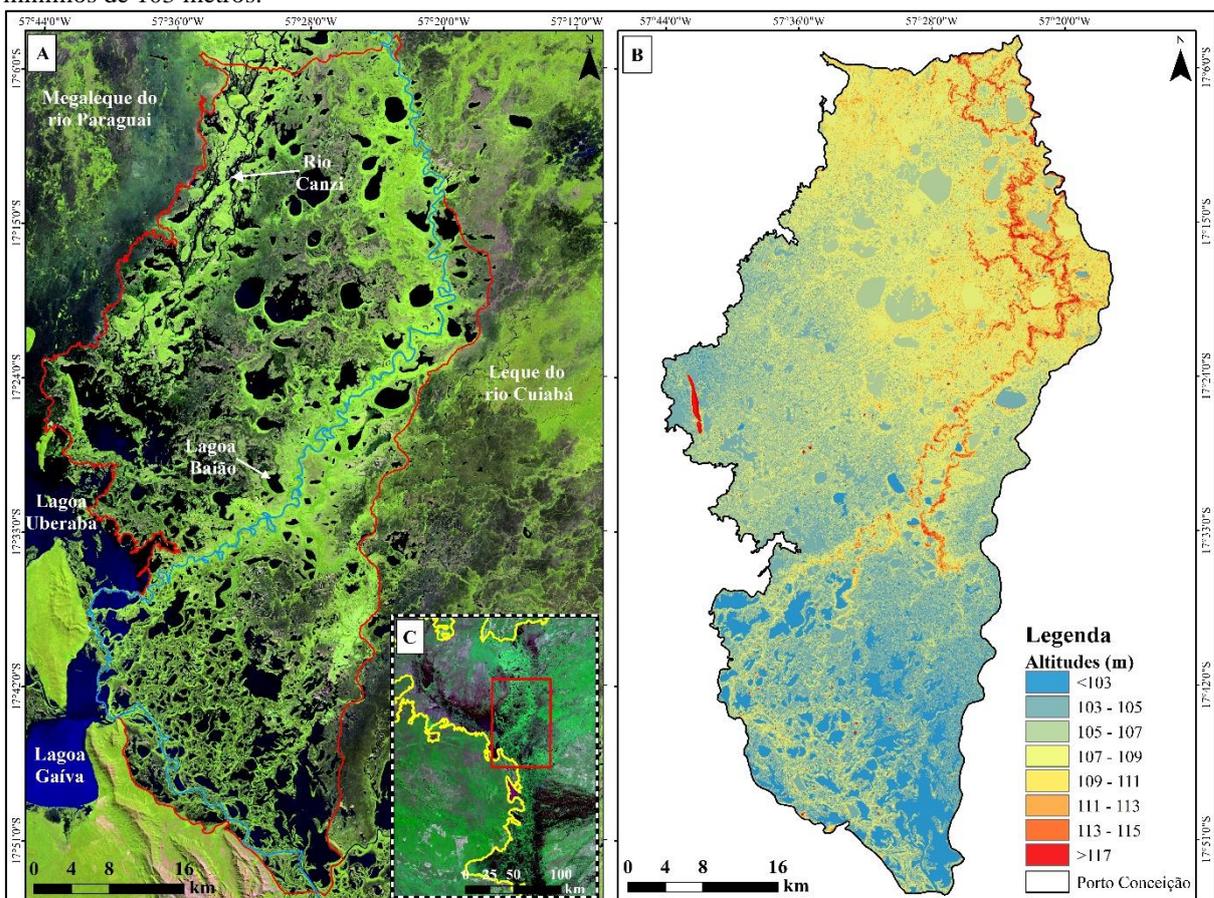
A planície fluvio-lacustre de Porto Conceição refere-se a um amplo compartimento caracterizado pela coexistência e interação entre elementos fluviais e lacustres, localizada entre a planície avulsiva de Descalvados (norte), a franja ocidental do leque aluvial do rio Cuiabá (leste), o cinturão de meandros da Serra do Amolar (sul) e a oeste pela franja oriental do megaleque do rio Paraguai e corpos d'água continentais, principalmente a lagoa Uberaba (Figura 12).

No interior desta planície três grandes compartimentos geomorfológicos se destacam: o complexo sistema multicanal do rio Canzi (oeste), sistemas lacustres marcados por inúmeros

lagos conectados por paleocanais e o atual cinturão de meandros do rio Paraguai, responsável por drenar, sobretudo ao norte, águas e sedimentos provenientes da franja ocidental do leque do rio Cuiabá.

Nesta planície, a declividade do canal reduz-se significativamente a apenas 0,000013, configurando um ambiente de sedimentação ativa no qual, comumente, registra-se um elevado acúmulo de águas provenientes das regiões circunvizinhas. Tal redução da declividade reflete diretamente na energia disponível no canal para a realização de processos fluviais. Assim, a potência de canal registrada é a mais baixa dentre todos os compartimentos que compõe o sistema tronco, de apenas 51 J s^{-1} , enquanto que sua potência específica também é a mais baixa dentre todos os compartimentos geomorfológicos, de apenas $0,53 \text{ W m}^{-2}$.

Figura 12 – Visão geral da planície fluvio-lacustre de Porto Conceição. Na Figura A, pode-se observar: elevada concentração de áreas úmidas ao longo da porção sudeste do megaleque do rio Paraguai, parte desta drenada pelo rio Canzi; a leste pode-se observar a presença de elevadas quantidades de águas superficiais provenientes da porção oeste do leque do rio Cuiabá drenadas, ao Norte diretamente pelo rio Paraguai, e na direção Sul pela ampla planície fluvio-lacustre. Na Figura B pode-se observar a diminuição da altitude da planície de norte a sul, atingindo índices mínimos de 103 metros.



Fonte: figura A: cena orbital do satélite Landsat-8, sensor OLI; figura B: modelo digital de elevação confeccionado a partir de dados altimétricos do radar ALOS-PALSAR; figura C, cena orbital satélite CBERS-4, sensor WFI.

Em linhas gerais, ao longo deste compartimento o rio Paraguai mantém padrão de drenagem distributário, registrando elevada perda de água para planície. Levantamento de campo realizado entre os dias 5 e 6 de maio de 2016 apontou que o rio Paraguai adentra a planície com vazão de aproximadamente $475 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Entretanto, à altura da Lagoa Baião (Figura 12 A), 94,6 km a jusante, a vazão do canal reduz-se a $192 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, indicando que, mesmo com os aportes provenientes do leque do rio Cuiabá, o canal perde significativo volume d'água para a planície, seja por extravasamento dos diques marginais ou por pequenos canais ligados à lagoas da região.

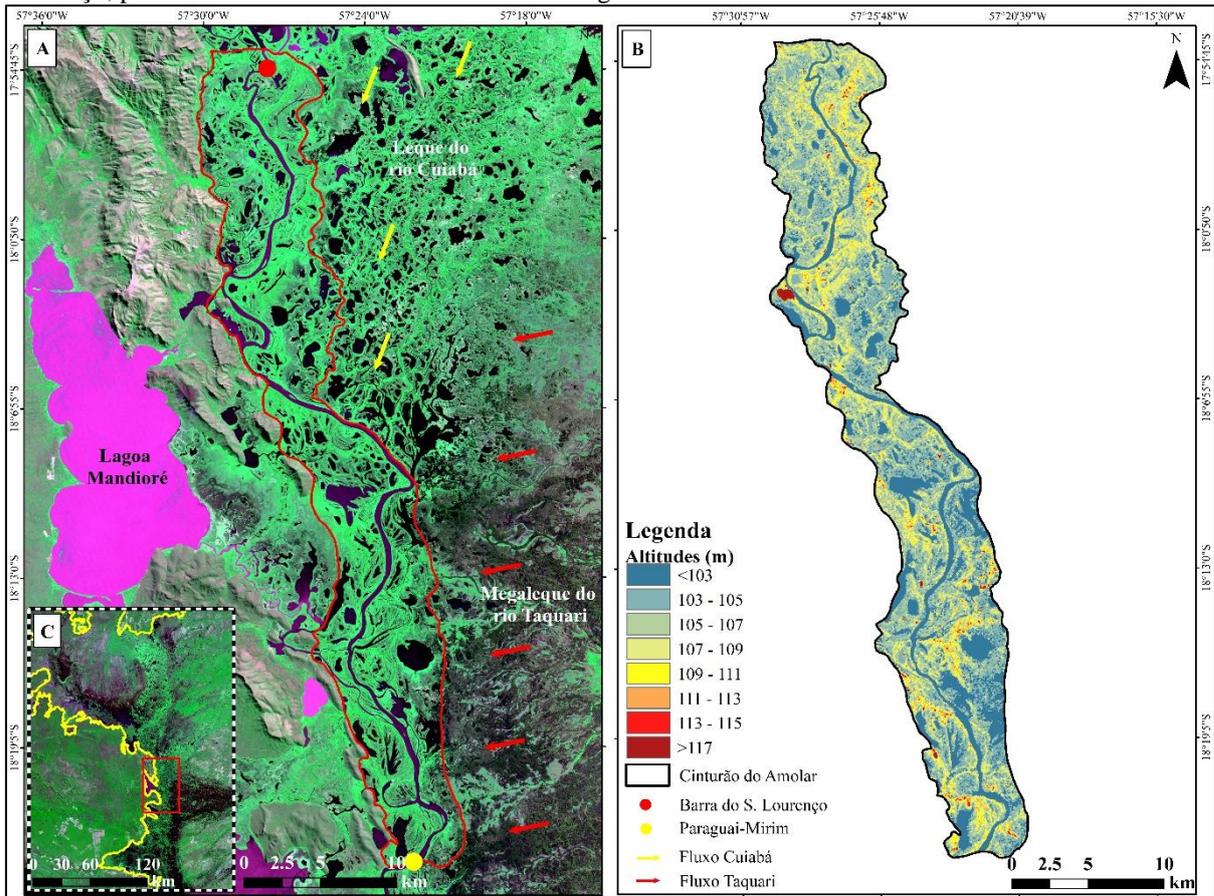
Estas perdas hídricas para a planície constituem, por um lado, reflexo da baixa declividade, associada a um ambiente de sedimentação ativa, repleto de áreas de acumulação sedimentar, mas por outro, expressa também a ocorrência de um amplo efeito remanso, ocasionado pelo controle lito-estrutural representado pela Serra do Amolar. Este gargalo hidráulico (um dos três registrados ao longo da bacia do Pantanal) é responsável pelo barramento de boa parte da onda de cheia proveniente da região norte do Pantanal, constituindo assim elemento primordial para a compreensão do pulso de inundação ao longo do Pantanal. Assim, o expressivo acúmulo de água nesta planície pode retardar a transmissão da onda de inundação em cerca de 60 dias, tempo necessário para percorrer os 360 km de distância entre a estação hidrométrica de Descalvados e a estação do Amolar (STEVAUX et al., 2019).

4.3.5 Cinturão de meandros da Serra do Amolar (CmSA)

O cinturão de meandros da Serra do Amolar constitui um dos menores compartimentos geomorfológicos do rio Paraguai, ocupando uma área de aproximadamente 342 km^2 . Está localizado a jusante da confluência do rio Cuiabá com o Paraguai, confinado a norte pela planície fluvio-lacustre de Porto Conceição; a leste pelas franjas ocidentais do leque do rio Cuiabá e o megaleque do rio Taquari; a sul pela planície avulsiva de Corumbá e a oeste por planícies adjacentes e principalmente pela Serra do Amolar (Figura 13A).

Devido ao confinamento, esta planície apresenta largura média de apenas 6 km, funcionando hidrologicamente como um gargalo hidráulico, responsável pelo represamento de grande volume de águas provenientes de todo o norte do Pantanal, retardando dessa maneira o pulso de inundação para a planície avulsiva de Corumbá. Conforme Stevaux et al. (2019), o acúmulo de água neste segmento durante os meses de junho e julho é tamanho que durante os períodos de cheia a planície transforma-se em um único grande lago de até 10.000 km^2 , estabelecendo a conectividade plena entre canal e planície.

Figura 13 – Visão geral do cinturão de meandros da Serra do Amolar. Figura A, cena orbital da área do cinturão de meandros e de seu entorno, no qual se pode observar o fluxo de águas superficiais (áreas escuras) provenientes do megaleque do rio Taquari e leque do rio Cuiabá; figura B, modelo digital de elevação da área, no qual se pode notar que a altitude registrada no cinturão varia predominantemente até os 114 metros; figura C, apresenta uma visão regional da área enfocada nas figuras A e B. Destaca-se que na figura A as setas amarelas indicam o fluxo laminar das águas provenientes do leque do rio Cuiabá, enquanto as setas em vermelho indicam o fluxo proveniente do megaleque do rio Taquari. O ponto em vermelho indica a localização da comunidade ribeirinha da barra do São Lourenço; ponto em amarelo indica o início do rio Paraguai-Mirim.



Fonte: figura A: cena orbital do Sentinel 2-A, sensor MSI; figura B: modelo digital de elevação confeccionado a partir de dados altimétricos do radar ALOS-PALSAR; figura C, cena orbital satélite CBERS-4, sensor WFI.

Em 73 km ao longo do cinturão de meandros da Serra do Amolar, o rio Paraguai registra uma redução de sua sinuosidade (1,35) e uma pequena a elevação em sua declividade a índices de 0,000020, ao passo em que se identifica alterações em seu padrão de drenagem, alternando de um sistema distributário ao norte para um sistema propriamente tributário em toda sua extensão. Desta forma, drenando as águas provenientes principalmente da planície fluvio-lacustre de Porto Conceição, do leque do Cuiabá e do megaleque do Taquari, o rio Paraguai registra elevações contínuas em sua vazão, caracterizando-se como principal mecanismo de transmissão da onda de cheia entre a região norte e central do Pantanal.

Esta contínua evolução da vazão do rio Paraguai foi verificada *in loco* no dia 7 de maio de 2016. Em medição realizada 1,5 km a jusante da confluência do rio Cuiabá e Paraguai (à altura da comunidade ribeirinha da barra do São Lourenço), a vazão registrada foi de $1554 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, o equivalente a 96% da vazão registrada também no dia 7 de maio pela estação hidrométrica do Amolar ($1609 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$). Já na medição localizada nas proximidades da bifurcação do rio Paraguai-Mirim, no final deste cinturão (Figura 13A), verificou-se um acréscimo de aproximadamente 24% na vazão, agora medida em $2.113 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Este aumento decorre para além da drenagem das águas provenientes do norte, de aportes advindos do leque do rio Cuiabá a nordeste e principalmente do lobo atual do megaleque do rio Taquari a oeste (Figura 13A).

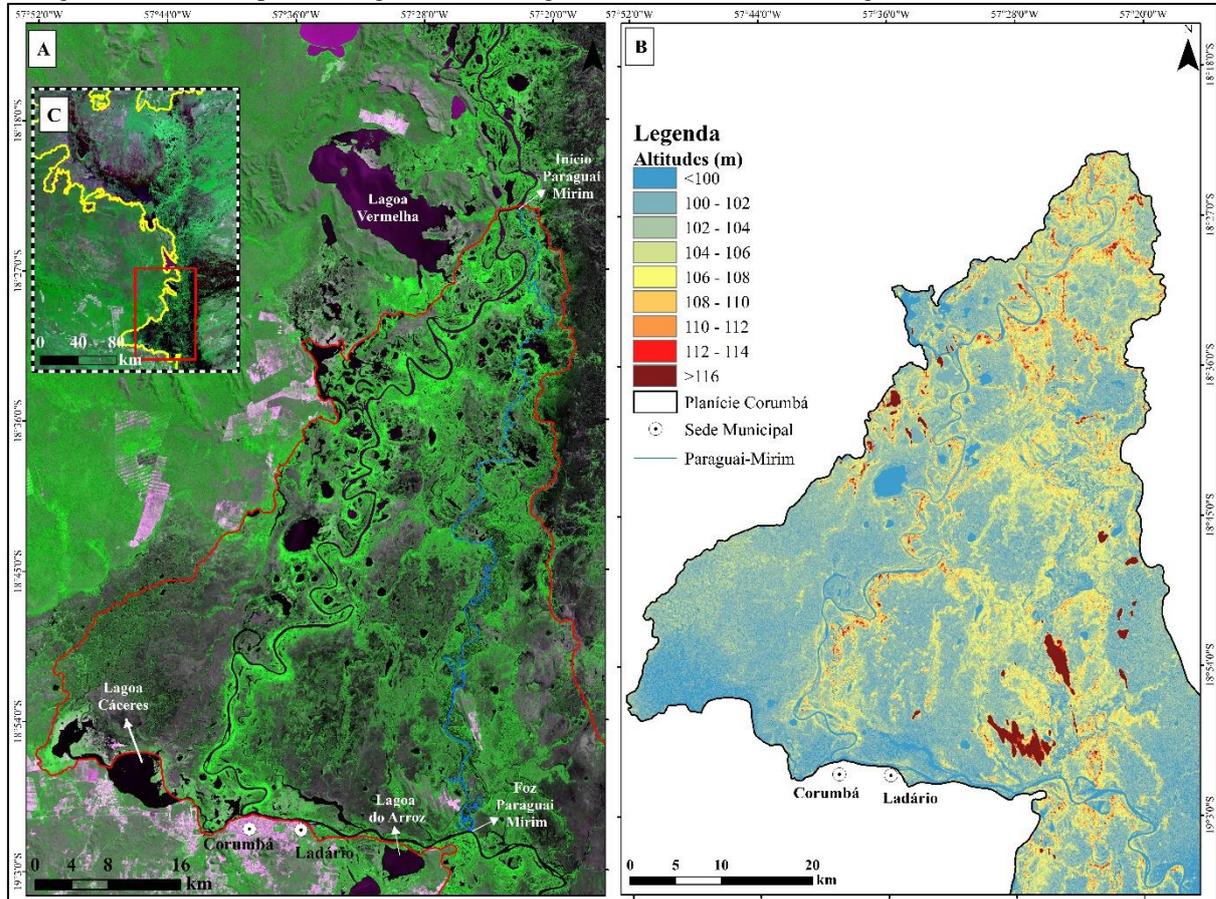
Dado ao aumento significativo da vazão ao longo deste cinturão de meandros, o rio Paraguai registra uma elevada potência de canal, de aproximadamente 368 J s^{-1} . Entretanto, o aumento da vazão contribui para a elevação da largura média do canal o que impacta diretamente na potência de canal específica, calculada em índices de 1.30 W m^{-2} . Apesar de a potência específica não ser uma das maiores dentre os trechos analisados (mesmo sendo este o compartimento com a maior vazão medida), esta é 59% superior àquela calculada para a planície fluvio-lacustre de Porto Conceição, evidenciando os reflexos do efeito remanso ocasionado pela Serra do Amolar àquele compartimento.

4.3.6 Planície avulsiva de Corumbá (PaC)

É a mais ampla de todas as planícies que compõem o sistema tronco do rio Paraguai, mantendo larguras de até 27 km, em área total de aproximadamente 3.667 km^2 . A planície limita-se ao norte pelo cinturão de meandros confinados da Serra do Amolar; a leste pela franja ocidental do megaleque do rio Taquari; a sul pelo planalto residual do Urucum e a oeste por planícies adjacentes, já em território boliviano (Figura 14). Seu sistema de drenagem é composto por uma complexa rede de canais, na qual os rios Paraguai e Paraguai-Mirim constituem elementos primordiais. Neste segmento, o rio Paraguai apresenta elevada sinuosidade (2,12), com padrão de drenagem predominantemente distributário em relação à planície, recebendo aportes pontuais e dispersos.

Macedo (2013 e 2017a) analisou a complexa dinâmica hidrossedimentar desta planície, apontando a ocorrência de um amplo efeito remanso à montante e uma perda gradual de água do canal para a planície entre a estação hidrométrica de São Francisco e Ladário, seja por meio de extravasamento de diques marginais, ou por drenagens secundárias, como o rio Paraguai Mirim (Figura 15-B).

Figura 14 – Planície avulsiva de Corumbá*. Figura A, cena orbital da área englobada pela planície avulsiva de Corumbá; figura B, modelo digital de elevação da região, no qual é possível observar morrarias residuais truncadas na região sudeste desta planície; figura C, visão regional da área enfocada nas figuras A e B.



Fonte: figura A: cena orbital do satélite Landsat-8, sensor OLI; figura B: modelo digital de elevação confeccionado a partir de dados altimétricos do radar *ALOS-PALSAR*; figura C, cena orbital satélite *CBERS-4*, sensor *WFI*.
*Apesar de a planície de Corumbá se alongar mais a sudeste, para esta representação cartográfica optou-se por destacar apenas a parte da planície que mantém relações diretas com o rio Paraguai no trecho estudado que se encerra nas proximidades da cidade de Corumbá.

