
Caracterização e dinâmica das unidades hidrogeomorfológicas do Pantanal do rio Pandeiros, Minas Gerais, Brasil

Diego Alves de Oliveira¹, Cristina Helena Ribeiro Rocha Augustin², Arnon Costa Pereira de Lima³

Resumo

As áreas úmidas desempenham papel estratégico no desenvolvimento sustentável e na manutenção dos ecossistemas. No Norte de Minas Gerais, o Pantanal do rio Pandeiros é exemplo das pequenas áreas úmidas continentais, sujeitas à inundação temporária que possui enorme relevância para a bacia do rio São Francisco. O objetivo deste trabalho é analisar as dinâmicas entre o relevo e os processos hidrogeomorfológicos que ocorrem no Pantanal do rio Pandeiros a partir do uso de dados de sensoriamento remoto, principalmente durante os períodos de inundação. Foram utilizadas imagens *ALOS-PALSAR* e *Landsat* desde a década de 1980, para monitoramento dos pulsos de inundação que ocorreram na área e imagens disponíveis no *software Google Earth* foram empregadas para análises em escala de detalhe. No período de 2015 a 2019 ocorreram trabalhos de campo. Os resultados permitiram a caracterização da zona de inundação do Pantanal do rio Pandeiros, a compreensão do sistema de drenagem, seu perfil longitudinal e a consequente dinâmica hidrogeomorfológica que é influenciada, principalmente, pelo rio São Francisco para que as inundações possam ocorrer. Por fim, ressalta-se os efeitos desta dinâmica sobre a cobertura vegetal, retenção de sedimentos e dinâmica de avulsão de canais, que tornam esta área úmida muito ativa.

Palavras chave: Áreas úmidas. Geomorfologia. Pantanal Mineiro. Rio São Francisco.

Abstract

Wetlands play a strategic role in sustainable development and ecosystem maintenance. In the North of Minas Gerais, the Pantanal of the Pandeiros River (PRP) is an example of these small continental wetlands, subject to temporary flooding, which has enormous relevance for the São Francisco River basin. The objective of this work is to analyse the dynamics between the relief and the hydrogeomorphological processes that occur in the PRP using remote sensing techniques, covering mainly the periods of flooding. *ALOS-PALSAR* and *Landsat* sensors TM and OLI data in time scale since the 1980s were used to monitor the flood pulses that occurred in the area. Fieldwork and image analysis available in the *Google Earth* software was also carried out. The results allowed the detailed characterization of the wetland's flood zone, the understanding of the drainage system and of its longitudinal profile, as well as the consequent hydrogeomorphological dynamics, that is mainly influenced by the São Francisco River allowing that floods can occur. Finally, the effects of these dynamics on vegetation cover, sediment retention, and channel avulsion dynamics are highlighted, which make this wetland very active.

Keywords: Wetlands. Geomorphology. Pantanal Mineiro. São Francisco River.

¹Doutor em Geografia. Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Minas Gerais e Professor do Instituto Federal de Minas Gerais. (diego.oliveira@ifmg.edu.br).

²Doutora em Geografia. Professora do Programa de Pós-Graduação em Geografia do Departamento de Geografia da Universidade Federal de Minas Gerais. (chaugustin@hotmail.com).

³Mestre em Geologia. Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal de Minas Gerais. (arnonbhm@gmail.com)



Introdução

As áreas úmidas são caracterizadas por apresentar impedimento de drenagem, gerando hidromorfia, podendo ser inundadas permanente ou temporariamente, levando ao desenvolvimento de configurações ecossistêmicas e geomorfológicas peculiares. Elas constituem importantes zonas da Terra por sua atuação estratégica na manutenção de ecossistemas, constituindo zonas tampão, que retêm não somente sedimentos, retardando o assoreamento de canais fluviais, como também matéria orgânica, armazenando CO₂ e contribuindo para a redução de gases de efeito estufa (MITSCH; GOSSELINK, 2007).