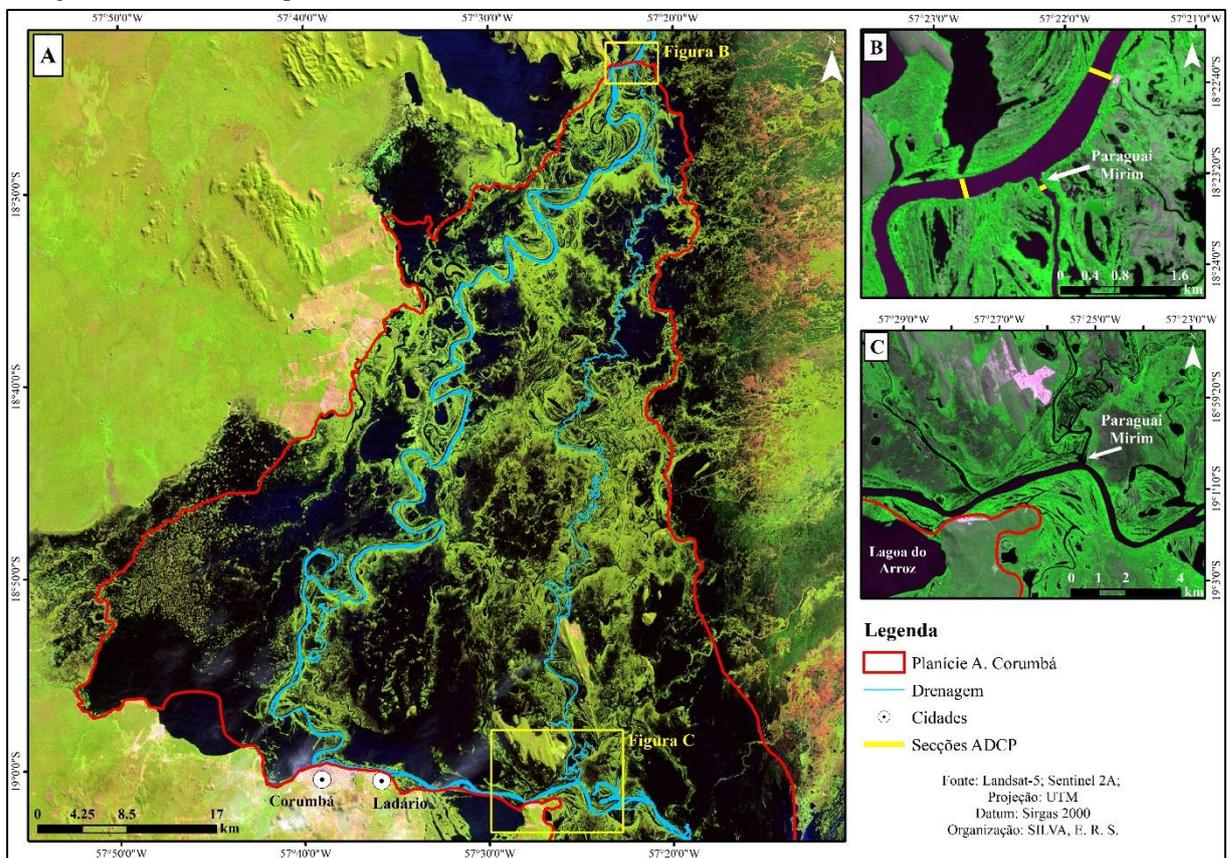
O rio Paraguai-Mirim constitui um paleocinturão pleistocênico do antigo rio Paraguai (Macedo et al. 2014), drenando atualmente cerca de 10% da água do canal atual do rio Paraguai, podendo atingir mesmo, índices de até 20% durante os períodos de inundação. Ao longo de sua extensão, o rio Paraguai-Mirim funciona também como um meio de drenagem das águas superficiais provenientes do megaleque do rio Taquari, vertendo-as até a sua foz com o rio Paraguai, às proximidades da lagoa do Arroz, já na porção sul desta planície (Figura 15C).

Esta planície apresenta grandes áreas de acomodação, encontrando-se em fase de preenchimento sedimentar, funcionando dessa forma, como uma ampla bacia de inundação nos períodos úmidos (Figura 15). Este fato ocasiona um atraso de até trinta dias na transmissão da onda de cheia, principalmente devido ao represamento ocasionado pelo planalto residual do

Urucum, localizado à altura da cidade de Corumbá (STEVAUX et al., 2019). Nesse local o rio Paraguai é controlado por falha normal na direção W-E por cerca de 35 km.

Ao longo da planície avulsiva de Corumbá, o rio Paraguai apresenta padrão de drenagem predominantemente distributário em relação à planície, recebendo aportes pontuais. Macedo (2017a) aponta uma perda gradual de água do rio Paraguai entre a estação hidrológica de São Francisco e Ladário, seja por extravasamento de diques marginais, ou por drenagens secundárias, como o rio Paraguai Mirim. Este fenômeno foi verificado em levantamento de campo realizado no dia 07 de maio de 2016. Em medição realizada a 1,5 km a montante da bifurcação (Figura 15B), o rio Paraguai registrou vazão de $2.113 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Já no rio Paraguai-Mirim mediu-se vazão de aproximadamente $177 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, o que representa cerca de 8,5% da vazão registrada no rio Paraguai. Esta diferença é em parte identificada na medição seguinte, realizada no rio Paraguai a aproximadamente 1 km a jusante do Paraguai-Mirim ($18^\circ 23' \text{ S}$; $57^\circ 22' \text{ O}$) no qual identificou-se vazão de $1.934 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, ou seja, cerca de 91,5% da vazão registrada pelo rio Paraguai a montante da bifurcação com o Paraguai-Mirim.

Figura 15 – Destaques na Planície avulsiva de Corumbá. Figura A, inundação de grande porte registrada em julho de 1988, demonstrando o papel da planície de Corumbá como bacia de acumulação e sedimentação; figura B, origem do rio Paraguai-Mirim, com a demarcação das seções levantadas com ADCP na origem do rio Paraguai-Mirim e no rio Paraguai, antes e depois da origem do citado canal; figura C, foz do rio Paraguai-Mirim, às proximidades da lagoa do Arroz, município de Ladário.



Fonte: figura A: cena orbital do satélite Landsat-5, sensor TM; figura B e C: cena orbital do satélite Sentinel 2A.

Ao longo desta planície o rio Paraguai apresenta declividade de 0,000017, ligeiramente menor à registrada no cinturão de meandros da Serra do Amolar. Contudo, sua potência de canal decai a 281 J s^{-1} , em larga média devido à redução da vazão, perdida para a planície ou drenada pelo rio Paraguai-Mirim. A potência de canal específica também registra uma pequena redução, atingindo índices de $1,07 \text{ W m}^{-2}$.

4.4 Considerações finais

À área de estudo, foram identificados seis compartimentos geomorfológicos distintos, de um total de oito que compõem o sistema tronco do rio Paraguai no Pantanal, são eles: cinturão de meandros com canal meandrante; cinturão de meandros com canal retilíneo; planície avulsiva de Descalvados; planície fluvio-lacustre de Porto Conceição; cinturão de meandros da Serra do Amolar e a planície avulsiva de Corumbá. Em cada uma dessas planícies o rio Paraguai apresenta padrões de canal, drenagem e morfométricos distintos.

Tais planícies respondem aos aportes hidrossedimentares provenientes deste trado deposicional, bem como à geologia e tectônica regional. As diferenciações de cada planície respondem, portanto, a diferentes controles alogênicos (externos à dinâmica sedimentar, como mudanças climáticas, tectonismo, entre outros) e autogênicos, dotando cada compartimento de uma dinâmica particular. Assim, quando se trata de controles alogênicos reconhece-se o papel de elementos impressos na paisagem como a Província Serrana, a Serra do Amolar e o planalto residual do Urucum, que condicionam o funcionamento hidráulico do rio Paraguai e o fluxo das águas pantaneiras no interior das planícies analisadas. Quando se considera os autogênicos, àqueles relativo ao próprio sistema, encontra-se os sistemas de leques e megaleques aluviais (Jauru, Paraguai, Cuiabá e Taquari), os sistemas de *crevasse* (rompimentos do dique marginal) que condicionam local e regionalmente a dinâmica hidrossedimentológica da região.

Neste contexto, nos cinturões de meandros de canal meandrante e retilíneo há o predomínio de padrão de drenagem tributário (aumento da vazão a jusante), com gradiente topográfico mais elevado, no qual em segmento a montante da confluência com o rio Jauru o rio Paraguai apresenta padrão meandrante (cinturão meandrante com canal meandrante) e, logo abaixo da mesma, padrão retilíneo (cinturão meandrante com canal retilíneo), em grande parte devido a controle lito-estrutural representado pela Província Serrana.

Na planície de Descalvados predominam processos distributários e de sedimentação, principalmente na *crevasse* que origina o rio multicanal Canzi e na bifurcação às margens da ilha Taiamã, na qual o canal perfilha padrão multicanal. Na planície de Porto Conceição

mantém-se padrão de canal meandrante, com padrão de drenagem altamente distributário em uma das regiões mais úmidas e planas do Pantanal. No cinturão de meandros da Serra do Amolar o rio Paraguai encontra-se confinado em uma planície restrita, apresentando padrão de canal retilíneo (considerando apenas os índices de sinuosidade) com drenagem tipicamente tributária, drenando as águas provenientes da planície fluvio-lacustre de Porto Conceição, do leque do rio Cuiabá e principalmente do megaleque do rio Taquari. Por fim, na planície avulsiva de Corumbá o canal apresenta padrão tipicamente meandrante de alta sinuosidade, com drenagem em grande parte distributária, vertida seja por extravasamentos dos diques marginais ou drenagens secundárias, da qual se destaca, principalmente o rio Paraguai-Mirim. As dinâmicas fluviais gerais que predominam e caracterizam cada compartimento geomorfológico podem ser visualizadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Padrões predominantes que caracterizam os compartimentos geomorfológicos mapeados.

Sigla	Drenagem	Padrão de canal	Declividade	Potência de canal ($J s^{-1}$)	Potência de C. específica ($W m^{-2}$)
Cmcm	Tributária	Meandrante	0,000050	241	1,40
Cmcr	Tributária	Retilíneo	0,000039	241	0,88
PaD	Distributária	Meandrante	0,000041	176	1,32
PfIPC	Distributária	Meandrante	0,000013	51	0,53
CmSA	Tributária	Retilíneo	0,000020	368	1,30
PaC	Distributária	Meandrante	0,000017	281	1,07

Fonte: o próprio autor. Os procedimentos adotados para o cálculo da declividade de linha d'água, da potência de canal e da potência de canal específica serão detalhados no próximo capítulo (seção 5.2).

Dessa forma, a partir do mapeamento dos grandes compartimentos do rio Paraguai obtém-se um panorama geral do particular e dinâmico padrão hidrossedimentológico do rio Paraguai na área de estudo, que será melhor entendida no próximo capítulo. Conforme visualizado na Tabela 2, pode-se identificar a dinâmica geral que caracteriza cada compartimento, sendo estas a tendência que se espera encontrar no rio Paraguai no interior de cada compartimento. Entretanto, como se verá mais adiante, a análise seção a seção do rio Paraguai indica tendências muitas vezes díspares a estas tendências gerais de cada compartimento geomorfológico sintetizadas na Tabela 2.

5 HIDROSEDIMENTOLOGIA

5.1 Introdução

Desde os primórdios da civilização, os rios sempre possuíram papel importante no estabelecimento, sobrevivência e desenvolvimento da humanidade (STEVAUX; LATRUBESSE, 2017). Entretanto, a despeito de sua importância, o uso dos recursos naturais nem sempre partilhou de profícua preocupação com sua quantidade e qualidade, denotando um certo descompasso da visão humana em relação às causas e efeitos (BOTELHO, 2011).

A preocupação com o sistema fluvial, e mesmo à suas características hidrológicas e morfológicas, só se estruturaram de maneira científica ao longo do século XVIII (MARÇAL; LIMA, 2016). Entretanto, é somente a partir de meados do século XX que a geomorfologia fluvial se associa à hidrologia, geologia e engenharia hidráulica. Importantes contribuições decorrem deste período, buscando associar, em uma visão sistêmica, os rios enquanto parte de uma bacia hidrográfica. Temas e conceitos clássicos, ainda hoje bastante difundidos, são formulados, correlacionando condições naturais a modelamentos matemáticos, tais como a hidrossedimentologia (WOLMAM; MILLER, 1960) e a geometria hidráulica (LEOPOLD; MADDOCK, 1953).

Assim, para além dos aspectos meramente visuais e àqueles capazes de serem absorvidos pelas atividades humanas (abastecimento, agricultura, pesca, turismo), os canais fluviais passam a serem caracterizados por um conjunto de elementos de ordem morfológica, hidrológica, hidráulica, e mesmo geométricas (MACEDO, 2013). Assim, este conjunto de características podem ser mensuradas e posteriormente analisadas por meios quantitativos, fazendo-se uso de equipamentos (*ADCP*, Molinete, flutuador, entre tantos outros), bem como pela aplicação de equações matemáticas, buscando por meio de modelos, compreender a dinâmica dos sistemas fluviais e a maneira com a qual os mesmos buscam estabelecer um equilíbrio dinâmico por meio dos tradicionais processos de erosão, transporte e deposição sedimentar (STEVAUX; LATRUBESSE, 2017).

Dessa maneira, tendo em vista que o canal realiza de forma contínua processos fluviais, buscando um equilíbrio dinâmico ao longo de seu perfil longitudinal, e que neste caminho age de forma direta sobre elementos físicos (geomorfologia, geologia, vegetação, entre outros) e humanos (cidades, vilas, fazendas, etc.), pode-se defini-lo como um dos elementos mais importantes para o entendimento da evolução do relevo, pois constitui um dos principais agentes modificadores da superfície terrestre.

Assim, a compreensão da dinâmica fluvial de um canal, oportuniza o melhor aproveitamento de suas potencialidades e um maior gerenciamento de suas fragilidades, adequando as demandas humanas às necessidades de conservação ambiental.

É neste contexto, portanto, que o presente capítulo procura se enquadrar, pois tem como objetivo caracterizar os aspectos hidrossedimentológicos do rio Paraguai e de sua planície aluvial, bem como compreender a complexa interação entre ambos, analisando neste contexto a descarga sedimentar sólida e o papel dos principais tributários enquanto fonte de águas e sedimentos ao sistema tronco, englobando desta forma os objetivos específicos II, III e IV deste trabalho.

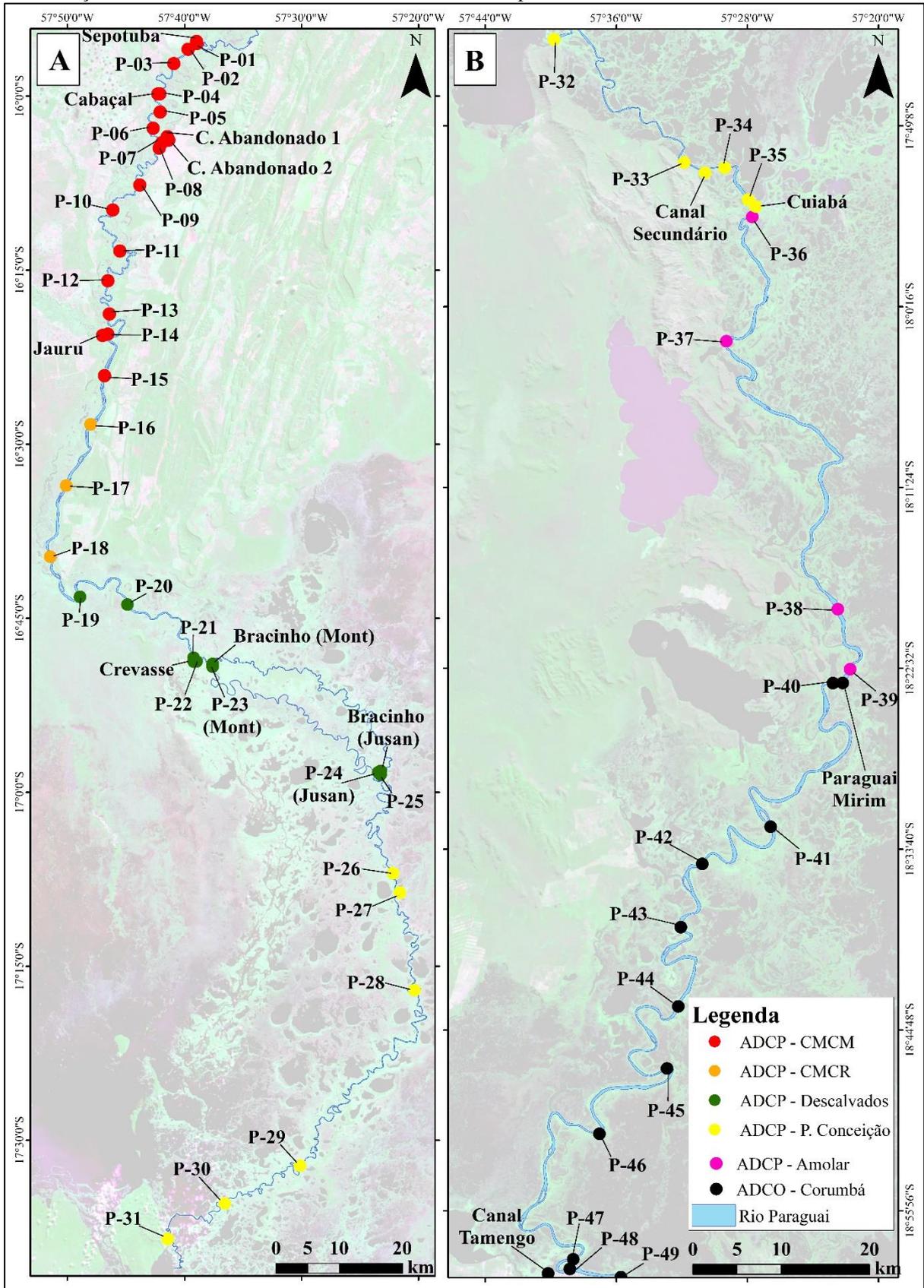
5.2 Materiais e métodos

Para a consecução dos objetivos deste capítulo, foram utilizados dados hidrossedimentológicos existentes na literatura disponível, em bases de dados hidrométricos (ANA, 2019) e em dados coletados *in loco*, bem como na aplicação de um conjunto de equações para a análise de diferentes parâmetros hidráulicos do canal. Produtos de Sensoriamento Remoto também foram utilizados, sobretudo àquelas cenas orbitais dos satélites Landsat-8, Landsat-5, Sentinel 2 (A e B) e CBERS 4 especificadas na Tabela 1.

Em pesquisa de campo realizada entre os dias 30 de abril e 8 de maio de 2016, foram levantadas 60 seções transversais ao longo do rio Paraguai, de seus principais tributários (Sepotuba, Cabaçal, Jauru, Cuiabá) e de alguns canais secundários (distributários), fazendo-se uso do equipamento *Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP)*, o qual objetivou determinar a velocidade média de fluxo, sua vazão e temperatura média, largura e profundidade do canal. As seções *ADCP* coletadas foram posteriormente processadas no *software WinRiver II*, adotando-se critérios de padronização para todas as seções em termos de escala vertical e horizontal, permitindo assim a sua representação de forma comparativa (Figuras 17 e 18).

Deste total de 60 seções levantadas, 19 localizam-se no cinturão de meandros com canal meandrante, 3 no cinturão de meandros com canal retilíneo, 10 na planície avulsiva de Descalvados, 11 na planície fluvio-lacustre de Porto Conceição, 5 no cinturão de meandros da Serra do Amolar e 12 na planície avulsiva de Corumbá (Figura 16 A e B). A localização estratégica do ponto de vista de acesso e a disponibilidade de tempo e recursos para a realização das medições, constituíram o critério para a escolha da localização das seções.

Figura 16 – Localização das seções ADCP levantadas em pesquisa de campo. Figura A refere-se às seções levantadas no cinturão de meandros com canal meandrante, cinturão de meandros com canal retilíneo, planície de Descalvados e parte da planície de P. Conceição. Figura B refere-se a parte das seções levantadas na planície de P. Conceição, ao cinturão de meandros da Serra do Amolar e à planície avulsiva de Corumbá.



Fonte: Mosaico de cenas CBERS-4, sensor WFI.

As amostras de sedimento suspenso foram coletadas nos mesmos pontos nos quais foram levantadas as seções com ADCP, totalizando também um número de 60 amostras de 1 litro cada. Estas coletas foram realizadas por meio de garrafa *van dorn*, sendo posteriormente filtradas e pesadas em laboratório para a identificação da concentração de sedimentos em suspensão por litro de água.

O sedimento de fundo foi amostrado em 50 pontos por meio da draga *van Veen*. A menor quantidade de pontos amostrados decorre da restrição de tempo e de recursos para a sua consecução, optando-se dessa forma, pela coleta de menos pontos, sem que isso incorre-se em prejuízos a esta pesquisa. Depois de secas, estas amostras tiveram textura analisada por meio do processo de peneiramento no laboratório de Geomorfologia e Pedologia (LAGEPE) da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, campus de Três Lagoas.

Foram utilizados também dados da Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN) da Agência Nacional de Águas (ANA) para a caracterização do regime hidrológico do rio Paraguai ao longo das séries históricas disponíveis. Dessa maneira, dados de vazão e cota do canal foram primordiais, principalmente aqueles relativos às estações de Cáceres, Descalvados, Porto Conceição, Amolar, São Francisco e Ladário.

Tendo como base os dados coletados por meio da Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN) e aqueles obtidos em campo, foram realizados cálculos de um conjunto de parâmetros hidráulicos dos canais, permitindo a sua caracterização e compreensão de seu regime de fluxo. Estes parâmetros foram calculados utilizando-se da ferramenta *Bedload 1.0* (MACEDO, et al., 2017b). Uma ferramenta baseada no cálculo do transporte de sedimento de fundo por meio de adaptações do modelo matemático de Van Rijn (1984). Para a obtenção do transporte sedimentar, esta ferramenta calcula diversos parâmetros hidráulicos, necessitando a inserção de dados de batimetria do canal (nesta pesquisa, obtidos por meio da extração e conversão dos dados mensurado pelo ADCP), temperatura média da água, densidade do sedimento, velocidade média do fluxo, granulometria do sedimento de fundo, concentração do sedimento em suspensão e a descarga do canal. Os parâmetros calculados foram:

Número de Reynolds (Re): parâmetro hidráulico adimensional destinado à compreensão da dinâmica dos fluídos em um canal. Em ambientes naturais podem existir uma diversidade de tipos de fluxo em canais, sendo os mais comuns classificados em *laminar* e *turbulento*. O fluxo laminar refere-se ao escoamento da água em camadas paralelas e sucessivas umas sobre as outras, geralmente em escoamento de baixa velocidade. Já o fluxo turbulento refere-se ao escoamento sem um padrão evidentemente definido, mantendo movimentos caóticos e irregulares (MACEDO, 2013). De acordo com o número de Reynold, valores

inferiores a 500 “Re” são classificados como de fluxo laminar; entre 500 a 2500 tem-se um fluxo em transição, enquanto um número de Reynolds maior que 2500 é classificado como um fluxo turbulento.

Dessa forma, para calcular este parâmetro adotam-se as variáveis descritas na equação 1, na qual V é a velocidade média do fluxo (m/s), R é o raio hidráulico (metros), ρ é a densidade da água (kg/m^3) e μ é a viscosidade cinemática do fluido (m^2/s), sendo os dois últimos dependentes da temperatura da água.

$$\text{Re} = \frac{VR\rho}{\mu} \quad \text{Eq. 1}$$

Número de Foude (F): constitui outro parâmetro importante para a compreensão da dinâmica dos fluidos num canal fluvial. Tendo em vista que quase todos os fluxos em canais naturais se processam de maneira turbulenta, o número de *Froude* permite sua melhor compreensão, dividindo o fluxo turbulento da seguinte maneira: $F < 1$, fluxo *subcrítico* ou *tranquilo*; $F = 1$, fluxo *crítico*; $F > 1$ fluxo *supercrítico* ou *rápido*. Este parâmetro é calculado tendo em vista a equação 2, na qual V é a velocidade média do fluxo (m/s), g é a aceleração da gravidade (m/s^2) e h é a profundidade média (metros).

$$F = \frac{V}{(g \cdot h)^{1/2}} \quad \text{Eq. 2}$$

Conforme Stevaux e Latrubesse (2017), a combinação do número de *Reynolds* e de *Froude* permite a compreensão de dois regimes de fluxo principais, ambos amplamente importantes para a compreensão da dinâmica de transporte sedimentar em canais fluviais, nomeadamente: fluxo *turbulento subcrítico* (ou *regime de fluxo inferior*) e o fluxo *turbulento supercrítico* (ou *regime de fluxo superior*).

Potência de Canal (Ω): conceito de importância impar destinado ao entendimento da energia despendida pelo canal para o funcionamento de seu regime de fluxo e realização de processo fluvial (erosão e transporte). Expressa em joule por segundo (J s^{-1}), a potência de canal é o resultado da relação entre a densidade da água ($\rho = 1.000 \text{ kg/m}^3$), a aceleração da gravidade ($g = 9,8 \text{ m/s}^2$), a vazão média ($Q = \text{m}^3 \text{ s}^{-1}$), a declividade do canal ($s = \text{adimensional}$) e o peso específico da água ($\gamma = \text{n/m}^3$). Dessa forma, tem-se a equação 3.

$$\Omega = \rho \cdot g \cdot Q \cdot s \cdot \gamma \quad \text{Eq. 3}$$

Potência de Canal Específica (ω): a potência de canal específica oportuniza a normalização e comparação da energia disponível entre diferentes canais, visto que a potência de canal decorre em larga medida da vazão média, variável esta proporcional à largura do canal. Assim, a partir da divisão da potência de canal (Ω) pela largura (w) da secção analisada, pode-se gerar um parâmetro de comparação entre a energia disponível de diversos rios e até mesmo de diferentes trechos de um mesmo rio. Dessa forma a Potência de Canal Específica, expressa em watt por metro quadrado ($W m^{-2}$), pode ser observada na equação 4.

$$\omega = \Omega/W \quad \text{Eq. 4}$$

Tendo em vista que para o cálculo da potência de canal é necessário a determinação da declividade e que esta não foi obtida em campo, adotaram-se um conjunto de procedimentos para a sua determinação, conforme aqueles descritos por MACEDO (2013). Dessa forma, a declividade é calculada automaticamente por meio da ferramenta BEDLOAD 1.0 (MACEDO, et al., 2017b) a partir de deduções de outras equações, como a da velocidade do fluxo, do coeficiente de Manning e do coeficiente de Chezy, na qual compreendeu-se que a declividade da linha de água é função do raio hidráulico, da aceleração da gravidade, do diâmetro da partícula a 90% e da velocidade média do fluxo. Este entendimento foi aplicado para todos os pontos em que foram levantadas seções com ADCP e coletadas amostras de sedimento de fundo.

5.3 Resultados e Discussões

Foram identificadas as características hidráulicas do sistema, seu regime de fluxo, sua dinâmica hidrológica, transporte de sedimentos e foi construído um modelo de balanço hidrológico e hidrossedimentar, conforme proposto por Macedo (2017a), para toda a extensão do canal na área de estudo deste trabalho. Estas características, ordenadas de forma sequencial, seguirão os trechos do rio Paraguai definidos pelo compartimento geomorfológico do capítulo anterior, procurando sempre relacioná-las em uma visão integrada do sistema.

5.3.1 Regime de fluxo

Ao longo do trecho estudado, o rio Paraguai mantém um regime de fluxo *turbulento*, visto que o número de *Reynolds* se manteve elevado, muito acima do índice de 2.500 (Tabela 3). Este resultado já era esperado pois, conforme Stevaux e Latrubesse (2017), fluxos laminares são raros na natureza, decorrendo em ambientes com condições específicas e de fluxo hortoniano. Por outro lado,

tem em vista os tipos de fluxos indicados pelo número de *Froude*, identifica-se que o padrão do rio Paraguai pode ser compreendido como *subcrítico* ou *tranquilo*, pois os cálculos realizados não apontaram índices sequer próximos a $F=1$. Dessa forma, a combinação entre ambos os parâmetros permite a definição do regime de fluxo do canal para o período analisado como turbulento subcrítico ou de *regime de fluxo inferior*.

Tabela 3 – Parâmetros hidráulicos das seções levantadas.

Trecho	Seção	Q (m ³ s ⁻¹)	Larg. (m)	Profun. (m)	V (m/s)	T (°C)	s	Re	F
CMCM	Sepotuba	165	108,7	3,23	0,471	23,3	0,000025	1,59x10 ⁹	0,081
	P-01	218	78,2	3,38	0,826	24,3	0,000085	2,92x10 ⁹	0,148
	P-02	439	103,4	4,78	0,889	24	0,000066	4,11x10 ⁹	0,133
	P-03	438	187,6	3,52	0,663	24	0,000049	2,43x10 ⁹	0,112
	P-04	443	162,2	4,31	0,634	24	0,000036	2,88x10 ⁹	0,095
	Cabaçal	86,3	54,6	2,64	0,598	23,4	0,000059	1,59x10 ⁹	0,113
	P-05	543	160,4	4,45	0,761	24	0,000046	3,54x10 ⁹	0,115
	P-06	491	168,1	3,47	0,842	24	0,000074	3,06x10 ⁹	0,143
	P-07	491	171,8	3,85	0,742	24	0,000052	2,94x10 ⁹	0,118
	Paleocanal 1	53,9	109,9	4,23	0,116	24,3	0,000002	4,23x10 ⁸	0,02
	Paleocanal 2	33	77,3	2,75	0,155	24,2	0,000004	4,39x10 ⁸	0,031
	P-08	539	243,2	3,56	0,623	24,2	0,000038	2,32x10 ⁹	0,106
	P-09	443	170,7	3,74	0,693	24,3	0,000046	2,68 x10 ⁹	0,116
	P-10	559	179,7	4,6	0,676	24,2	0,000037	3,23x10 ⁹	0,101
	P-11	545	225,8	3,63	0,664	24,8	0,000049	2,50x10 ⁹	0,109
	P-12	538	210,5	3,77	0,677	24,8	0,000051	2,45x10 ⁹	0,11
	P-13	564	129,6	7,33	0,594	24,8	0,000015	4,46x10 ⁹	0,068
	P-14	569	225,1	3,43	0,738	24,6	0,00005	2,96x10 ⁹	0,125
CMCR	Jauru	121	80,1	2,64	0,573	24,1	0,000052	1,67x10 ⁹	0,107
	P-15	762	285,6	3,91	0,682	24,6	0,000052	2,81x10 ⁹	0,107
	P-16	734	382,5	3,42	0,56	24,7	0,000035	2,04x10 ⁹	0,095
Descalvados	P-17	731	252,3	3,92	0,739	24,8	0,000051	3,13x10 ⁹	0,117
	P-18	776	373	4,09	0,508	24,8	0,000031	1,85x10 ⁹	0,086
	P-19	757	186,4	5,55	0,732	24,7	0,000033	4,25x10 ⁹	0,098
	P-20	776	254,2	4,57	0,667	24,5	0,000037	3,29x10 ⁹	0,098
	P-21	697	199,8	4,11	0,849	24,8	0,000063	3,57x10 ⁹	0,132
	Crevasse Canzi	225	64,5	6,69	0,523	24,8	0,000014	3,41x10 ⁹	0,065
	P-22	395	96,9	4,81	0,847	24,7	0,000059	4,16x10 ⁹	0,12
	P-23 (montante)	149	71,7	3,04	0,683	24,7	0,000059	2,06x10 ⁹	0,124
	Bracinho (montante)	216	70,6	3,75	0,814	24,7	0,000069	3,09x10 ⁹	0,131
	Bracinho (jusante)	276	73,5	5,4	0,695	26,1	0,000036	3,89x10 ⁹	0,093
P-24 (jusante)	98,5	88,4	4,77	0,234	25,7	0,000003	1,29x10 ⁹	0,031	
P-25	388	116,4	6,34	0,525	25,6	0,000014	3,44x10 ⁹	0,065	

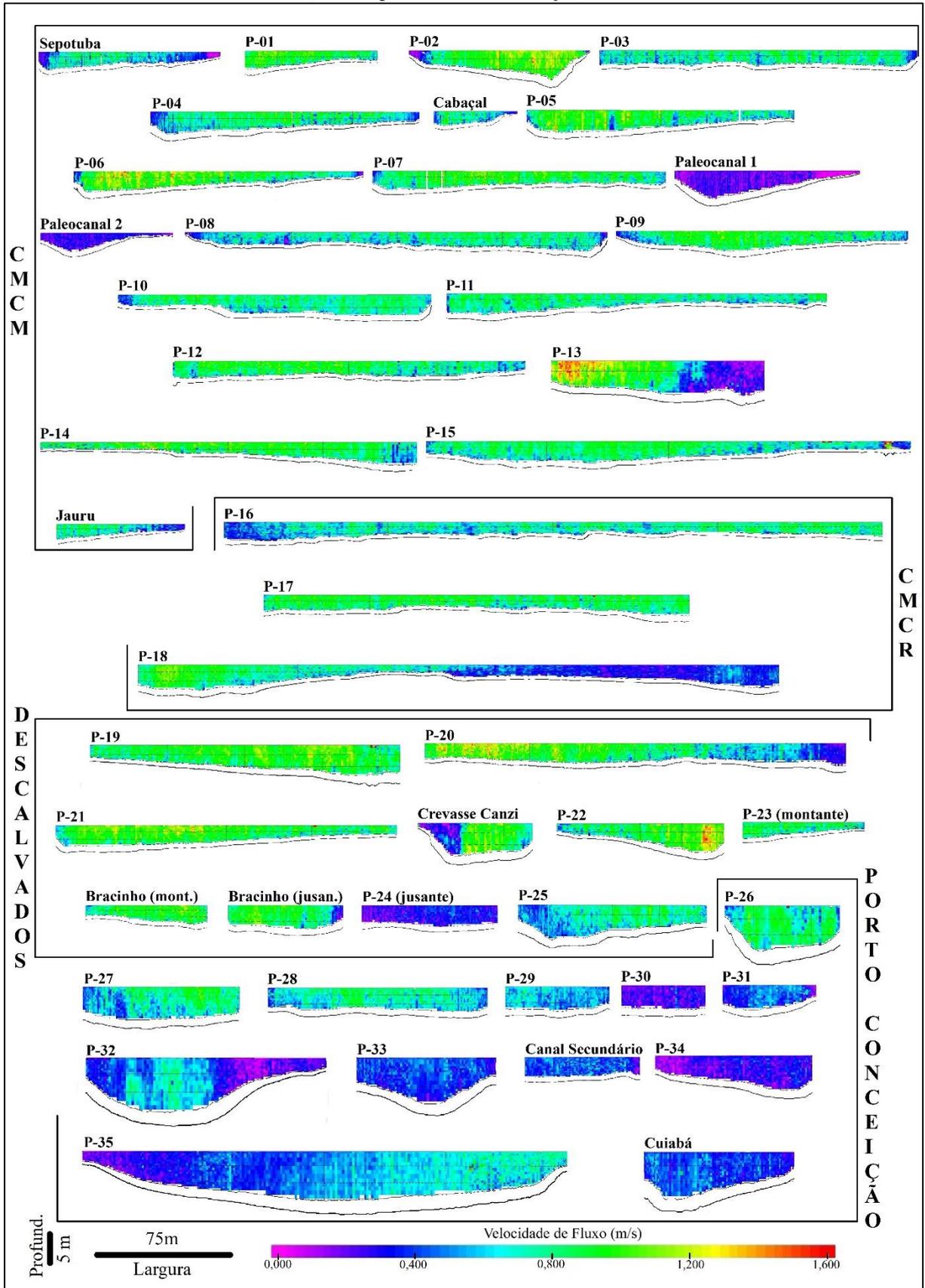
Tabela 3 – Continuação.

Trecho	Seção	Q (m ³ s ⁻¹)	Larg. (m)	Profun. (m)	V (m/s)	T (°C)	s	Re	F
P. Conceição	P-26	475	72	9,58	0,689	25,1	0,000018	6,24x10 ⁹	0,07
	P-27	461	98,1	7,36	0,639	25,2	0,000016	4,76x10 ⁹	0,073
	P-28	440	131,5	5,43	0,617	25,3	0,000022	3,55x10 ⁹	0,083
	P-29	193	67,4	5,42	0,527	26,2	0,000017	2,89x10 ⁹	0,07
	P-30	54	56,1	5,7	0,169	25,4	0,000002	9,51x10 ⁹	0,022
	P-31	122	63,1	5,11	0,379	25,3	-	-	-
	P-32	458	140,5	9,18	0,355	25,1	0,000005	3,13x10 ⁹	0,038
	P-33	261	96,7	7,89	0,342	25,2	-	-	-
	Canal Secundário	130	82,8	4,21	0,372	25,2	-	-	-
	P-34	130	103,5	6,23	0,202	26,5	-	-	-
	P-35	1290	295,4	9,35	0,466	26,4	-	-	-
Cuiabá	303	97,9	8,63	0,359	26,1	-	-	-	
Amolar	P-36	1560	228,6	9,9	0,687	25,8	-	-	-
	P-37	1600	191	9,03	0,93	25,1	0,000026	8,76x10 ⁹	0,099
	P-38	1890	391,6	6,95	0,695	25	0,000021	5,23x10 ⁹	0,084
	P-39	2110	367,9	8,65	0,664	25,2	0,000014	6,20x10 ⁹	0,072
Corumbá	Paraguai-Mirim	178	92,7	4,68	0,409	25,1	-	-	-
	P-40	1930	293	9,66	0,683	25,1	0,000013	7,00x10 ⁹	0,074
	P-41	1840	349,3	8,17	0,646	25,8	0,000015	6,10x10 ⁹	0,073
	P-42	1740	220,8	9,55	0,825	25,7	0,000019	8,34x10 ⁹	0,085
	P-43	1760	300,4	8,17	0,715	24,8	0,000018	5,96x10 ⁹	0,079
	P-44	1600	329,5	7,25	0,669	24,8	0,000019	5,10x10 ⁹	0,078
	P-45	1550	237,8	9,03	0,721	24,8	-	-	-
	P-46	1520	176,9	10,8	0,798	24,7	0,000016	8,76x10 ⁹	0,077
	P-47	1500	190,4	9,09	0,869	25,4	0,000023	8,10x10 ⁹	0,089
	C. Tamengo	48,4	262,1	3,59	0,051	25,8	-	-	-
P-48	1610	420	5,79	0,66	25,3	-	-	-	
P-49	1520	389,4	6,51	0,599	25,3	0,000015	4,20x10 ⁹	0,073	

Fonte: o próprio autor.

A velocidade média do fluxo do rio Paraguai sofre constantes ajustes ao longo do canal, apresentando valores que variam entre os 0,169 e 0,93 m/s (Tabela 3 e Figuras 17 e 18). As maiores velocidades registraram-se no cinturão de meandros da Serra do Amolar (a qual apresenta média geral de 0,744 m/s), seguida pela planície avulsiva de Corumbá (média de 0,719 m/s), pelo cinturão de meandros com canal meandrante (0,714 m/s), pela planície avulsiva de Descalvados (0,672 m/s), pelo cinturão de meandros com canal retilíneo (0,602 m/s) e finalmente pela planície fluvio-lacustre de Porto Conceição (0,439 m/s).

Figura 17 – Seções ADCP levantadas em pesquisa de campo, do rio Sepotuba (cinturão de meandros com canal meandrante), até a foz do rio Cuiabá (final da planície de P. Conceição).