Estima-se que aproximadamente 20% do território brasileiro pode ser considerado como área úmida (JUNK *et al.*, 2014). Elas possuem variação de tamanho e tipologias, em função do total anual e frequência de chuvas, da altitude e do relevo plano (CUNHA; PIEDADE; JUNK, 2015; JUNK *et al.*, 2014). Em razão da sua importância, estas devem ser protegidas, segundo norma de direito internacional, a partir da Convenção de Ramsar, em 1971 (BRASIL, 1996).

No Brasil a Convenção de Ramsar foi ratificada no ano de 1993, não tendo sido ainda totalmente implementada no país. Segundo Hu *et al.* (2017), tem sido detectada uma perda global e acelerada dessas áreas, consideradas ambientes formados por um complexo biológico, hidrológico e geomorfológico, em estado de complexo equilíbrio (ACREMAN; HOLDEN, 2013).

Na bacia hidrográfica do rio São Francisco, segundo Junk *et al.* (2014), existem inúmeras áreas úmidas de pequena extensão, como as

veredas e as lagoas marginais, nas quais, nos últimos 50 anos, tem ocorrido intensa conversão de uso da terra para a agricultura moderna, sendo este processo recorrente em escala planetária, acarretando a perda cumulativa destas áreas úmidas (MITSCH; GOSSELINK, 2007; TOOTH, 2018).

Na bacia do rio São Francisco, a redução das áreas úmidas pode estar associada a uma combinação de fatores (NEVES, 2011). A associação entre a mudança de uso e ocupação da terra, a fragilidade natural das áreas e a intensa ocorrência de processos erosivos verificada em algumas áreas do Cerrado, geram muitos impactos ambientais negativos nas áreas úmidas. Isso acontece em razão do entulhamento dos fundos de vale, a redução da infiltração e da vazão, com reflexos sobre o aumento do escoamento superficial (AUGUSTIN; MELO; ARANHA, 2009).

A bacia do rio Pandeiros, que é um dos principais afluentes perenes do rio São Francisco segundo Pereira *et al.* (2007), vem sofrendo intenso assoreamento, gerando mudanças ambientais ao longo dos fundos de vale, em especial na área do Pantanal do rio Pandeiros (AUGUSTIN; MELO; ARANHA, 2009; NEVES, 2011). Além dos fatores já mencionados, também contribui para essa situação o desmatamento oriundo da produção de carvão vegetal, de acordo com Bethonico (2009), que provoca redução da densidade da cobertura vegetal a longo prazo, expondo a superfície, favorecendo a aceleração de processos erosivos (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2017; BORGES, 2004). Por outro lado, a queima de madeira, oriunda do desmatamento, leva a liberação de CO₂ para a atmosfera, contribuindo para o aumento de gases de efeito estufa (BETHONICO, 2009).

A bacia do rio Pandeiros já apresenta várias fragilidades ambientais existentes como grandes extensões de erosão hídrica acelerada, como na escarpa de dissecação da Chapada Gaúcha. Estas áreas já haviam sido identificadas desde a década de 1980, mostrando intenso assoreamento no canal do rio Pandeiros, incluindo a presença de cones de dejeção em voçorocas sobre terraços fluviais (CETEC, 1981).

Ainda nesta bacia, há uma das pequenas áreas úmidas existentes no Brasil, que é conhecida como Pantanal Mineiro ou Pantanal do rio Pandeiros (PRP). Embora a palavra pantanal tenha origem em pântano, não se trata de uma área úmida permanentemente inundada, mas que somente fica nesta condição durante os pulsos de inundação, conforme Junk; Bayley; Sparks (1989), apresentando configurações hidrológicas diferentes a cada ano e com diversos compartimentos hidrogeomorfológicos, semelhante ao Pantanal Mato-Grossense (ASSINE, 2003).