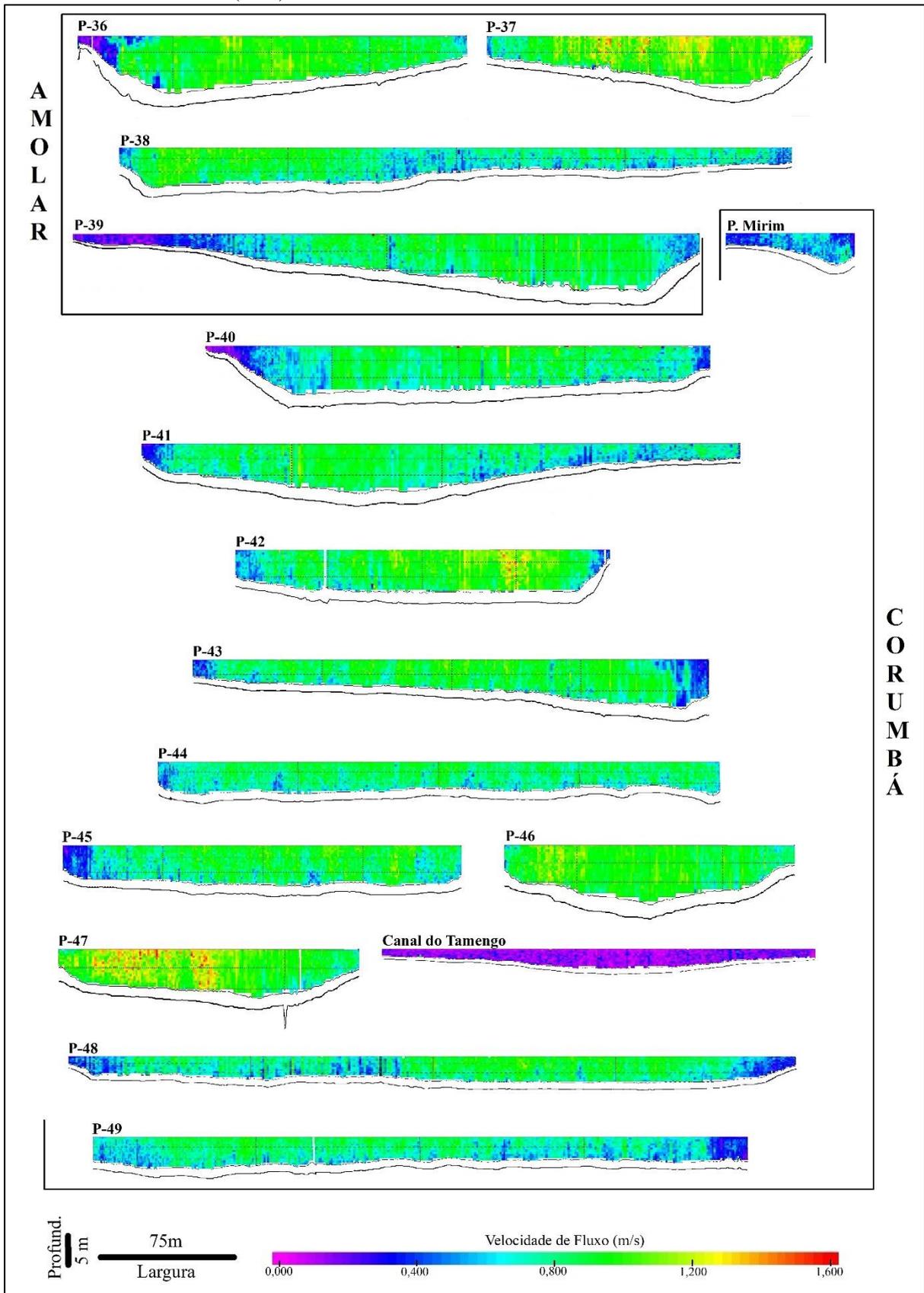
Fonte: o próprio autor. Perfis transversais processados no *software WinRiver II*. Escala vertical e horizontal padronizada para todas as seções.

Tendo em vista que a velocidade decorre da inclinação do canal, da área de atrito entre o fluxo e o canal, e da rugosidade do leito, compreende-se que esta refletiu a tendência esperada (maior velocidade de fluxo nos compartimentos com maior potência de canal) do comportamento da velocidade do fluxo em cada compartimento geomorfológico do rio Paraguai. A velocidade média perfilou padrão de ajustes de acordo às alterações na área (raio hidráulico), na declividade do canal e em sua vazão, pois o coeficiente de rugosidade de Manning manteve-se estável, variando entre 0,022 e 0,026.

Caso interessante é constatado no cinturão de meandros da Serra do Amolar e na planície avulsiva de Corumbá. Em ambos os trechos a declividade variou pouco (0,000020 e 0,000017 m/m respectivamente), entretanto o aumento expressivo da vazão devido às águas provenientes do leque do rio Cuiabá e do megaleque do rio Taquari resultou em ajuste da área média do canal (2.079 e 2.363 m², respectivamente). Portanto, presume-se que mesmo com a declividade baixa e com uma maior área do canal, o aumento da vazão resulta na elevação da velocidade. Já no caso do cinturão de meandros com canal meandrante, a declividade apresenta índices elevados (0,000050 m/m), enquanto a área do canal configura como a segunda menor dentre todos os trechos geomorfológicos analisados, resultando em uma velocidade média elevada (a terceira maior entre os trechos analisados).

Outro destaque pode ser feito em relação à planície fluvio-lacustre de Porto Conceição, a qual apresentou a menor velocidade média. É sabido que nesta planície o rio Paraguai apresenta características particulares, como baixa declividade, padrão de drenagem distributária e baixa potência de canal, em grande medida decorrente de amplo efeito remanso ocasionado pelo gargalo hidráulico representado pela Serra do Amolar. Este fato pode ser considerado como revelador das causas para a baixa velocidade do fluxo registrado *in loco*, a qual manteve-se entre os 0,689 m/s nas regiões mais setentrionais da planície e os 0,169 m/s em sua porção central, a mais atingida pelo efeito remanso.

Figura 18 – Seções ADCP levantadas em campo, do início do cinturão de meandros da Serra do Amolar (P-36) até a cidade de Ladário-MS (P-49).

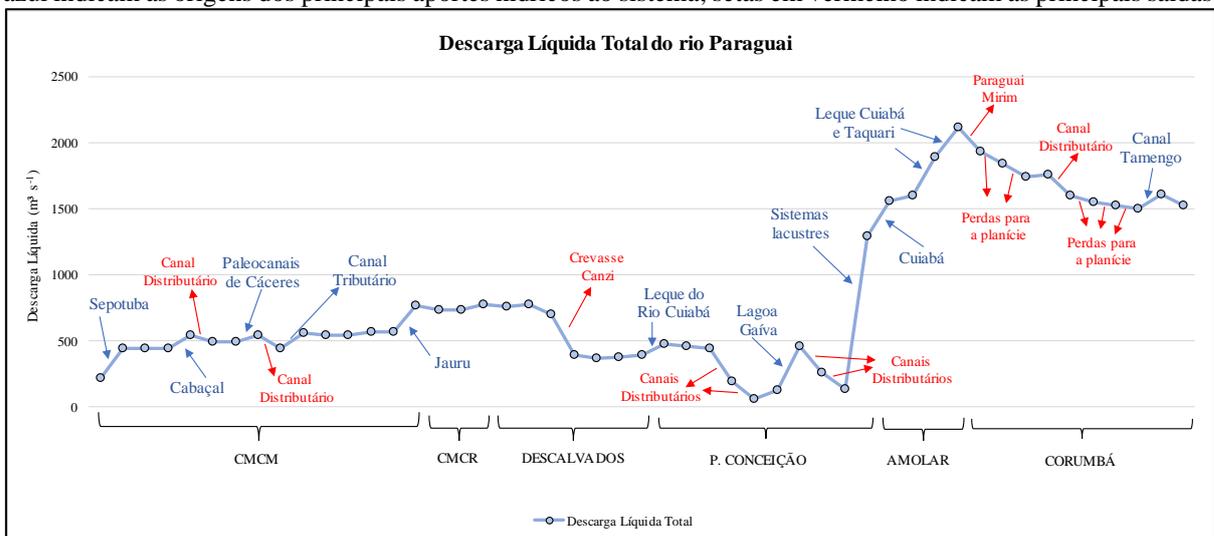


Fonte: o próprio autor. Perfis transversais processados no *software WinRiver II*. Escala vertical e horizontal padronizada para todas as seções.

5.3.2 Regime e balanço hidrológico

O rio Paraguai registra significativas alterações em sua vazão (Figura 19), não mantendo um padrão predominante em toda área, gerando, pelo contrário, um sistema hidrológico de pouco paralelo na literatura disponível (MACEDO, 2017a), repleto de características marcadamente inversas àqueles esperadas de um canal fluvial tradicional, tais como padrão de drenagem, aumento da vazão a jusante, aumento da concentração sedimentar conforme o acréscimo da descarga, entre outras.

Figura 19 – Representação gráfica da variação da vazão do rio Paraguai ao longo do trecho estudado. Setas em azul indicam as origens dos principais aportes hídricos ao sistema; setas em vermelho indicam as principais saídas.



Fonte: o próprio autor. Canais distributários e tributários dizem respeito ao papel destes para o balanço hidrológico do rio Paraguai, ou seja, um canal distributário é responsável por “retirar” parte da vazão do rio Paraguai, enquanto os canais tributários são responsáveis por aportar a vazão do rio Paraguai. Um bom exemplo de canal distributário e tributário pode ser visualizado na Figura 20 (A e B).

Em linhas gerais, no interior de cada compartimento geomorfológico mapeado anteriormente foram identificadas dinâmicas díspares em relação ao padrão hidrológico predominante que as caracteriza (Tabela 2). Isto é, mesmo em sistemas caracterizados como tributários (cinturão de meandros com canal meandrante, por exemplo), no qual o balanço hidrológico geral indica aumento da vazão a jusante, registram-se segmentos de perda de água, em taxas que podem atingir até mesmo os 20 % do total. A relação inversa, isto é, o ganho na vazão em compartimentos caracterizados por drenagem distributária (a parte sul da planície de Porto Conceição é um bom exemplo), também é percebida.

Dessa forma, no interior do cinturão de meandros com canal meandrante o rio Paraguai mantém um padrão de acréscimo na descarga a jusante, visto que adentra este sistema com descarga de 218 m³/s (P-01), enquanto que em sua saída (jusante da foz do rio Jauru) registra

vazão 71% maior, de aproximadamente 762 m³/s (P-15). Este acréscimo na descarga decorre, sobretudo, dos aportes provenientes dos principais tributários da região. Entretanto, identificaram-se (mesmo que em menor escala) trechos em que houveram perdas consideráveis de águas para a planície aluvial.

Conforme medição *in loco*, em relação aos acréscimos registrados na descarga, estes decorrem diretamente dos aportes provenientes do rio Sepotuba (165 m³/s), que eleva a vazão do rio Paraguai em 50% (atingindo índices de 439 m³/s na seção P-02); do rio Cabaçal (86,3 m³/s), que acresce em 18,5% a descarga do Paraguai na seção P-05 (543 m³/s); de um sistema de paleocanal localizado próximo à cidade de Cáceres-MT, que eleva em 9% a descarga do canal (seção P-08); e do rio Jauru, que eleva em 25% a descarga do rio Paraguai, identificada na seção P-15 (762 m³/s).

As perdas de águas para a planície foram identificadas em dois trechos distintos: o primeiro entre a seção P-05 e P-06, calculada em aproximadamente 52 m³/s, ou seja 9,5%; e o segundo entre as seções P-08 e P-09, no qual a perda de água identificada foi de cerca de 96 m³/s, o que representa quase 18% da descarga registrada a montante. Em ambos os casos, esta perda de água pode decorrer de sistemas de paleocanais que estão conectados diretamente ao rio Paraguai, transportando suas águas para o interior da planície.

Entretanto, identificou-se que em ambos os casos estas águas foram devolvidas ao rio Paraguai pelo mesmo sistema de paleocanais (canais distributários em seu início e tributários ao seu final). Assim, a perda de água entre a seção P-05 e P-06 é compensada e registrada no trecho entre as seções P-07 e P-08 (acrécimo da vazão em 48 m³/s), enquanto a água perdida entre a seção P-08 e P-09 é devolvida entre as seções P-09 e P-10 (elevação de 116 m³/s) (Figura 20 A e B). Para tornar a identificação desses canais mais fácil, adotou-se uma classificação em relação ao seu papel para o balanço hidrológico do rio Paraguai: canal distributário é responsável por “retirar” parte da vazão do rio Paraguai, enquanto os canais tributários são responsáveis por aportar a vazão do rio Paraguai. Assim, como identificado na Figura 20 (A e B), um mesmo canal pode possuir papel distributário e tributário se este “retira” e posteriormente “devolve” a vazão vertida do rio Paraguai.

No cinturão de meandros com canal retilíneo a vazão varia pouco, apresentando um índice de estabilidade relativa entre a quantidade de água que entra e sai deste segmento. No trecho entre a seção P-15 e P-16 foi identificada uma diminuição em 3,5% na descarga no canal; no trecho seguinte esta mantém-se estável, tornando a crescer entre a seção P-17 e P-18, a qual registrou elevação de aproximadamente 6% na descarga líquida, atingindo índices de 776 m³/s, uma vazão elevada para os padrões do Pantanal norte.

Na planície de Descalvados identifica-se as primeiras alterações de grande impacto na vazão do rio Paraguai. Entre as seções P-19 e P-20 a descarga do rio Paraguai cresce 2,5%, sendo seguida por uma perda significativa de água de cerca de 10% entre as seções P-20 e P-21. Entretanto, uma grande alteração na vazão é registrada entre as seções P-21 e P-22, sobretudo pela enorme quantidade de águas do rio Paraguai vertidas pela crevasse que origina o rio Canzi. Esta crevasse verte aproximadamente 32% das águas do rio Paraguai, fato evidenciado pela redução drástica da vazão do canal entre as seções P-21 (a montante da crevasse) e P-22 (jusante da crevasse).

Figura 20 – Trechos de trocas hídricas entre o rio Paraguai e o cinturão meandrante com canal meandrante. Figura A, diz respeito a um canal conectado à margem esquerda do rio Paraguai, responsável pela diminuição na vazão registrada entre as seções P-05 e P-06 (papel distributário em seu início), diminuição esta compensada e registrada no trecho entre as seções P-07 e P-08, no qual se registrou acréscimo da vazão em $48 \text{ m}^3/\text{s}$ (papel tributário ao seu fim). Figura B, outro canal conectado ao rio Paraguai (margem direita) responsável pela perda de água entre a seção P-08 e P-09 (papel distributário em seu início). Estas águas drenadas por este canal são devolvidas ao rio Paraguai no trecho entre as seções P-09 e P-10 (papel tributário ao seu fim), a qual registra aumento de $116 \text{ m}^3/\text{s}$ na descarga líquida.



Fonte: catálogo *imagery*, software ArcGIS 10.6© (ESRI, 2018).

Outro trecho de grandes perdas hídricas é representado pela bifurcação do rio Paraguai às margens da ilha Taiamã. Em medição realizada a montante da bifurcação (P-22), a vazão

calculada do rio Paraguai foi de 395 m³/s, enquanto que a seção levantada ao termino da mesma (P-25) indicou descarga líquida de 388 m³/s.

Esta diferença de vazão só não é maior devido às águas provenientes da planície fluvio-lacustre da baía grande e do leque aluvial do rio Cuiabá, ambas drenadas pelo rio Bracinho, canal de evidente padrão de drenagem tributário. Dessa forma, no início da ilha Taiamã o rio Paraguai (seção P-23 montante) apresentou vazão de 149 m³/s, enquanto o rio Bracinho (canal localizado na margem esquerda da ilha, levantado pela seção “Bracinho – montante”) registrou descarga de 216 m³/s. Ao final da ilha Taiamã, o rio Paraguai apresentou vazão de apenas 98,5 m³/s (redução de 34%), indicando significativa perda de água do mesmo para a planície avulsiva adjacente. Já o rio Bracinho apresentou acréscimo de 22% na descarga, passando a verter 276 m³/s, o que o caracteriza como canal de padrão de drenagem tributária das águas provenientes das planícies ao norte e ao oeste.

Na planície de Porto Conceição, tradicionalmente definida como de padrão distributário de baixa energia e de reduções sucessivas na vazão, identificam-se quatro padrões hídricos distintos: uma primeira de redução gradativa na vazão; a segunda de descargas bastante diminutas; uma terceira de pequena retomada e imediata queda da vazão e uma última identificada como uma retomada brusca e acelerada da vazão.

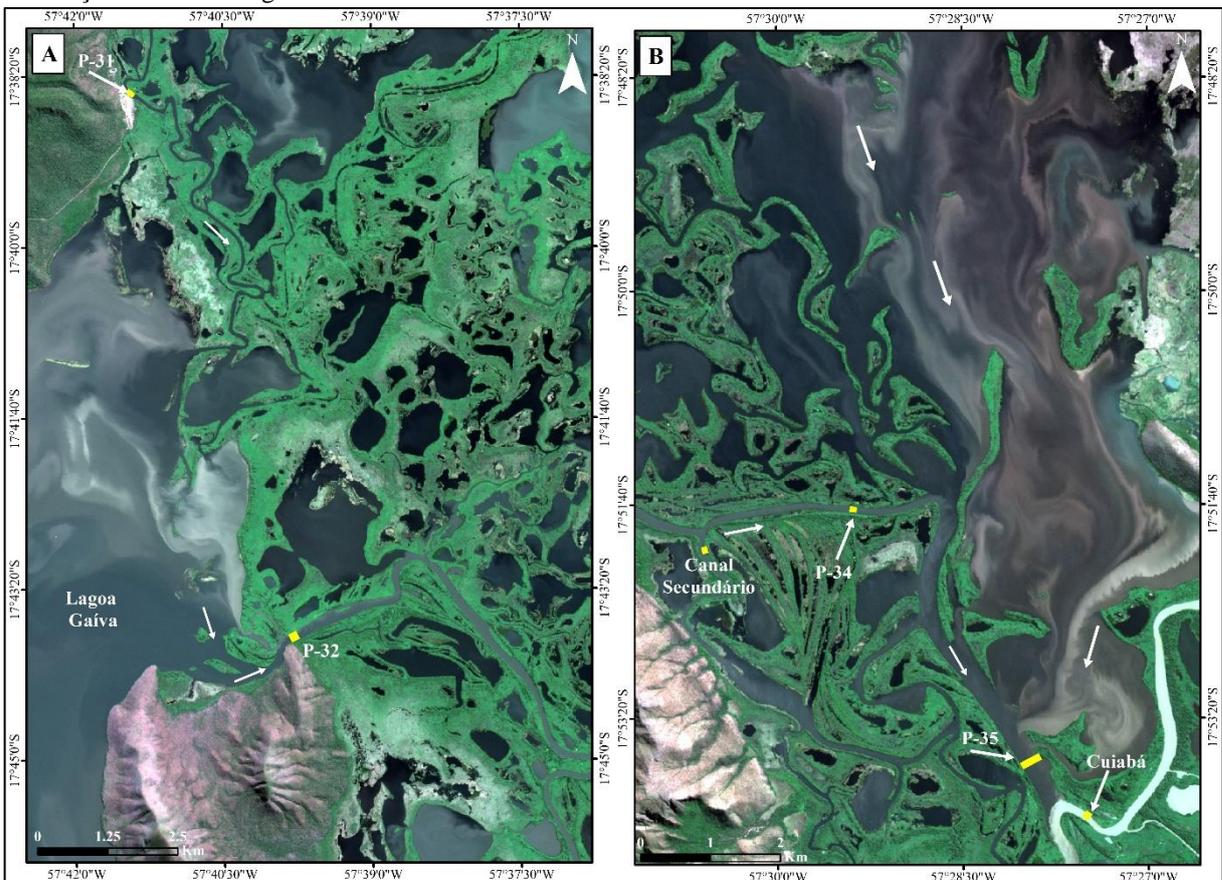
O primeiro padrão refere-se às medições realizadas nas seções P-26, P-27 e P-28, as quais registraram sucessivas, mas pouco marcantes, reduções na descarga do canal, atingindo uma taxa de redução até 7%. O segundo padrão diz respeito à área de baixa declividade e aparentemente afetada diretamente pelo efeito remanso ocasionado pela Serra do Amolar. Neste segmento, a vazão reduz-se a índices inferiores a 200 m³/s, uma diminuição da descarga líquida que pode atingir até os 88%. Na Figura 16 pode-se observar a baixa velocidade de fluxo identificada nas seções P-29, P-30 e P-31, justamente estas que representam o trecho de menor vazão do rio Paraguai medida em campo.

Um terceiro padrão, de pequena retomada e imediata queda da vazão, é representado pelas seções P-32, P-33 e P-34. Na seção P-32 a descarga medida atingiu os 458 m³/s, 73% a mais que àquela verificada na seção P-31. Este fato decorre de sua localização, logo após a lagoa Gaíva, num trecho no qual o rio Paraguai retorna ao seu confinamento com diques marginais bem definidos, possivelmente drenando as águas desta lagoa (Figura 21 A). Entretanto, logo na seção seguinte (P-33) registra-se queda de aproximadamente 43% na vazão, sendo acentuada na seção P-34, na qual a descarga vertida foi de apenas 130 m³/s, fato derivado sobretudo da água coletada a partir do rio Paraguai por um canal secundário localizado em sua

margem direita, que teve sua vazão ($130 \text{ m}^3/\text{s}$) levantada pela seção “canal secundário” (Tabela 3).

Por fim, o último padrão identificado refere-se à uma acelerada elevação da vazão medida pela seção P-35, a qual registrou descarga quase dez vezes superior àquela registrada pela seção a montante (P-34). Este exacerbado acréscimo na descarga do rio Paraguai (que resulta em ajustes imediatos em sua geometria hidráulica) decorre, em grande parte, da drenagem das águas provenientes dos sistemas lacustres localizados em sua margem esquerda, diretamente ligados às águas escoadas ao longo de toda a planície de Porto Conceição e daquelas provenientes do leque aluvial do rio Cuiabá (Figura 21 B).