O Pantanal do rio Pandeiros é uma área úmida tropical, marcada pela sazonalidade entre as estações úmida e seca, de clima quente. Por estar localizada no interior da América do Sul, sua principal fonte de umidade é a água proveniente das precipitações concentradas em curto período que se distribuem na bacia do rio São Francisco e na do rio Pandeiros, que está situada à montante do Pantanal do rio Pandeiros (JUNK *et al.*, 2014). Estes episódios meteorológicos são conhecidos como monções, podendo ser a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e a Zona de Convergência de Umidade (ZCOU) (JARA; MALDONADO; PORRAS, 2020; RUDDIMAN, 2015). Estes fenômenos meteorológicos são

responsáveis pelo aumento do nível e vazão dos rios São Francisco e Pandeiros, gerando os pulsos de inundação, segundo Junk; Bayley; Sparks (1989), responsáveis pelas inundações da planície do Pantanal do rio Pandeiros (OLIVEIRA, 2019).

Como em várias áreas úmidas com inundações temporárias, o Pantanal do rio Pandeiros possui caráter policíclico, segundo Junk *et al.* (2014), ou seja, podem ocorrer várias vezes ao longo do período úmido que começa em outubro e vai até março, apresentando diferentes períodos de duração, variando entre dias até meses, e que, dependendo das características do volume de água e do relevo do Pantanal do rio Pandeiros, apresenta diferentes magnitudes a cada episódio (OLIVEIRA, 2019).

Outro fator antrópico que potencializou a ocorrência de impactos ambientais no Pantanal do rio Pandeiros foi a construção, em 1957, de uma Pequena Central Hidrelétrica (PCH) à montante do Pantanal do rio Pandeiros, no rio Pandeiros (FONSECA *et al.*, 2008). Segundo esses autores, uma grande carga de sedimentos é transportada até o reservatório onde era depositada e, juntamente com a água, constantemente liberada atingindo a área do Pantanal do rio Pandeiros (BETHONICO, 2009; FONSECA *et al.*, 2008). Existem relatos de que até a década de 1980, os cursos d'água, lagos permanentes e lagoas temporárias existentes no Pantanal do rio Pandeiros eram mais profundos do que atualmente, quando se encontram repletos de bancos de areia, reduzindo a profundidade dos canais de drenagem e assoreando a área úmida (BETHONICO, 2009; NUNES *et al.*, 2009).

O Pantanal do rio Pandeiros é um ambiente singular no estado de Minas Gerais e



exerce importante papel como habitat para a reprodução da ictiofauna no trecho médio do rio São Francisco entre as usinas hidrelétricas de Três Marias e Sobradinho (BETHONICO, 2009). Por isso, esta área é protegida pela legislação estadual na forma de Unidade de Conservação de proteção integral na modalidade de refúgio de vida silvestre, instituída pelo Decreto Estadual 43.910 de 2004 (MINAS GERAIS, 2004; NUNES *et al.*, 2009).

Em função da importância desta e de outras áreas úmidas, há uma urgência para que pesquisas sejam realizadas no sentido de ampliar o entendimento de sua dinâmica e recuperação. Como representam ecossistemas de profunda interação entre a biosfera, a atmosfera, a litosfera e a hidrosfera, a pesquisa destes ambientes pode ser realizada sob a abordagem da Hidrogeomorfologia, uma vez que esta exige a integração de várias técnicas, provenientes de diversas áreas de conhecimento. Esta tarefa tem sido facilitada pelo uso de novas tecnologias que permitem avanço no processamento de dados espaciais no âmbito da pesquisa geomorfológica (VILES, 2016).

A Hidrogeomorfologia consiste no estudo dos padrões de relevo em análise integrada da dinâmica fluvial nas bacias hidrográficas os quais podem ser estudados sob a perspectiva dos processos hidrogeomorfológicos (GOERL; KOBAYAMA; SANTOS, 2012; SCHEIDEGGER, 1973). Partindo desta compreensão, Gomes (2017) e Gomes e Magalhães Júnior (2018) contribuíram com a aplicação da classificação hidrogeomorfológica internacional aplicada nas áreas úmidas de Minas Gerais, propondo que o Pantanal do rio Pandeiros seja classificado a partir de parâmetros hidrogeomorfológicos (HGM) de Planícies Inundáveis.

Da mesma maneira, Lisenby; Tooth e Ralph (2019) ressaltam a importância dos processos geomorfológicos que ocorrem nas áreas úmidas, como essenciais para a sua manutenção e gestão (MELO *et al.*, 2005). A área do Pantanal do rio Pandeiros ainda não apresenta muitas investigações sob a abordagem da Hidrogeomorfologia, à exceção dos trabalhos em escala estadual de Gomes (2017) e em escala local de Oliveira (2019).