Figura 21 – Trechos de aumento na descarga do rio Paraguai na planície fluvio-lacustre de Porto Conceição. Figura A, localização das seções P-31 e P-32, na qual se pode notar que a seção P-32 registra as entradas de águas no rio Paraguai provenientes sobretudo da lagoa Gaíva. Na Figura A pode-se ainda que o rio Paraguai perde confinamento ao adentrar a lagoa Gaíva, tornando a apresentar diques marginais apenas nas proximidades da seção P-32. Figura B, sistemas lacustres localizados na porção setentrional da planície de Porto Conceição responsáveis pelo aumento da descarga líquida do rio Paraguai registrada na seção P-35. Em ambas as figuras, destaca-se a coloração dispare das águas das lagoas e dos canais, evidenciando plumas de sedimentos em suspensão e a diferença de concentração sedimentar entre as mesmas. Estas plumas indicam também o sentido de fluxo das águas, em ambos os casos endereçadas ao rio Paraguai.



Fonte: satélite Sentinel 2A, sensor MSI.

No cinturão de meandros da Serra do Amolar há um contínuo aumento da vazão a jusante, perfilhando dessa forma um pleno padrão de drenagem tributária. Entre a seção P-36 (a primeira deste cinturão) até a P-39 (a última neste trecho), o ganho de vazão registrado é de aproximadamente 26%, atingindo índices de até 2.110 m³/s. Este acréscimo constante na vazão decorre não somente das águas provenientes do norte, como também daquelas provenientes do nordeste (franga sudoeste do leque aluvial do rio Cuiabá) e principalmente do oeste, por meio do fluxo laminar de volumosa descarga proveniente do lobo atual do megaleque do rio Taquari (ASSINE, et al., 2015b).

Por fim, na planície avulsiva de Corumbá a vazão do rio Paraguai varia em três padrões hidrológicos principais: um primeiro de redução significativa da vazão devido às águas drenadas pelo rio Paraguai-Mirim, um segundo de gradativa e contínua perda de água para a planície e um terceiro de elevação pontual da descarga.

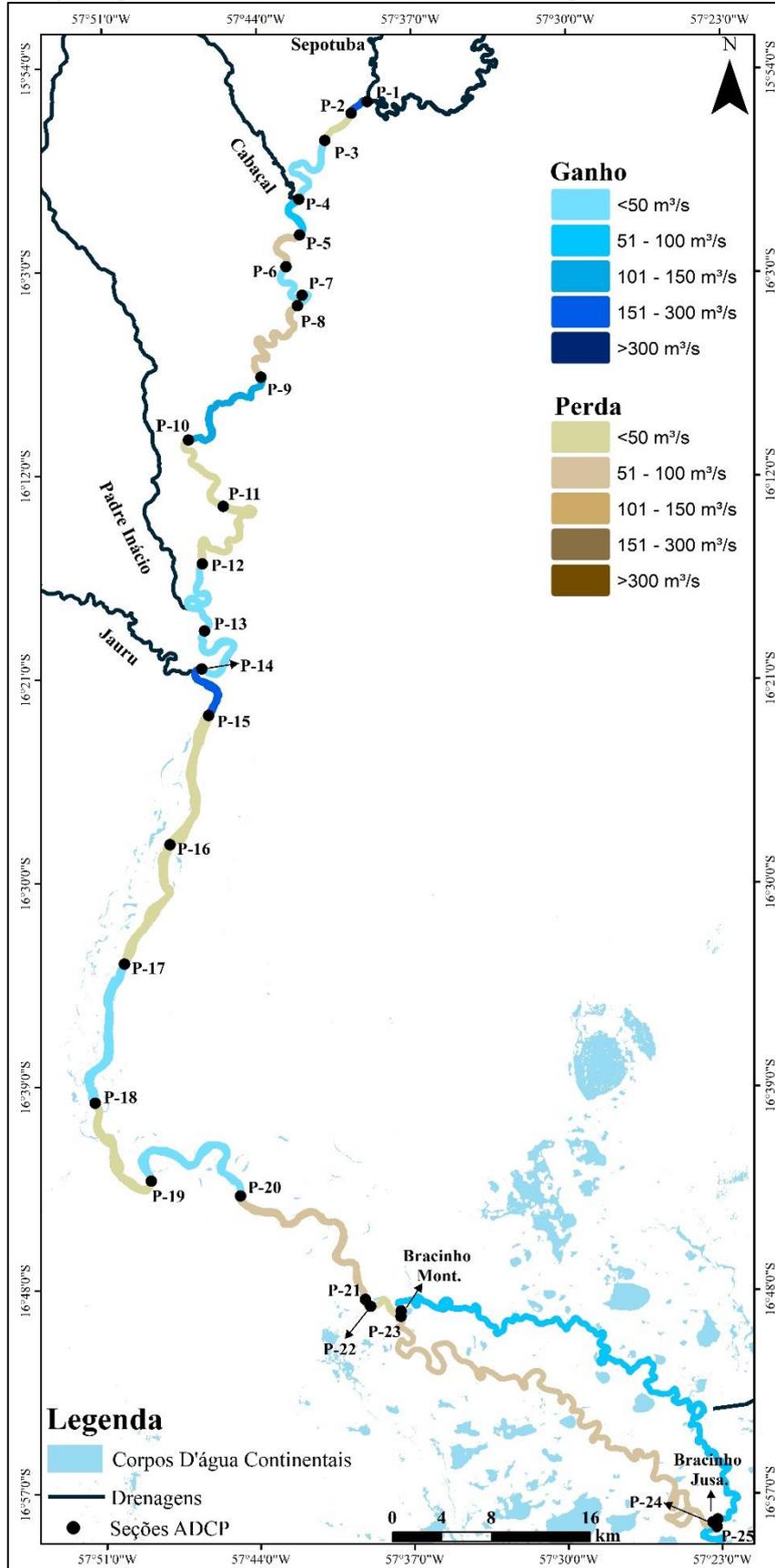
O primeiro padrão diz respeito à perda hídrica do rio Paraguai derivada das águas vertidas pelo rio Paraguai Mirim. Conforme Macedo (2017a), este paleocanal é responsável por drenar até 10% das águas do rio Paraguai, podendo atingir até mesmo os 20% nos períodos de cheia nesta região. Conforme a medição realizada em campo, o rio Paraguai-Mirim (seção homônima) apresentou vazão de 178 m³/s, isto é, 8,5% da descarga registrada na seção P-39, localizada a aproximadamente 1 km a montante do citado rio. Esta vazão vertida pelo rio Paraguai-Mirim é imediatamente refletida na seção P-40, através da redução em 8,5% da descarga medida, agora calculada em 1.930 m³/s.

Um segundo padrão hidrológico refere-se a uma gradativa e contínua redução da descarga, notada entre as seções P-40 e P-47. Nestas, a vazão do canal reduz-se continuamente em índices máximos de até 9% entre as seções, totalizando uma queda geral de 22% (430 m³/s) entre a descarga medida na seção P-40 e aquela medida na seção P-47, agora calculada em 1.500 m³/s.

O último padrão relaciona-se ao único ganho de vazão registrado ao longo desta planície: um aporte pontual proveniente do canal “Tamengo”. Apesar da medição realizada no canal Tamengo indicar que este possui vazão de 48,4 m³/s, o ganho na descarga entre a seção P-47 e P-48 é de aproximadamente 110 m³/s, o que pode indicar que além das águas provenientes diretamente do canal Tamengo, o rio Paraguai pode estar recebendo aportes provenientes da planície avulsiva de Corumbá, perfilhando pontualmente um padrão de drenagem tributário, o único em toda esta planície avulsiva.

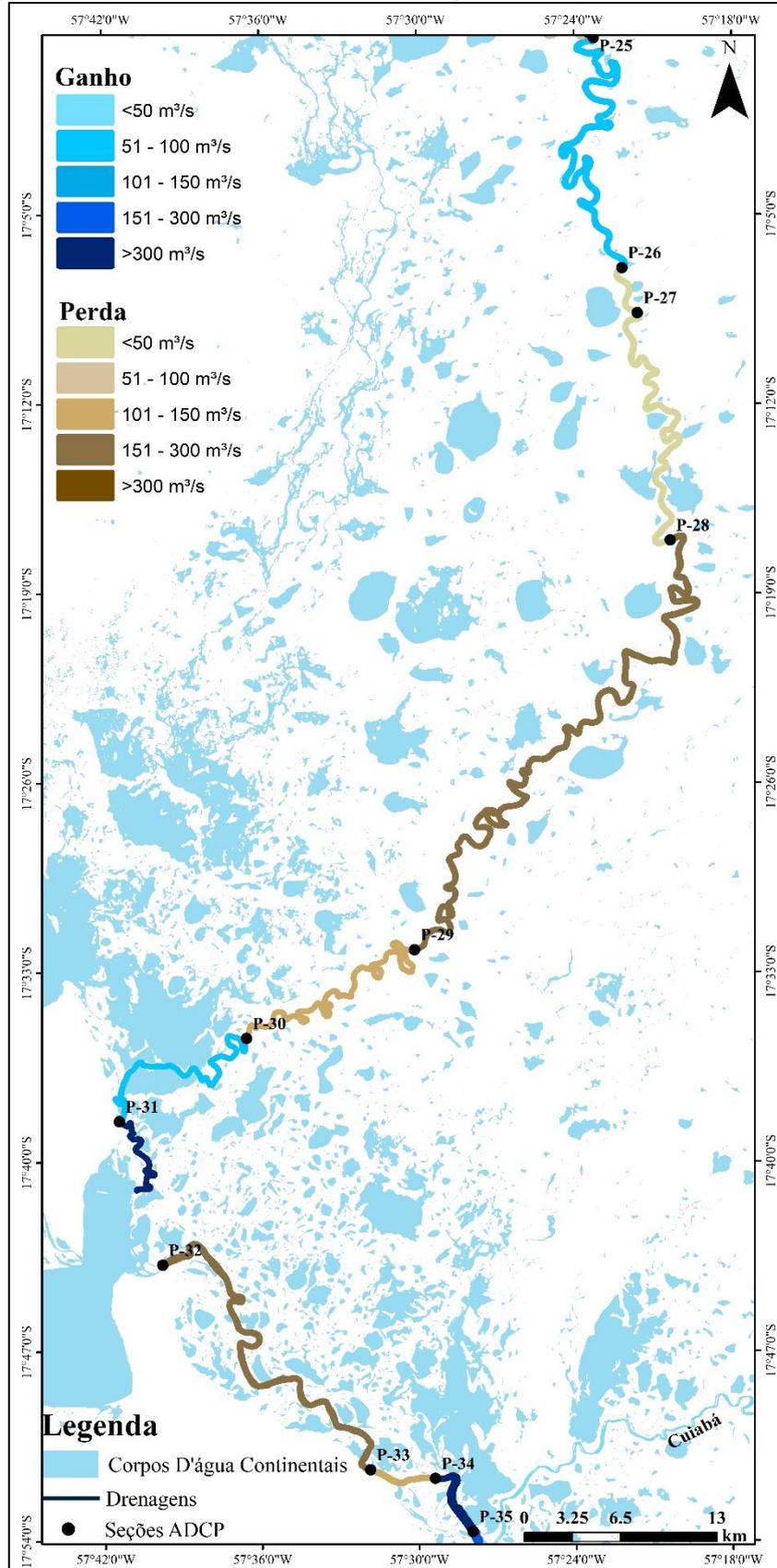
Dessa forma, tendo em vista a análise da descarga líquida registrada pelas seções realizadas em campo, pôde-se gerar um modelo de balanço hidrológico (Figuras 22, 23 e 24) para toda a área de estudo diferenciando, no interior dos compartimentos geomorfológicos do rio Paraguai, trechos de acréscimo e decréscimo na descarga, algumas vezes conflitantes com o padrão hidrológico característico do compartimento geomorfológico ao qual eventualmente um trecho esteja localizado.

Figura 22 – Balanço hidrológico do rio Paraguai entre o cinturão de meandros com canal meandrante, cinturão de meandros com canal retilíneo e a planície avulsiva de Descalvados. Trechos em escala de azul indicam segmentos de aumento na descarga, enquanto trechos em escalas de marrom indicam perdas hídricas.



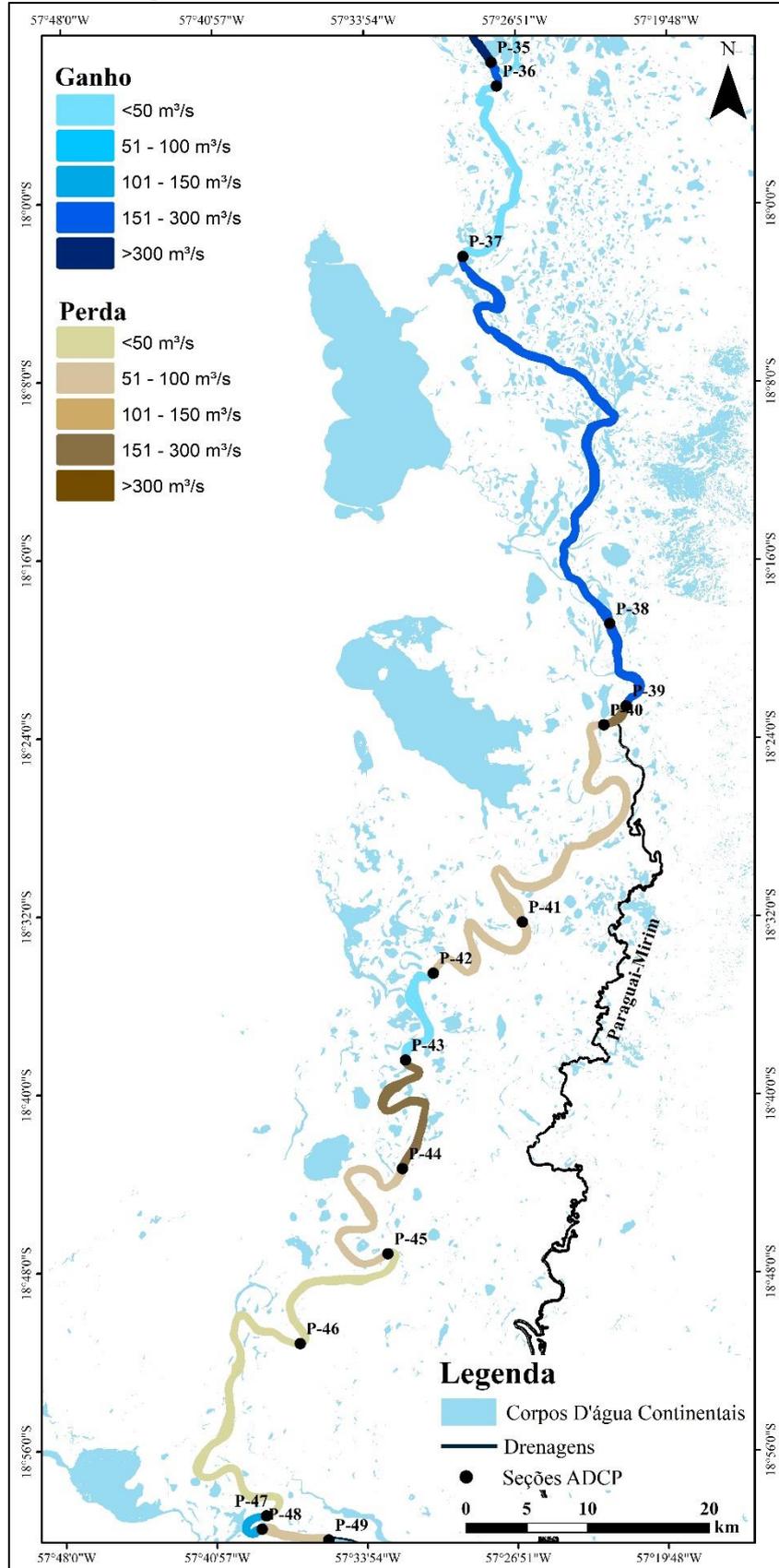
Fonte: o próprio autor.

Figura 23 – Balanço hidrológico do rio Paraguai entre a planície avulsiva fluvio-lacustre de Porto Conceição e a parte norte do cinturão de meandros da Serra do Amolar. Trechos em escala de azul indicam segmentos de aumento na descarga, enquanto trechos em escalas de marrom indicam perdas hídricas.



Fonte: o próprio autor.

Figura 24 – Balanço hidrológico do rio Paraguai entre o cinturão de meandros da Serra do Amolar e a planície avulsiva de Corumbá. Trechos em escala de azul indicam segmentos de aumento na descarga, enquanto trechos em escalas de marrom indicam perdas hídricas.



Fonte: o próprio autor.

5.3.3 Potência de canal

A potência de canal constitui parâmetro importante para a compreensão da energia disponível num canal para o funcionamento de seu regime de fluxo e a realização de processo fluvial. Enquanto a densidade da água, a aceleração da gravidade e o peso específico da água constituem parâmetros estáveis e contínuos na determinação deste conceito, a vazão média e a declividade do canal representam as variáveis de maior relevância para a compreensão da potência da corrente ao longo do trecho do rio Paraguai na área de estudo.

Por sua vez, a potência de canal específica (ω) baseia-se na divisão da potência de canal (Ω) pela largura (w) da seção analisada, permitindo a comparação entre a energia disponível de diferentes trechos do rio Paraguai. Dessa forma, os resultados dos cálculos de potência de canal e potência de canal específica realizados para as seções levantadas em campo, podem ser visualizadas na Tabela 4. Deve-se salientar que os parâmetros de energia do canal foram calculadas somente para as seções onde foi calculada a declividade, que por sua vez, foi calculada unicamente para aquelas seções nas quais foram coletadas amostras de sedimento de carga de fundo.

Em termos de potência de canal, as seções que apresentaram maior vazão foram aquelas que resultaram em maior potência, nomeadamente àquelas do cinturão de meandros da Serra do Amolar (média geral de 368 J s^{-1}) e da planície avulsiva de Corumbá (média geral de 280 J s^{-1}), mesmo estas apresentando declividades mais diminutas, abaixo dos 0,000020. Este fato repetiu-se no caso do cinturão de meandros com canal retilíneo (média de 241 J s^{-1}), no qual a pesar de a declividade ser menor àquela registrada no cinturão de meandros com canal meandrante (240 J s^{-1}), a maior descarga consistiu no elemento preponderante para a sua definição como o terceiro segmento com maior potência de canal. Por outro lado, mesmo com a declividade ainda elevada (0,000041), a baixa descarga líquida registrada ao longo da planície de Descalvados resultou na segunda menor potência de canal (175 J s^{-1}), atrás somente da planície fluvio-lacustre de Porto Conceição que, ao mesmo tempo, apresentou baixa declividade e vazão, configurando na menor potência de canal calculada, de apenas 50 J s^{-1} .

Ao analisar a potência de canal específica o cenário é invertido, permitindo uma melhor compreensão da disponibilidade de energia entre os grandes compartimentos geomorfológicos e mesmo entre as seções levantadas no interior dos mesmos. Assim, as maiores potências de canal específica são encontradas no cinturão de meandros com canal meandrante (média de $1,40 \text{ W m}^{-2}$), na planície avulsiva de Descalvados ($1,32 \text{ W m}^{-2}$ de média), no cinturão de meandros da Serra do Amolar (média geral de $1,30 \text{ W m}^{-2}$), na planície avulsiva de Corumbá

(média de $1,07 \text{ W m}^{-2}$), no cinturão de meandros com canal retilíneo ($0,88 \text{ W m}^{-2}$) e finalmente na planície fluvio-lacustre de Porto Conceição ($0,53 \text{ W m}^{-2}$).

Ao longo do cinturão de meandros com canal meandrante, a potência de canal varia entre os 395 e os 82 J s^{-1} . Nota-se uma diminuição gradativa, mas contínua da declividade, compensada pela elevação na descarga. Dessa forma, na primeira seção levantada no rio Paraguai (P-01), a declividade calculada é a maior dentre todas as seções. Entretanto, a vazão ainda é baixa, o que resulta numa potência de canal de 190 J s^{-1} . Na seção seguinte (P-02), registra-se uma diminuição na declividade, mas um grande acréscimo na descarga, o que resulta numa potência de canal 29% maior àquela registrada na seção anterior.

Em relação à potência de canal específica, no CMCM esta varia entre 2,58 (seção P-02) e os $0,65 \text{ W m}^{-2}$, mantendo os valores mais elevados nos trechos de vazão considerável nas quais a largura do canal não é muito elevada. Dessa forma, a maior potência específica é registrada na seção P-02 a qual apresentou potência de canal levada e largura não tão alta de aproximadamente 103 metros. O contrário registra-se na seção P-15 que apresentou a maior potência de canal (395 J s^{-1}), mas que apresentou também a maior largura dentre as seções analisadas (286 metros), fato que define a potência específica em $1,34 \text{ W m}^{-2}$. Destaque deve ser dado também às potências de canal específicas dos principais tributários deste segmento, visto que todos apresentaram índices inferiores a 1. Dessa forma, o rio Sepotuba apresentou potência específica de $0,39 \text{ W m}^{-2}$, o Cabaçal $0,92 \text{ W m}^{-2}$ e o rio Jauru $0,81 \text{ W m}^{-2}$.