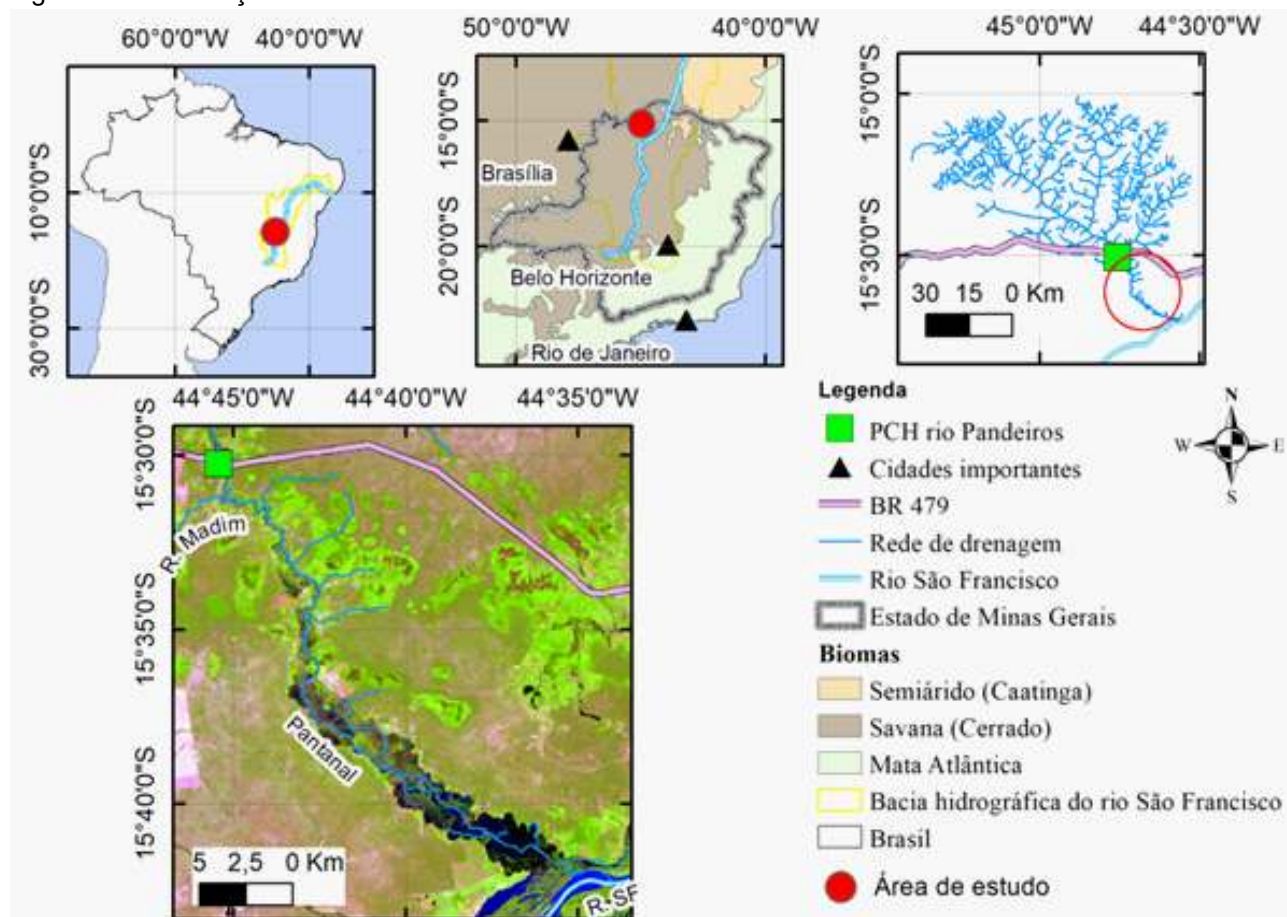
O objetivo deste trabalho é analisar a dinâmica entre o relevo e os processos hidrogeomorfológicos que ocorrem no Pantanal do rio Pandeiros, a partir do uso de técnicas de sensoriamento remoto, principalmente, durante os períodos de inundação.

Materiais e Métodos

Características da área de estudo

A bacia hidrográfica do rio Pandeiros está localizada na margem esquerda do rio São Francisco e a localização da área do Pantanal do rio Pandeiros encontra-se entre o cruzamento da BR 479 com o rio Pandeiros até sua foz no rio São Francisco, abrangendo as coordenadas de 15° 29' 44" S e 44° 45' 32" W até 15° 42' 33" S e 44° 34' 47" W (FIGURA 1). Esta foz é composta, na área do pantanal do rio Pandeiros, por um canal perene do rio Pandeiros que deságua diretamente no rio São Francisco. Além dele, há outros canais não específicos, que se tornam ativos conforme a dinâmica das cheias alimentando as lagoas marginais do rio São Francisco na sua margem esquerda em direção a cidade de Januária.

Figura 1 – Localização da área de estudo



Legenda: 1º) mapa à esquerda, em relação ao Brasil e a bacia do rio São Francisco.
 2º) mapa ao centro, em relação ao estado de Minas Gerais e a delimitação dos biomas pelo IBGE.
 3º) mapa à direita, em relação a bacia do rio Pandeiros.
 4º) mapa, em detalhe, a localização por imagem do satélite Landsat5, sensor TM, composição R5G4B3, de 26 de janeiro de 1986, durante inundações do Pantanal do rio Pandeiros.

Fonte: IBGE BIOMAS, 2023; OLIVEIRA, 2019.

A área do Pantanal do rio Pandeiros pode ser considerada como o espaço formado pelas vertentes do entorno do Pantanal do rio Pandeiros e a planície de inundações do rio Pandeiros, esta última, constituída pelos canais de drenagem ativos e/ou abandonados, lagoas permanentes ou temporárias. A área do Pantanal do rio Pandeiros como um todo é drenada durante a maior parte do ano. Eventualmente fica inundada no período chuvoso, quando chega a abranger aproximadamente 40,85 km², podendo ser considerada também parte da planície de inundações do rio São

Francisco, como mostrado em detalhe na Figura 1 (OLIVEIRA, 2019).

As coberturas geológicas existentes na área do Pantanal do rio Pandeiros são formadas por rochas Neoproterozoicas (Grupo Bambuí) e Cretáceas (Grupo Urucuaia), juntamente com depósitos Cenozoicos, em especial os do Quaternário (IGLESIAS; UHLEIN, 2009). Segundo os mapeamentos geológicos realizados por Companhia de Desenvolvimento de Minas Gerais (CODEMIG) e Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), as rochas do Grupo Bambuí, são representadas pela