No cinturão de meandros com canal retilíneo, a potência varia bastante (seções P-16, P-17 e P-18), enquanto a vazão se mantém constante, evidenciando que as alterações na declividade constituem aqui elemento primordial para a definição deste parâmetro. Em relação à potência específica, esta é maior na seção P-17 (mais que o dobro daquela registrada na seção anterior e na seguinte) sobretudo devido à combinação da maior potência de canal e da menor largura média dentre as outras seções levantadas.

Na planície de Descalvados a potência de canal mantém três comportamentos distintos: estabilidade, identificada nas seções P-19 e P-20; acentuação (seção P-21); e queda, identificada em todas as seções seguintes. Entre as seções P-22 (antes da bifurcação) e P-25 (após a bifurcação na ilha Taiamã) a potência de canal cai aproximadamente 76%, fato decorrente da diminuição da declividade média, mas sobretudo do decréscimo da descarga. No interior da bifurcação tanto o rio Bracinho quanto o rio Paraguai apresentaram redução na potência de canal, seja pelo efeito da diminuição da declividade, da vazão ou da associação entre ambas.

Em relação à potência específica, identificaram-se padrões: estabilidade (seções P-19 e P-20); acréscimo, com valores mais elevados nas seções P-21 e P-22 e decréscimo no interior

e a jusante da bifurcação na ilha Taiamã. Neste trecho, destaca-se ainda a *crevasse* que origina o rio Canzi. Nesta seção, apesar de a vazão ser elevada (vertendo cerca de 32% das águas do rio Paraguai), a potência de canal e a potência de canal específica apresentaram valores baixos, fato decorrente sobretudo da baixa declividade registrada, de apenas 0,000014.

Na planície fluvio-lacustre de Porto Conceição tanto a potência de canal como a potência específica apresentaram valores baixos, mantendo um padrão constante de diminuição ao longo da extensão do canal neste trecho. Dessa forma, a potência de canal manteve-se em queda nas seções P-26, P-27, P-29, P-30 e P-32, na qual o maior índice calculado foi de apenas 80 J s^{-1} . Exceção a essa tendência foi registrada na seção P-28, na qual a descarga manteve-se estável ($440 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) e a declividade apresentou pequena elevação (0,000020), fato incomum e único nesta planície. Em relação à potência de canal específica, esta seguiu uma tendência contínua de reduções, apresentando os menores índices naquelas seções notadamente sobre efeito remanso ocasionado pelo gargalo hidráulico representado pela Serra do Amolar.

No cinturão de meandros da Serra do Amolar, a potência de canal e a potência específica também apresentaram tendência contínua de redução a jusante, mesmo com o acréscimo constante na descarga. Entre a seção P-37 e P-39, a potência de canal reduziu-se 33%, enquanto a redução na potência específica foi de aproximadamente 64%. Este fato decorre, da redução constante da declividade no canal em 46% (o que impacta diretamente em sua potência), e do aumento expressivo de sua largura (calculado em 48%), resultado do ajuste da geometria do canal frente às alterações na vazão.

Por fim, na planície avulsiva de Corumbá registra-se uma redução geral na potência de canal, entretanto evidenciam-se dois padrões distintos: o primeiro, de ganho na potência de canal, identificado nas seções P-40, P-41, P-42 e P-47, na qual o aumento na declividade compensa a diminuição da descarga; e o segundo de redução na potência, na qual a diminuição da vazão, associada ao decréscimo da declividade constituíram elementos primordiais. Uma exceção neste segundo padrão refere-se à seção P-44, na qual a declividade cresceu minimamente, entretanto não sendo suficiente para compensar a redução de aproximadamente 10% na descarga.

Em relação à potência de canal específica, também foi registrada uma redução geral, entretanto, novamente identificaram-se dois padrões distintos: o primeiro, de elevações pontuais, na qual os índices mantiveram-se acima de 1 W m^{-2} (seções P-42, P-46 e P-47); e um segundo de reduções constantes (P-40, P-41, P-43, P-44 e P-49), na qual a potência específica manteve-se abaixo de 1 W m^{-2} . Os acréscimos na potência específica decorreram não só da maior potência de canal, mas sobretudo da menor largura das seções analisadas. Assim, as seções

que apresentaram as maiores potências específicas, foram aquelas que apresentaram as menores larguras deste trecho, variando entre os 176,9 a 220,8 metros. O contrário incorre para a compreensão dos menores valores de potência específica, pois estas seções foram justamente aquelas que apresentaram as maiores larguras, variando entre 293,0 a 389,4 metros.

Tabela 4 – Parâmetros hidráulicos relacionados à energia disponível no canal para a realização de processo fluvial.

Trecho	Seção	Q (m ³ s ⁻¹)	Larg. (m)	s	Ω (J s ⁻¹)	ω (W m ⁻²)
CMCM	Seputuba	165	108,7	0,000025	42,35	0,39
	P-01	218	78,2	0,000085	190,89	2,44
	P-02	439	103,4	0,000066	269,14	2,58
	P-03	438	187,6	0,000049	210,53	1,12
	P-04	443	162,2	0,000036	160,24	0,97
	Cabaçal	86,3	54,6	0,000059	50,26	0,92
	P-05	543	160,4	0,000046	247,30	1,54
	P-06	491	168,1	0,000074	374,83	2,12
	P-07	491	171,8	0,000052	251,96	1,45
	Paleocanal 1	53,9	109,9	0,000002	1,09	0,01
	Paleocanal 2	33	77,3	0,000004	1,23	0,02
	P-08	539	243,2	0,000038	201,71	0,83
	P-09	443	170,7	0,000046	198,81	1,14
	P-10	559	179,7	0,000037	204,73	1,14
	P-11	545	225,8	0,000049	256,55	1,11
CMCR	P-12	538	210,5	0,000051	244,86	1,15
	P-13	564	129,6	0,000015	82,35	0,65
	P-14	569	225,1	0,000005	321,95	1,36
	Jauru	121	80,1	0,000052	67,44	0,81
CMCR	P-15	762	285,6	0,000052	395,49	1,34
	P-16	734	382,5	0,000035	250,03	0,65
	P-17	731	252,3	0,000051	377,89	1,47
Descalvados	P-18	776	373	0,000031	95,46	0,52
	P-19	757	186,4	0,000033	243,99	1,31
	P-20	776	254,2	0,000037	290,33	1,13
	P-21	697	199,8	0,000063	418,48	2,07
	Crevasse Canzi	225	64,5	0,000014	31,12	0,47
	P-22	395	96,9	0,000059	228,67	2,35
	P-23 (montante)	149	71,7	0,000059	87,14	1,16
	Bracinho (montante)	216	70,6	0,000069	160,11	2,05
	Bracinho (jusante)	276	73,5	0,000036	96,80	1,30
Descalvados	P-24 (jusante)	98,5	88,4	0,000003	3,09	0,04
	P-25	388	116,4	0,000014	53,02	0,45

Tabela 4 – Continuação.

Trecho	Seção	Q (m ³ s ⁻¹)	Larg. (m)	s	Ω (J s ⁻¹)	ω (W m ⁻²)
P. Conceição	P-26	475	72	0,000018	80,39	1,12
	P-27	461	98,1	0,000016	72,57	0,74
	P-28	440	131,5	0,000022	100,79	0,74
	P-29	193	67,4	0,000017	31,31	0,45
	P-30	54	56,1	0,000002	0,92	0,02
	P-31	122	63,1	-	-	-
	P-32	458	140,5	0,000005	19,07	0,13
	P-33	261	96,7	-	-	-
	Canal Secundário	130	82,8	-	-	-
	P-34	130	103,5	-	-	-
	P-35	1290	295,4	-	-	-
	Cuiabá	303	97,9	-	-	-
Amolar	P-36	1560	228,6	-	-	-
	P-37	1600	191	0,000026	423,37	2,13
	P-38	1890	391,6	0,000021	398,22	1,00
	P-39	2110	367,9	0,000014	282,76	0,77
Corumbá	Paraguai-Mirim	178	92,7	-	-	-
	P-40	1930	293	0,000013	253,81	0,87
	P-41	1840	349,3	0,000015	268,42	0,77
	P-42	1740	220,8	0,000019	323,66	1,45
	P-43	1760	300,4	0,000018	307,13	0,98
	P-44	1600	329,5	0,000019	290,22	0,88
	P-45	1550	237,8	-	-	-
	P-46	1520	176,9	0,000016	243,24	1,31
	P-47	1500	190,4	0,000023	337,04	1,77
	C. Tamengo	48,4	262,1	-	-	-
	P-48	1610	420	-	-	-
P-49	1520	389,4	0,000015	223,99	0,58	

Fonte: o próprio autor.

5.3.4 Transporte de sedimentos e balanço hidrossedimentar

Dada a diversidade de padrões hidrológicos, de regime de fluxo e de energia disponível para a realização de trabalho fluvial, o rio Paraguai apresentou diferentes padrões hidrossedimentares ao longo da área de estudo, estabelecendo alguns trechos com características muitas vezes distintas daquelas esperadas para o compartimento geomorfológico analisados. As características sedimentares e os valores de descarga sólida (em suspensão e de fundo) de cada seção levantada estão discriminadas na Tabela 5.

A descarga de sedimento em suspensão variou ao longo dos compartimentos geomorfológicos, apresentando os índices mais elevados nos segmentos em que se registraram as maiores descargas. Dessa forma, a maior descarga de sedimento suspenso foi registrada no cinturão de meandros da Serra do Amolar (11.268,72 t dia⁻¹), seguida pela planície avulsiva de Corumbá (9.173,13 t dia⁻¹), pelo cinturão de meandros com canal meandrante (5.169,68 t dia⁻¹), pelo cinturão de meandros com canal retilíneo (1.891,50 t dia⁻¹), pela planície avulsiva de Descalvados (1.032,26 t dia⁻¹) e, por fim, pela planície fluvio-lacustre de Porto Conceição (500,54 t dia⁻¹).

No interior do cinturão de meandros com canal meandrante, a descarga sólida suspensa representou 89% da descarga sólida total (somatória do sedimento suspenso e do sedimento de fundo), apresentando três padrões principais: o primeiro com descargas de até 3.000 t dia⁻¹ (P-01, P-02, P-03, P-04, P-05, P-06, P-10 e P-11), no qual foi registrado vazões dispares, com concentração de sedimento suspenso não superior a 68,33 mg/l; o segundo com descargas entre 3.000 e 10.000 t dia⁻¹, no qual a vazão manteve-se constante (variando entre 491 e 762 m³ s⁻¹), com concentração sedimentar variando entre 118,16 e 185 mg/l; e o terceiro com descargas superiores a 10.000 t dia⁻¹, no qual foram registradas vazões elevadas (acima de 564 m³ s⁻¹), acompanhadas de concentração sedimentar variada entre 266 e 281 mg/l.

No cinturão de meandros com canal retilíneo, a descarga sólida suspensa manteve-se constante e sem grandes alterações, representando cerca de 87% da descarga sólida total. Esta descarga, não superior a 2.078,44 t dia⁻¹, decorre da associação entre a elevada vazão (acima dos 731 m³ s⁻¹) e a baixa concentração sedimentar, não superior a 31,5 mg/l.

Na planície avulsiva de Descalvados a descarga suspensa reduz-se a jusante, mas mantém-se como o principal mecanismo de transporte sedimentar, representando aproximadamente 81% de toda a descarga sólida da planície. Nesta planície a concentração sedimentar variou pouco, entre 56,83 e 5,67 mg/l, enquanto a vazão reduziu-se a jusante, a apenas 388 m³ s⁻¹. No interior da bifurcação da ilha Taiamã, o rio Paraguai apresentou uma redução drástica em sua descarga sólida suspensa, de aproximadamente 426,98 t dia⁻¹ (montante) a 48,23 t dia⁻¹ ao final da bifurcação. Já o rio Bracinho também apresentou redução em sua descarga, mas num nível significativamente inferior, de aproximadamente 6%.

Na planície fluvio-lacustre de Porto Conceição a descarga suspensa representou 96% de toda a descarga sólida, mesmo com a concentração sedimentar apresentando os menores valores registrados em toda a área de estudo (média de 16,01 mg/l). A baixa descarga coincide com a tendência da planície de Porto Conceição enquanto grande área de sedimentação moderna, na qual predominam baixa energia de fluxo e volumosa perda de água para a planície adjacente.

Tabela 5 – Características sedimentares das seções levantadas em campo.

Trecho	Seção	CSS (MG/L)	Carga de Fundo		Descarga S. Suspendo (t dia ⁻¹)	Descarga S. de Fundo (t dia ⁻¹)	Descarga Sólida Total (t dia ⁻¹)
			D ₅₀ (mm)	D ₉₀ (mm)			
CMCM	Septuba	35.833	0.339	0.660	510.84	13.86	524,70
	P-01	49.833	0.357	0.580	938.62	416.87	1355,49
	P-02	58.833	0.385	0.763	2231.52	647.96	2879,48
	P-03	40.167	0.424	0.839	1520.04	257.04	1777,07
	P-04	46.333	0.525	0.959	1773.42	113.40	1886,82
	Cabaçal	59.500	0.397	0.923	443.65	57.26	500,91
	P-05	56.833	0.351	0.647	2666.35	399.09	3065,43
	P-06	68.333	0.342	0.548	2898.86	772.50	3671,37
	P-07	185.000	0.305	0.576	7848.14	374.62	8222,77
	C. Abandonado 1	251.000	0.437	0.937	1168.90	0.00	1168,90
	C. Abandonado 2	22.833	0.380	0.974	65.10	0.00	65,10
	P-08	175.833	0.337	0.488	8188.49	186.04	8374,53
	P-09	132.000	0.306	0.487	5052.33	242.34	5294,66
	P-10	37.333	0.387	0.853	1803.11	270.37	2073,48
	P-11	28.833	0.323	0.816	1357.70	350.38	1708,08
	P-12	143.833	0.343	0.671	6685.83	332.69	7018,52
	P-13	266.000	0.224	0.454	12962.07	45.20	13007,28
	P-14	281.500	0.341	0.476	13838.99	465.71	14304,70
Jauru	258.833	0.378	1.112	2705.95	75.72	2781,66	
P-15	118.167	0.522	1.524	7779.71	480.32	8260,03	
CMCR	P-16	25.333	0.362	0.705	1606.58	195.25	1801,83
	P-17	31.500	0.374	0.718	1989.49	633.99	2623,48
	P-18	31.000	0.376	0.996	2078.44	110.58	2189,02
Descalvados	P-19	32.833	0.344	0.593	2147.46	324.75	2472,21
	P-20	26.167	0.402	1.093	1754.38	386.00	2140,39
	P-21	23.000	0.310	0.484	1385.08	798.93	2184,00
	Crevasse Canzi	33.667	0.265	0.440	654.48	10.09	664,57
	P-22	56.833	0.388	0.930	1939.61	508.11	2447,72
	P-23 (montante)	33.167	0.232	0.443	426.98	100.03	527,01
	Bracinho (montante)	33.167	0.363	0.652	618.97	317.44	936,41
	Bracinho (jusante)	24.333	0.420	0.999	580.26	120.38	700,64
	P-24 (jusante)	5.667	0.187	0.354	48.23	0.00	48,23
P-25	13.333	0.212	0.433	389.38	19.66	409,03	

Tabela 5 – Continuação.

Trecho	Seção	CSS (MG/L)	Carga de Fundo		Descarga S. Suspenso (t dia ⁻¹)	Descarga S. de Fundo (t dia ⁻¹)	Descarga Sólida Total (t dia ⁻¹)
			D ₅₀ (mm)	D ₉₀ (mm)			
P. Conceição	P-26	12,333	0,368	0,642	506,16	74,23	580,38
	P-27	9,667	0,180	0,249	385,03	39,57	424,60
	P-28	12,000	0,216	0,415	456,19	69,32	525,51
	P-29	14,167	0,178	0,285	236,23	10,66	246,90
	P-30	23,167	0,299	0,465	108,09	0,00	108,09
	P-31	13,833	-	-	145,81	2,04	147,85
	P-32	18,000	0,193	0,445	712,28	0,02	712,31
	P-33	21,667	-	-	488,59	-	488,59
	Canal Secundário	21,667	-	-	243,36	-	243,36
	P-34	19,667	-	-	220,90	-	220,90
	P-35	15,667	-	-	1746,15	-	1746,15
	Cuiabá	20,167	-	-	527,95	-	527,95
Amolar	P-36	33,500	-	-	4515,26	-	4515,26
	P-37	31,333	0,181	0,250	4331,52	549,77	4881,28
	P-38	127,333	0,233	0,444	20793,02	366,38	21159,40
	P-39	84,667	0,183	0,274	15435,08	175,24	15610,32
Corumbá	Paraguai-Mirim	-	-	-	-	-	-
	P-40	119,667	0,186	0,342	19954,66	176,18	20130,84
	P-41	71,500	0,200	0,404	11366,78	196,89	11563,68
	P-42	50,000	0,171	0,232	7516,80	316,98	7833,78
	P-43	42,667	0,178	0,239	6488,07	224,01	6712,07
	P-44	29,333	0,199	0,399	4055,04	220,95	4275,99
	P-45	34,333	-	-	4597,92	-	4597,92
	P-46	46,000	0,175	0,235	6041,09	210,01	6251,09
	P-47	25,000	0,173	0,232	3240,00	364,03	3604,03
	C. Tamengo	16,167	-	-	67,61	-	67,61
	P-48	72,500	-	-	10085,04	-	10085,04
P-49	140,000	0,170	0,232	18385,92	104,46	18490,38	

Fonte: o próprio autor.

No cinturão de meandros da Serra do Amolar, conjuntamente à retomada nos índices de descarga líquida, a concentração sedimentar também torna a crescer, apresentando índices máximos de 127,33 mg/l. Esta elevada concentração sedimentar, associada aos altos valores de vazão, resultam em grande descarga sólida suspensa, atingindo índices máximos de 20.793,02 ton/dia. Dessa forma, a descarga suspensa representa cerca de 97% de toda a descarga sólida deste cinturão.

Por fim, na planície avulsiva de Corumbá identificou-se que a descarga suspensa representou 97% de toda a descarga sólida desta planície. A concentração sedimentar variou a

jusante (entre 119,66 e 16,16 mg/l), registrando média geral de 46,52 mg/l, enquanto a vazão, como abordado anteriormente, reduziu-se em até 30%. Dessa forma, as maiores descargas suspensas foram registradas entre as seções P-40 e P-43 e na P-46, todas com descarga superiores a 6.000 t dia⁻¹.

Em termos de sedimento de fundo, este representou apenas uma pequena parcela para a compreensão da descarga sólida total. Em outros termos, o sedimento de fundo representou apenas 8% de toda a descarga sólida do rio Paraguai, sendo o restante representado pela descarga sólida suspensa. Em geral, a descarga de fundo variou ao longo do rio Paraguai, mas manteve índices não superiores a 799 t dia⁻¹.

Dentre os compartimentos geomorfológicos analisados, aquele que apresentou maior índice de descarga sólida de fundo foi o cinturão de meandros com canal meandrante (356,97 t dia⁻¹), seguido pelo cinturão de meandros com canal retilíneo (313,27 t dia⁻¹), pelo cinturão de meandros da Serra do Amolar (306,01 t dia⁻¹), pela planície avulsiva de Descalvados (286,14 t dia⁻¹), planície avulsiva de Corumbá (211,18 t dia⁻¹) e finalmente pela planície fluvio-lacustre de Porto Conceição (21,28 t dia⁻¹), a qual apresentou descarga nula em algumas seções (Tabela 5).

A somatória e comparação da descarga suspensa e a descarga de fundo entre as seções levantadas no rio Paraguai, permite a compreensão da descarga sólida total do canal e a sua dinâmica de transporte, erosão e deposição ao longo do trecho analisado. Neste contexto, Garcia et al. (2013) apontam que estudos de modelagem dos processos de trocas de água entre canal e a planície constituem elemento importante para a compreensão da dinâmica hidrossedimentológica, fato este ratificado por Macedo (2017a) que construiu um modelo de balanço hidrossedimentológico do rio Paraguai na planície avulsiva de Corumbá.

Dessa forma, tendo em vista a diferença da descarga sólida total registrada entre duas seções (uma a montante e outra a jusante), calculou-se a diferença entre a descarga sólida de ambas, sendo esta diferença entendida como o balanço sedimentar entre ambas. Quando a diferença entre a descarga inicial e final é positiva, sintetiza-se processo erosivo, transporte sedimentar e eventualmente contribuições diretas de tributários, como aquelas provenientes do rio Sepotuba, Cabaçal e Jauru. Quando os valores são negativos, isto é, quando o índice registrado na seção a jusante é menor àquele registrado na seção a montante, tem-se processo de deposição sedimentar. Assim, foram gerados 49 trechos do rio Paraguai, os quais podem ser visualizados nas Figuras 25 (cinturão de meandros com canal meandrante, cinturão de meandros com canal retilíneo e a planície avulsiva de Descalvados), 26 (planície fluvio-lacustre

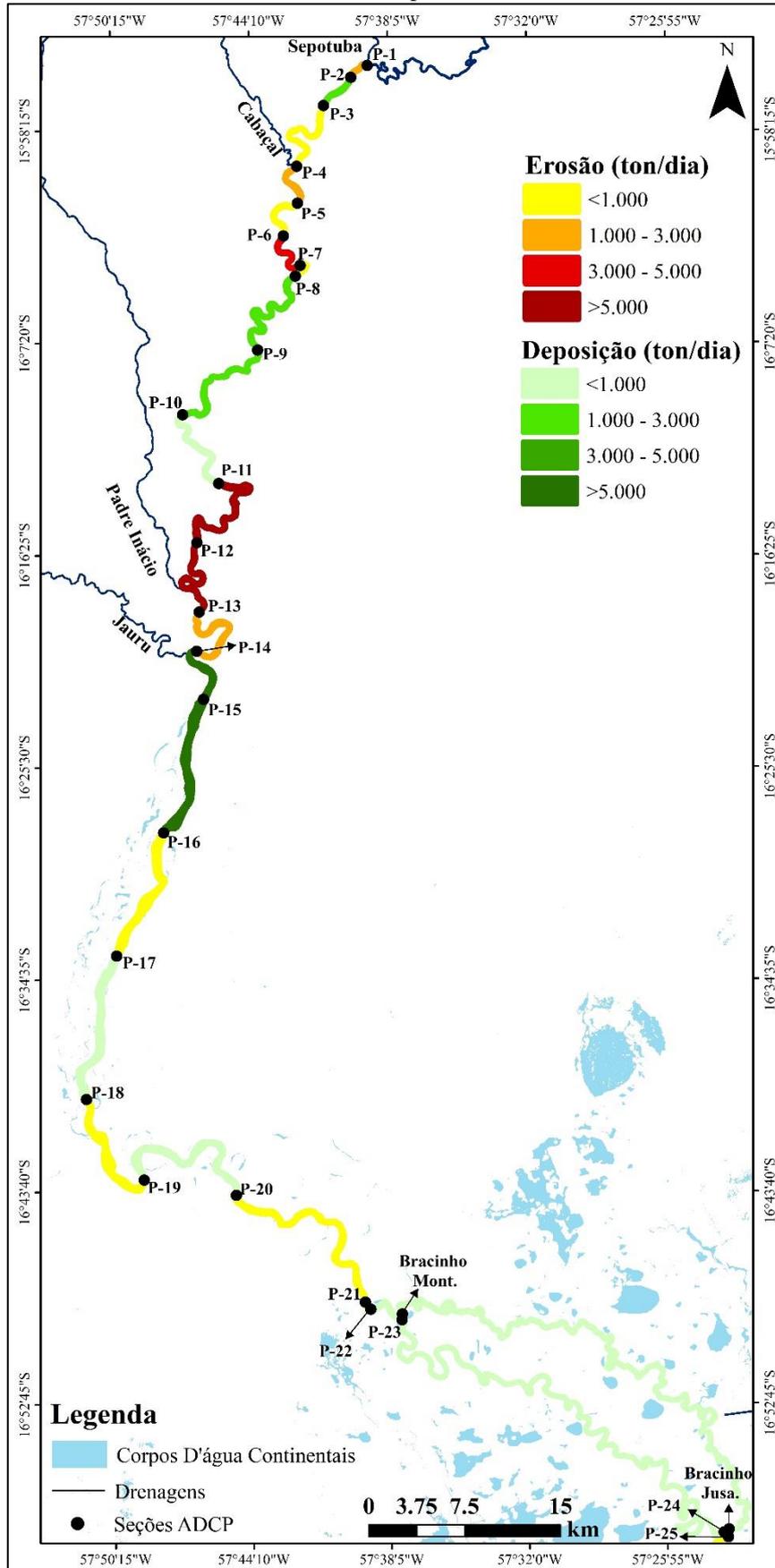
de Porto Conceição) e 27 (cinturão de meandros da Serra do Amolar e na planície avulsiva de Corumbá).

Ao longo do cinturão de meandros com canal meandrante predominaram processos erosivos e até mesmo deposicionais, entre as 1.000 e 3.000 toneladas. Destaque deve ser dirigido aos trechos entre as seções P-6 e P-7, P-11, P-12 e P-13, as quais registraram taxas erosivas superiores a 3.000 t dia^{-1} , enquanto as maiores taxas deposicionais concentraram-se nos trechos entre as seções P-14, P-15 e P-16.

Na metade sul do cinturão de meandros com canal retilíneo, na planície avulsiva de Descalvados e na planície fluvio-lacustre de Porto Conceição predominaram processos sedimentares em níveis de até 1.000 t dia^{-1} , sejam estes processos erosivos ou deposicionais. Esta baixa taxa reflete os baixos índices de energia no canal para realização de processos fluviais, a menor concentração sedimentar, e também a menor descarga líquida. Ao fim da planície fluvio-lacustre de Porto Conceição há uma retomada nos níveis dos processos sedimentares, coincidindo com a retomada na descarga líquida, muito devido às águas provenientes dos sistemas lacustres da região, como apontado na Figura 20 B.

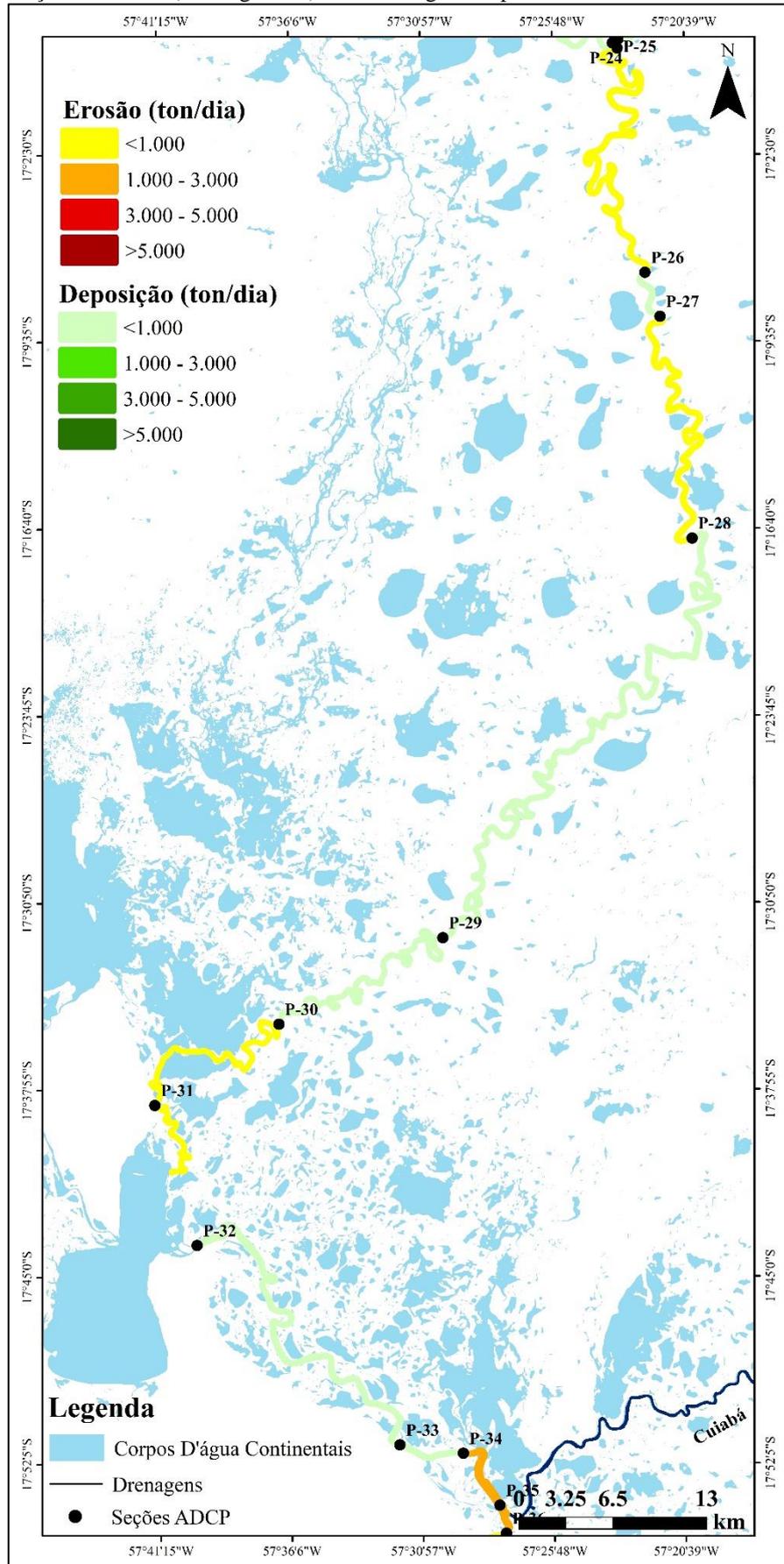
No cinturão de meandros da Serra do Amolar, predominam processos erosivos, com os mais elevados índices sendo registrados nos trechos entre as seções P-37 e P-38 e P-39 e P-40, nos quais foram identificadas elevações na descarga líquida e na concentração de sedimentos suspensos. Em contra partida, na penúltima seção (P-38 e 39) do cinturão de meandros da Serra do Amolar e na primeira seção (P-40 e 41) da planície avulsiva de Corumbá registram-se elevados índices deposicionais, acima das 5.000 t dia^{-1} .

Figura 25 – Balanço sedimentar (descarga total) do rio Paraguai entre o cinturão de meandros com canal meandrante, cinturão de meandros com canal retilíneo e a planície avulsiva de Descalvados.



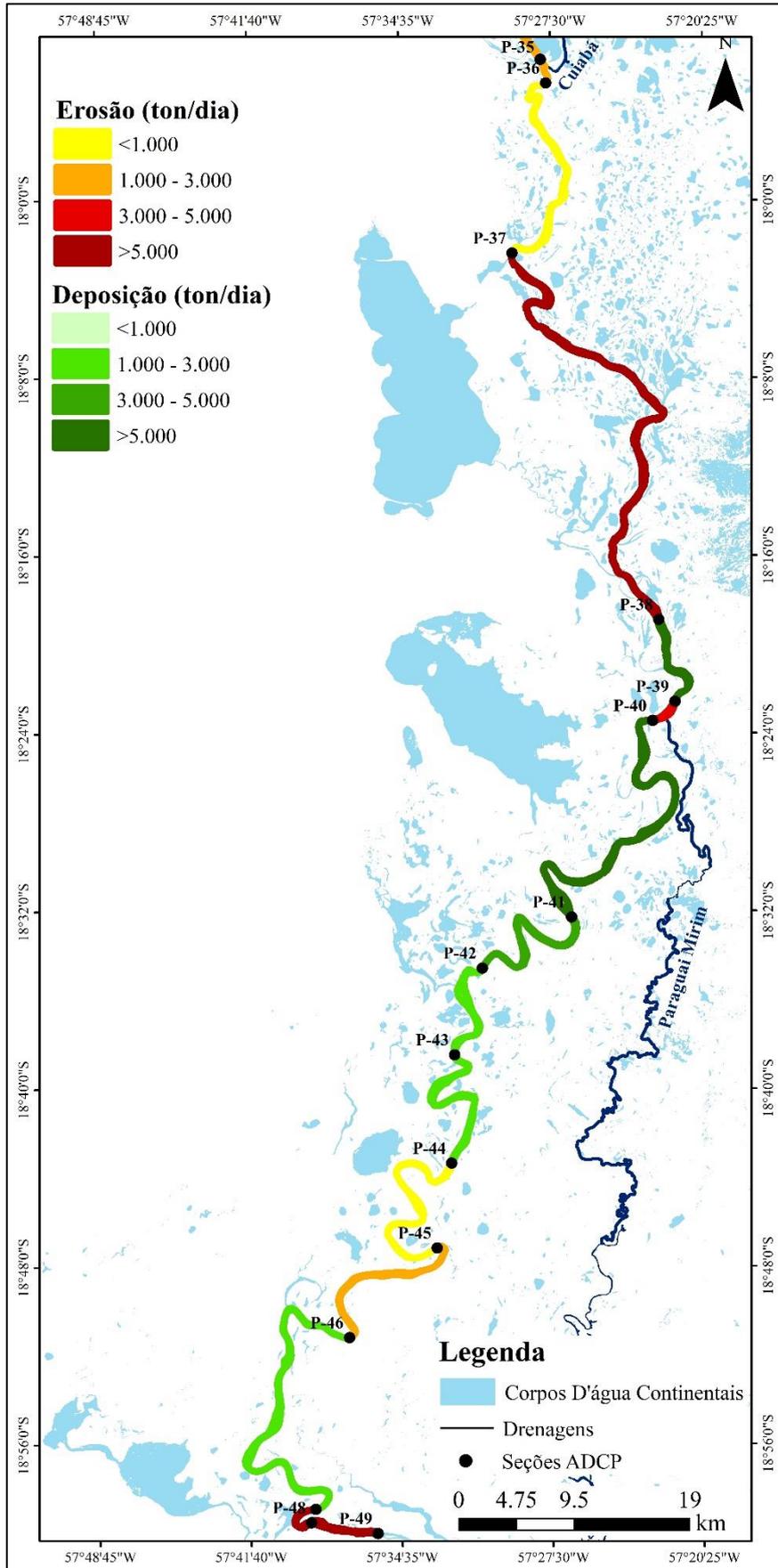
Fonte: o próprio autor.

Figura 26 – Balanço sedimentar (descarga total) do rio Paraguai na planície fluvio-lacustre de Porto Conceição.



Fonte: o próprio autor.

Figura 27 – Balanço sedimentar (descarga total) do rio Paraguai no cinturão de meandros da Serra do Amolar e na planície avulsiva de Corumbá.



Fonte: o próprio autor.

Os trechos seguintes também apresentam dinâmicas deposicionais de até 1.000 ton/dia, com uma alteração sendo registrada somente nos trechos entre as seções P-44 e P-45 e P-45 e P-46. Nestas foram identificados padrões erosivos de até 3.000 ton/dia, efeito decorrente sobretudo da elevação da concentração sedimentar suspensa, em contraposição à diminuição da descarga líquida. Por fim, no trecho entre as seções P-47 a P-49 registraram-se amplos processos erosivos, acima das 5.000 ton/dia. A tendência identificada neste segmento coincidiu à tendência apontada por Macedo (2017a) o qual classificou esta área como de tendência a processos de erosivos durante o período de águas baixas, dissecando depósitos sedimentares formados durante os períodos de cheia. Dessa forma, os índices do balanço hidrossedimentológico podem ser visualizados a seguir, na Tabela 6.

Tabela 6 – Balanço hidrossedimentar do rio Paraguai entre as seções levantadas na área de estudo.

Trechos/Seções	Balanço de Descarga Líquida Total (m³/s)	Balanço de Descarga Sólida Total (ton/dia)
P-1 -- P-2	221	1523,99
P-2 -- P-3	-1	-1102,41
P-3 -- P-4	5	109,74
P-4 -- P-5	100	1178,61
P-5 -- P-6	-52	605,93
P-6 -- P-7	1	4551,40
P-7 -- P-8	48	151,76
P-8 -- P-9	-96	-3079,86
P-9 -- P-10	116	-3221,18
P-10 -- P-11	-14	-365,39
P-11 -- P-12	-7	5310,44
P-12 -- P-13	26	5988,75
P-13 -- P-14	5	1297,42
P-14 -- P-15	193	-6044,66
P-15 -- P-16	-28	-6458,20
P-16 -- P-17	-3	821,64
P-17 -- P-18	45	-434,45
P-18 -- P-19	-19	283,18
P-19 -- P-20	19	-331,82
P-20 -- P-21	-79	43,61
P-21 -- P-22	-302	263,71
P-22 -- Início I. Taiamã	-30	-984,30
Bracinho	60	-235,76
P-23 - P-24	-50,5	-478,78
Final I. Taiamã -- P-25	13,5	-339,83
P-25 - P-26	87	171,35

Tabela 6 – Continuação.

Trechos/Seções	Balanco de Descarga Líquida Total ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)	Balanco de Descarga Sólida Total (t dia^{-1})
P-26 - P-27	-14	-155,78
P-27 - P-28	-21	100,90
P-28 - P-29	-247	-278,61
P-29 - P-30	-139	-138,81
P-30 - P-31	68	39,76
P-31 - P-32	336	564,45
P-32 - P-33	-197	-222,67
P-33 - P-34	-131	-268,66
P-34 - P-35	1160	1542,66
P-35 - P-36	270	2884,29
P-36 - P-37	40	233,35
P-37 - P-38	290	16278,12
P-38 - P-39	220	-5549,08
P-39 - P-40	-180	4520,51
P-40 - P-41	-90	-8567,16
P-41 - P-42	-100	-3729,89
P-42 - P-43	20	-1121,70
P-43 - P-44	-160	-2436,08
P-44 - P-45	-50	321,933
P-45 - P-46	-30	1653,17
P-46 - P-47	-20	-2647,06
P-47 - P-48	110	6481,01
P-48 - P-49	-90	8405,34

Fonte: o próprio Autor.

5.4 Considerações finais

Ao longo do trecho estudado, o rio Paraguai apresenta uma dinâmica fluvial complexa e particular, mantendo parcos elos àquelas estudadas e registradas na literatura. Para além de alterações no tempo (períodos hidrológicos), o rio Paraguai apresenta alterações no espaço, não só dentre os grandes compartimentos geomorfológicos, bem como no interior destes, apresentando algumas vezes padrões fluviais distintos daqueles que predominam e caracterizam cada um dos compartimentos.

Em termos de regime de fluxo, identificou-se um padrão para todo o canal, classificado aqui como turbulento subcrítico ou de *regime de fluxo inferior* pois, o número de *Reynolds*, manteve-se muito acima do índice de 2.500 (o que o define como *turbulento*), enquanto o número de *Froude*, manteve-se abaixo de 1, (definindo o fluxo como *subcrítico* ou *tranquilo*).

Em contrapartida, o padrão hidrológico de canal variou bastante ao longo da área de estudo. Apesar dos compartimentos geomorfológicos apontarem a padrões gerais de ganhos e perdas na descarga líquida, na análise entre as seções identificaram-se dinâmicas díspares, muitas vezes inversas aos padrões característicos de cada compartimento. Isto é, mesmo em sistemas caracterizados como tributários, como o cinturão de meandros com canal meandrante, no qual o balanço hidrológico geral indica aumento da vazão a jusante, registram-se trechos de perda de água, em taxas que podem atingir até mesmo os 20 % do total. A relação inversa também foi percebida, como no caso da planície fluvio-lacustre de Porto Conceição, no qual tanto no primeiro trecho como no último, foram registradas elevações na descarga líquida, com o último trecho elevando a vazão em até 10 vezes.

A potência de canal apresentou elevada relação com a vazão, visto que as seções que apresentaram maior vazão foram aquelas que resultaram em maior potência, como o cinturão de meandros da Serra do Amolar (média geral de 368 J s^{-1}) e a planície avulsiva de Corumbá (média geral de 280 J s^{-1}), mesmo estas apresentando as mais diminutas declividades, abaixo dos 0,000020.

A potência de canal específica permitiu uma melhor compreensão da disponibilidade de energia entre os grandes compartimentos geomorfológicos e mesmo entre as seções levantadas em seu interior. Os maiores índices de potência específica foram encontrados em trechos com vazão e potência de canal distintas, como no cinturão de meandros com canal meandrante, na planície avulsiva de Descalvados e no cinturão de meandros da Serra do Amolar.

A descarga sólida suspensa representou aproximadamente 92% de toda a descarga sólida total, constituindo assim elemento preponderante para a compreensão da dinâmica sedimentar do canal. Esta descarga sólida em suspensão variou ao longo dos compartimentos geomorfológicos, apresentando os índices mais elevados nos segmentos em que se registraram as maiores descargas, com as menores concentrações nos trechos de menor fluxo.