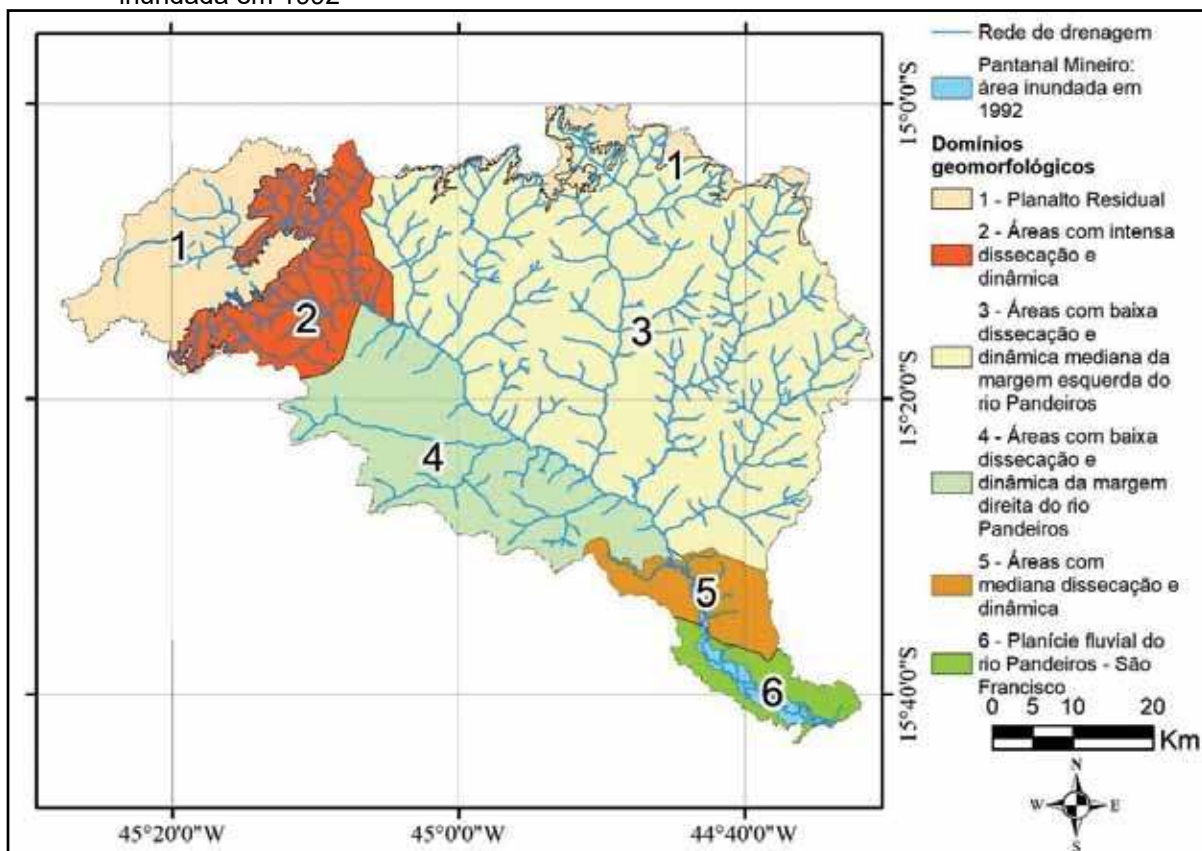
Formação Sete Lagoas, compostas principalmente por calcarenitos, calcilutitos e raros ritmitossílticos. A base do Grupo Urucuaia é representada pela Formação Posse, na qual predominam arenitos finos. Já as coberturas do Neógeno são formadas por areias e cascalhos, provenientes de depósitos aluvionares e por coberturas elúvio-coluvionais ou detrítico-lateríticas (CODEMIG; UFMG, 2015).

As vertentes que margeiam o pantanal do rio Pandeiros, caracterizado pela planície de inundação, são predominantemente drenadas ao longo do ano e tem como cobertura vegetal natural uma transição entre a savana brasileira (Cerrado *sensu lato*) e o semiárido (Caatinga) (BICHO DO MATO MEIO AMBIENTE, 2019; SALES *et al.*, 2009). Considerando que a dinâmica espacial e temporal dos limi-

tes dos biomas podem variar, o Pantanal do rio Pandeiros encontra-se em uma área de transição do clima tropical úmido-seco para o tropical semiárido (AYOADE, 2004). Nas áreas drenadas, predominam as formações savânicas e campestres do Cerrado (SALES *et al.*, 2009).

Conforme o Mapa 1, que apresenta o mapeamento geomorfológico da bacia do rio Pandeiros realizado por Oliveira, Augustin e Fonseca (2017), o Pantanal do rio Pandeiros está localizado entre dois domínios: parcialmente no domínio geomorfológico de áreas com dissecação e dinâmica medianas (Domínio 5) e inteiramente no Domínio Geomorfológico da Planície Fluvial do rio Pandeiros - São Francisco (Domínio 6).

Mapa 1 – Domínios Geomorfológicos da bacia do rio Pandeiros e área do Pantanal do rio Pandeiros inundada em 1992



Fonte: OLIVEIRA; AUGUSTIN; FONSECA, 2017.