O sedimento de fundo representou apenas 8% da descarga sólida total, mas apresentou relação direta à potência de canal específica. Dessa forma, o trecho de maior descarga sólida de fundo e também de maior potência específica foi o cinturão de meandros com canal meandrante, seguido pelo cinturão de meandros com canal retilíneo, cinturão de meandros da Serra do Amolar, planície avulsiva de Descalvados, planície avulsiva de Corumbá e finalmente pela planície fluvio-lacustre de Porto Conceição.

Compreendeu-se dessa forma que apesar das tendências gerais apontadas pelos grandes compartimentos geomorfológicos, o rio Paraguai apresentou padrões distintos no interior de cada uma, algumas vezes significativamente inversas às tendências esperadas. Como exemplo,

pode-se apontar a planície fluvio-lacustre de Porto Conceição, a qual é definida como área de sedimentação moderna de baixa energia de fluxo, bem como de transporte sedimentar e diminuição na descarga líquida a jusante. Entretanto, identificou-se que esta planície apresenta em seu trecho superior e inferior padrões de drenagem tributários, com significativo fluxo e potência de canal, transportando cargas sedimentares, isto é, desenvolvendo sistemas erosivos. Assim, o presente capítulo contribui para a compreensão da dinâmica hidrossedimentológica do rio Paraguai em toda a área de estudo, oportunizando conhecimentos para um melhor gerenciamento dos recursos no Pantanal.

6 CONCLUSÃO

O escopo deste trabalho é a compreensão da dinâmica fluvial do rio Paraguai por meio da análise da dinâmica hidrossedimentológica e hidráulica do canal ao longo de seu trecho entre Cáceres-MT e Corumbá-MS. Os objetivos propostos foram atendidos na medida em que se mapearam os grandes compartimentos geomorfológicos do canal e sua planície ao longo da área de estudo (capítulo 4); se caracterizou os parâmetros hidráulicos, hidrológicos e morfológicos do rio Paraguai ao longo do trecho estudado (capítulo 5); analisou-se a descarga sedimentar de leito e em suspensão, compreendendo a dinâmica da descarga ao longo do trecho (capítulo 5); e se analisou o papel dos principais tributários (sejam eles canais ou sistemas de leques aluviais) para o padrão hidrossedimentológico do rio Paraguai e de sua planície.

Com a compartimentação geomorfológica do rio Paraguai, realizada por meio de mapeamento das características hidrológicas e morfológicas do canal e de sua planície, conforme os pressupostos encontrados na literatura, compreendeu-se que o citado rio apresenta uma ampla variação de padrões, configurando diferentes ambientes com características internas muito singulares. Esta diferenciação entre compartimentos expressa em parte a atuação diferentes controles alogênicos (externos à dinâmica sedimentar, como mudanças climáticas, tectonismo, entre outros) que precisam ser melhor compreendidos e fatores autogênicos (internos ao ambiente deposicional), os quais dotam cada compartimento de uma dinâmica particular.

Ao longo do trecho estudado foram identificados seis compartimentos geomorfológicos: cinturão de meandros com canal meandrante; cinturão de meandros com canal retilíneo; planície avulsiva de Descalvados; planície fluvio-lacustre de Porto Conceição; cinturão de meandros da Serra do Amolar e a planície avulsiva de Corumbá. Nos cinturões de meandros predominam padrão de drenagem tributário e declividade mais elevada, com sua distinção se dando devido ao padrão de canal, meandrante a norte e retilíneo a sul, resultado direto de controle lito-estrutural representado pela Província Serrana.

Na planície de Descalvados predominam processos distributários e de sedimentação, principalmente na *crevasse* que origina o rio Canzi e na bifurcação às margens da ilha Taiamã, na qual o canal perfilha padrão multicanal. Na planície fluvio-lacustre de Porto Conceição mantém-se padrão de canal meandrante, com drenagem altamente distributária, constituindo uma das regiões mais úmidas e planas do Pantanal. No cinturão de meandros da Serra do Amolar o rio Paraguai encontra-se confinado em uma planície restrita, apresentando padrão de canal retilíneo e drenagem altamente tributária, drenando as águas provenientes da planície

fluvio-lacustre de Porto Conceição ao norte, do leque do rio Cuiabá ao nordeste e principalmente do megaleque do rio Taquari ao leste. Por fim, na planície avulsiva de Corumbá o canal apresenta padrão tipicamente meandrante de alta sinuosidade, com drenagem em grande parte distributária, vertida seja por extravasamentos dos diques marginais ou drenagens secundárias, como o rio Paraguai-Mirim.

Apesar das tendências gerais que predominam e caracterizam estes compartimentos, percebeu-se diferenças internas quando considerada a análise hidrossedimentológica e hidráulica de seção a seção. Assim, ao longo do cinturão de meandros com canal meandrante identificou-se diversidade de padrões de drenagem. Trechos de decréscimo na vazão decorrem de extravasamentos de diques marginais e de canais conectados diretamente ao rio Paraguai que vertem suas águas à planície, enquanto os trechos de acréscimo na descarga refletem diretamente aos aportes provenientes dos principais tributários da região. A dinâmica sedimentar seguiu tendência de variações, registrando processos erosivos e até mesmo deposicionais, no qual a maior potência de canal específica apresentou relevância ímpar.

No cinturão de meandros com canal retilíneo, predominaram trechos com perdas de águas (apesar dessa diminuição ser pequena) e menor intensidade na descarga sólida total, configurando um trecho, em geral, deposicional, fato este ratificado pela maior concentração de ilhas e barras fluviais, o qual constitui um dos pontos críticos para a navegação fluvial no Pantanal, sendo o seu leito constantemente dragado para dar melhores condições de navegabilidade.

Na planície avulsiva de Descalvados e na parte norte da planície fluvio-lacustre de Porto Conceição predominaram processos sedimentares em níveis de até 1.000 toneladas ao dia, sejam estes processos erosivos ou deposicionais, conjuntamente a uma diminuição gradativa da descarga líquida e na potência de canal, alterada somente por mudanças bruscas, como a crevasse que origina o rio Canzi, a qual drena grandes quantidades de águas e sedimentos do canal para a planície.

Em toda a porção central da planície fluvio-lacustre de Porto Conceição identifica-se baixa descarga sólida, baixos índices de energia no canal, a menor concentração sedimentar, e também a menor descarga líquida, além de um efetivo efeito remanso ocasionado pelo gargalo hidráulico representado pela Serra do Amolar. Entretanto, ao fim da planície há uma retomada nos níveis dos processos sedimentares, coincidindo com a retomada na descarga líquida, invertendo completamente a tendência esperada no interior desta planície, impondo assim dúvidas em relação aos limites mais adequados à mesma, tanto nos trechos localizados a norte quanto naqueles localizados a sul.

No cinturão de meandros da Serra do Amolar houve uma ampla relação entre os padrões identificados e aqueles esperados para o compartimento, tais como sistema de drenagem altamente tributário e potência de canal e potência e canal específica elevada, bem como dinâmica da descarga sólida assentada em processos erosivos. Por fim, na planície avulsiva de Corumbá identificou na análise entre as seções o predomínio de drenagem distributária e alto relacionamento canal-planície, denotando a dinâmica ativa entre ambos. O transporte sedimentar mantém-se baseado na descarga líquida, apresentando características que coincidem com àquelas identificadas para o mesmo período (seca) na literatura disponível.

Os arrombados (rompimentos de diques marginais denominado na literatura internacional como *crevasse*) registram-se sobretudo na planície avulsiva de Descalvados, em ambiente de redução gradativa na potência de canal específica e no tamanho das partículas transportadas, com redução dos diques marginais e desconfinamento do rio Paraguai.

Assim, o presente trabalho insere-se no âmbito dos estudos ambientais no Pantanal, contribuindo para uma melhor compreensão da dinâmica hidrossedimentológica do rio Paraguai, sistema tronco da bacia do Pantanal. Oportuniza também, subsídios que podem ser utilizados para o melhor gerenciamento dos recursos hídricos no Pantanal, bem como seu aproveitamento da maneira mais sustentável econômica e ambientalmente. Destaca-se também as contribuições para o entendimento do papel dos principais tributários do rio Paraguai para o sistema, sejam eles canais ou sistemas de leques aluviais, indicando a importância da compreensão de ambos para um melhor entendimento não só da dinâmica fluvial do canal tronco, bem como de toda a bacia pantaneira.

REFERÊNCIAS

- AB'SABER, Aziz Nacib. Brasil: paisagens e exceções: o litoral e o Pantanal Mato-grossense, patrimônios básicos. 3. ed. Cotia-SP: Ateliê Editorial, 2011.
- AB'SÁBER, Aziz Nacib. O Pantanal Mato-Grossense e a teoria dos refúgios. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, v. 50, n. esp., p. 9-57. 1988.
- ALHO, C. J. R. The Pantanal. In FRASER, L. H.; KEDDY, P. A. (Org.). **The World's Largest Wetlands - Ecology and Conservation**. New York, USA: Cambridge University Press, 2005. p. 203-271.
- ALHO, C. J. R.; LACHER, T. E.; GONÇALVES, H. C. Environmental degradation in the Pantanal ecosystem. **Bioscience**, v. 38, n. 3, p. 164-171, mar, 1988.
- ALMEIDA, F.F.M. Geologia do sudoeste Mato-grossense. **Boletim do DNPM/DGM**, v. 116, p. 1-118. 1945.
- ALMEIDA, Fernando Flávio Marques de; NOGUEIRA FILHO, José do Vale. **Reconhecimento Geológico no Rio Aripuanã**. Rio de Janeiro: SERGRAF do IBGE, 1959.
- ALMEIDA, M. A.; DA SILVA, C. J. As comunidades tradicionais pantaneiras da Barra de São Lourenço e Amolar, Pantanal, Brasil. *História e Diversidade*, v.1, p. 10 – 31, 2012.
- ALVARENGA, S. M.; BRASIL, A. E.; PINHEIRO, R.; KUX, H. J. H. Estudo geomorfológico aplicado à Bacia do alto Rio Paraguai e Pantanaís Matogrossenses. Projeto RADAM/ BRASIL, Boletim Técnico, Série Geomorfologia. Salvador, 187. p. 89-183. 1984.
- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE. Sistema de Informações Hidrológicas. Base de dados Hidroweb. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acesso em: Agosto de 2019.
- ASSINE, M. L.; MACEDO, H. A.; STEVAUX, J. C.; BERGIER, I.; PADOVANI, C. R.; SILVA, A. Avulsive Rivers in the Hydrology of the Pantanal Wetland. In: BERGIER, I; ASSINE, M. L (Orgs). **Dynamics of the Pantanal Wetland in South America**. Springer International Publishing Switzerland, 2015a. p 83-110.
- ASSINE, M. L.; MERINO, E. R.; PUPIM, F. N.; MACEDO, H. A.; SANTOS, M. G. M. The Quaternary alluvial systems tract of the Pantanal Basin, Brazil. **Brazilian Journal of Geology**, v. 45, n. 3, p. 475-489, September, 2015b.
- ASSINE, M. L.; SOARES, P. C. Quaternary of the Pantanal, west-central Brazil. **Quaternary International**, v. 114, p. 23-34. 2004.
- ASSINE, Mário Luis. River avulsions on the Taquari megafan, Pantanal wetland, Brazil. **Geomorphology**. v. 70, n. 3-4, p. 357-371, set, 2005.
- ASSINE, M. L. **Sedimentação na bacia do Pantanal Mato-Grossense, Centro-Oeste do Brasil**. 2003. 115 f. Tese (livre-docência) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro-SP.

ASSINE, M. L.; SILVA, A. Contrasting fluvial styles of the Paraguay River in the northwestern border of the Pantanal wetland, Brazil. **Geomorphology**, v. 113, p. 189-199, 2009.

BOTELHO, R. G. M.; Bacias Hidrográficas Urbanas. In: GUERRA, A. J. T. (Org.). **Geomorfologia Urbana**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011. Cap. 3, p. 71-115.

BRAZIL, M. C. Rio Paraguai: o "mar interno" brasileiro. Campo Grande: ed. UFMS, 2014. 366 p.

CÂMARA, G.; DAVIS, C. Introdução. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C. e MONTEIRO, A. M. V. (Ed.). **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2003. p.1-5. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/>.

COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M.; CLARKE, R. T. Further evidence of changes in the hydrological regime of the River Paraguay: part of a wider phenomenon of climate change? **Journal of Hydrology**, v. 245, n. 1-4, p. 218-238, maio, 2001.

COSTA, M. F. História de um país inexistente: o Pantanal entre os séculos XVI e XVIII. São Paulo: estação liberdade: Kosmos, 1999.

ESRI. ArcGIS Desktop: Release 10. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute, 2018.

FLORENZANO, T. G. Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

FONSECA, T. P. L.; Os Efeitos Dos Impactos Ambientais Naturais Nas Comunidades Ribeirinhas Da Barra Do São Lourenço E Paraguai Mirim Na Fronteira Brasil – Bolívia. Dissertação de Mestrado (Estudos Fronteiriços) – UFMS, Corumbá-MS, 2017.

FRASER, Lauchlan. H.; KEDDY, Paul A (Orgs). **The World's Largest Wetlands - Ecology and Conservation**. Cambridge: Cambridge University Press, 2005.

GARCIA, M.L.; BASILE, P.A.; RICCARDI, G.A. Modelación Sedimentológica em sistema cauce-planicie del Río Paraná inferior. In: Simposio Regional sobre Hidráulica de Ríos – Ríos, 6., 6 al 8 de noviembre 2013, Santa Fe, Argentina. Anais... Santa Fe: Universidad Nacional del Litoral, 2013b. p.1-19. CD rom.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. Mapeamento de Recursos Naturais do Brasil. Rio de Janeiro, 2018. Escala: 1:250.000.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. **Manuais Técnicos em Geociências: Manual Técnico de Geomorfologia**. Rio de Janeiro, 2009.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. **Manuais Técnicos em Geociências: Manual Técnico de Pedologia**. Rio de Janeiro, 2007.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Geografia do Brasil – Região Centro-Oeste**. Rio de Janeiro: Diretoria de Divulgação, Centro Editorial, Centro de Serviços Gráficos, 1977.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Divisão de Geração de Imagens. *Catálogo de Imagens*. São José dos Campos-SP, 2019. Disponível em <<http://www.dgi.inpe.br/catalogo/>>. Acesso em: dezembro de 2019.

JUNK, Wolfgang J.; CUNHA, Catia Nunes da; WANTZEN, Karl Matthias; PETERMANN, Peter; STRÜSSMANN, Christine; MARQUES, Marinêz Isaac; ADIS, Joachim. Biodiversity and its conservation in the Pantanal of Mato Grosso, Brazil. **Aquatic Sciences**. v. 68, p. 279-309, 2006.

KUERTEN, Sidney. **Evolução geomorfológica e mudanças ambientais no megaleque do Nabileque, Quaternário do Pantanal Mato-Grossense**. 2010. 111 f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro-SP.

KUERTEN, S.; ASSINE, M. L. rio Paraguai no megaleque do Nabileque, sudoeste do Pantanal Mato-Grossense, MS. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 41, n. 1, p. 642-653, 2011.

LEOPOLD, L.B.; MADDOCK, T. Jr. The hydraulic geometry of stream channels and some physiographic implications. **Geological Survey Professional Paper**, n.252, 1953.

LEPSCH, I. F. **19 Lições de Pedologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

LI, J.; ROY, D. P. A Global Analysis of Sentinel-2A, Sentinel-2B and Landsat-8 Data Revisit Intervals and Implications for Terrestrial Monitoring. **Remote Sensing**, v. 9, n. 902, p. 1-17, 2017.

MACEDO, H. A.; ASSINE, M. L.; SILVA, A.; PUPIM, F. N.; MERINO, E. R.; STEVAUX, J. C. Mudanças paleo-hidrológicas na planície do rio Paraguai, Quaternário do Pantanal. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 15, n. 1, p.75-85, jan-mar, 2014.

MACEDO, H. A.; STEVAUX, J. C.; ASSINE, M. L.; SILVA, A.; PUPIM, F. N. MERINO, E. R.; LO, E. Calculating Bedload Transport In Rivers: Concepts, Calculus Routines And Application. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 18, n. 4, p.813-824, 2017b.

MACEDO, Hudson de Azevedo. **Evolução Geomorfológica e Dinâmica Hidrossedimentar da Planície Fluvial Paraguai-Corumbá, Quaternário do Pantanal**. 2017a. 195 f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro-SP.

MACEDO, Hudson de Azevedo. **Geomorfologia e hidrossedimentologia da planície do Rio Paraguai, da Lagoa Vermelha à confluência do Rio Miranda, Pantanal Mato-Grossense**. 2013. 87 f. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro-SP.

MARCAL, M. S.; LIMA, R. N. S. Abordagens Conceituais Contemporâneas na Geomorfologia Fluvial. **Espaço Aberto**, v. 6, n.1, p. 17-33, 2016.

MCGLUE, M. M.; SILVA A.; ZANI H.; CORRADINI F. A.; PAROLIN, M.; ABEL E. J.; COHEN A. S.; ASSINE M. L.; ELLIS G. S.; TREES M. A.; KUERTEN S.; GRADELLA F. S.; RASBOLD G. G. Lacustrine records of Holocene flood pulse dynamics in the Upper Paraguay River watershed (Pantanal wetlands, Brazil). **Quaternary Research**, v. 78, n. 2, p. 285-294, set, 2012.

MMA. Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. **PCBAP- Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai - Pantanal**. Brasília: PNMA, 1997.

PADOVANI, Carlos Roberto. **Dinâmica Espaço-Temporal das Inundações do Pantanal**. 2010. 175 f. Tese (Doutorado em Ecologia Aplicada) – Escola Superior de Agricultura Luis de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP.

PARANHOS-FILHO, A. C.; MIOTO, C. L.; MACHADO, R.; GONÇALVES, F. V.; RIBEIRO, V. O.; GRIGIO, A. M.; SILVA, N. M. Controle Estrutural da Hidrografia do Pantanal, Brasil. **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ**, v. 40, n. 1, p. 156-170, 2017.

POR, F.D. **The Pantanal of Mato Grosso (Brazil) - World's Largest Wetlands**. Dordrecht, The Netherland: Kluwer Academic Publishers, 1995.

PUPIM, Fabiano do Nascimento. **Geomorfologia e Paleo-Hidrologia dos Megaleques dos rios Cuiabá e São Lourenço, Quaternário da Bacia do Pantanal**. 2014. 122 f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro-SP.

SILVA, Aguinaldo. **Geomorfologia do megaleque do rio Paraguai, Quaternário do Pantanal Mato-Grossense, Centro-Oeste do Brasil**. 2010. 132 f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro-SP.

SILVA, Aguinaldo. **Padrões de Canal do Rio Paraguai na Região de Cáceres-MT**. 2006. 81 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá-PR.

STEVAUX, José Candido; CORRADINI, Fabrício Aníbal; AQUINO, Samia. Connectivity processes and riparian vegetation of the upper Paraná River, Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**. v. 46, p. 113-121, oct, 2013.

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

STEVAUX, José Candido; MACEDO, Hudson de Azevedo; ASSINE, Mário Luis; SILVA, Aguinaldo. Changing fluvial styles and backwater flooding along the UpperParaguay River plains in the Brazilian Pantanal wetland. **Geomorphology**, v. 350, 2019.

TUCCI, C. E. M. Some scientific challenges in the development of South America's water resources. **Hydrological Sciences Journal**, v. 46, n. 6, p. 937-946, 2001.

TUCCI, C. E. M.; CLARKE, R. T. Environmental issue of La Plata Basin. **International Journal of Water Resources Development**, v. 14, n. 2 p. 157-173, 1998.

UAF. University of Alaska Fairbanks. Alaska Satellite Facility's. Data Portal Vertex. College, Alaska. 2019. Disponível em <<https://vertex-retired.daac.asf.alaska.edu/>>. Acesso em: dezembro de 2019.

USGS. United States Geological Survey. Earth Explorer. Reston, Virginia. 2019a. Disponível em: <<https://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: dezembro de 2019.

USGS. United States Geological Survey. USGS EROS Archive - Sentinel-2. Reston, Virginia. 2019b. Disponível em: <https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-sentinel-2?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects>. Acesso em: dezembro de 2019.

USSAMI, Naomi; SHIRAIWA, Shozo; DOMINGUEZ, José Maria Landim. Basement reactivation in a sub-Andean foreland flexural bulge: The Pantanal wetland, SW Brazil. **Tectonics**. v. 18, n. 1, p. 25-39, feb, 1999.

VAN RIJN, L. C. Sediment transport, part I: bed load transport. **Journal of Hydraulic Engineering**. V. 110, n. 10, 1984, p. 1431-1456.

WOLMAN, M.G.; MILLER, J.P. Magnitude and frequency of forces in geomorphic processes. **Journal of Geology**. v.68, n.1, p.54-74, 1960.