Como elemento importante para a caracterização e entendimento da dinâmica hidrogeomorfológica do Pantanal do rio Pandeiros, esta área foi classificada em quatro unidades hidrogeomorfológicas a partir de suas diferentes características de relevo: P1, P2, P3 e P4 (OLIVEIRA, 2019; OLIVEIRA; AUGUSTIN; LIMA, 2019). Para isso, foram utilizados dados de altitude, litologia, e largura

média da planície de inundação da montante até a jusante. Esta foi determinada a partir da elaboração de perfis topográficos na direção leste – oeste, identificando o limite entre a vertente e planície de inundação por meio da presença de rupturas de declive (OLIVEIRA, 2019; OLIVEIRA; AUGUSTIN; LIMA, 2019). Na Tabela 1 estão sintetizadas as características das unidades hidrogeomorfológicas.

Tabela 1 – Principais atributos das unidades geomorfológicas do Pantanal do rio Pandeiros

Unidade hidrogeomorfológica	Altitude média (m)	Largura média da planície de inundação (km)
Unidade P1	450	1
Unidade P2	445	2
Unidade P3	445 - 440	2,5
Unidade P4	460 - 443	1

Fonte: OLIVEIRA; AUGUSTIN; LIMA, 2019.

Coleta e análise de dados

A caracterização da área partiu dos trabalhos e dados já produzidos (OLIVEIRA, 2019; OLIVEIRA; AUGUSTIN; FONSECA, 2017; OLIVEIRA; AUGUSTIN; LIMA, 2019). Para realizar a caracterização geomorfológica, foi utilizado o Modelo Digital de Elevação (DEM) do satélite *Advanced Land Observing Satellite* (ALOS) e do sensor *Phased Array Type L-band Synthetic Aperture Radar* (PAL-SAR) que constituem imagens de radar de alta resolução espacial e altimétrica de 12,5 metros.

As cenas adquiridas foram reunidas em mosaico no *software* IDRISI, sendo esta base de dados posteriormente processada no *software* QGIS utilizando o algoritmo do Grass

r.watershed. Em seguida foram mapeadas as rupturas de declive por meio do mapa de *slope length and steepness (LS)* fator for the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE; CHAVES, 2010; WELTZ; RENARD; SIMANTON, 1987).

Com o uso do complemento *qProf* para o *software* QGIS foi confeccionado o perfil longitudinal, tendo os dados de distância e altitude sido exportados para o *software* Excel e ilustrados no *software* Inkscape.

A análise da dinâmica hidrogeomorfológica foi realizada por meio de técnicas de processamento digital de imagens de sensoriamento remoto, com o uso de cenas do satélite Landsat 5, sensor TM, adquiridas logo após os principais pulsos de inundação que ocorreram no PRP desde a década



da de 1980. Foram produzidas no *software* IDRISI imagens com a composição falsa cor R5G4B3 para os anos de 1984, 1986, 1992 e 2007 e Landsat 8, sensor OLI, composição falsa cor R7G5B4 para os anos de 2015 e 2019. As imagens foram georreferenciadas, realçadas, recortadas e analisadas por meio de interpretação visual, visando identificar a área inundada, a presença de sedimentos e vegetação (ROSA, 2007).

Também foram realizados trabalhos de campo na área do Pantanal do rio Pandeiros, ao longo de 2015 e 2019, as áreas drenadas foram percorridas com veículo e caminhada. Ao longo do curso do rio Pandeiros foi realizada navegação em barco, incluindo a planície inundada durante os pulsos de inundação, para verificação e convalidação das informações.

Por fim, foram também utilizadas imagens de satélite disponíveis no *software Google Earth*, com diferentes datas, de acordo com a disponibilidade, visando identificar e mapear, por meio de interpretação visual, conforme Rosa (2007) e pontos de avulsão, conforme Assine (2003) e Assine *et al.* (2005), que ocorreram no Pantanal do rio Pandeiros. A confecção das imagens foi realizada no *software* Inkscape.

A avulsão é reconhecida quando o canal fluvial muda bruscamente de posição, a partir do rompimento dos diques marginais, onde surgem novos canais em direção às áreas mais baixas, que são as lagoas que passam a receber as águas e os sedimentos do rio. Quando o processo é concluído, ocorre o

abandono do antigo canal (ASSINE, 2003; ASSINE *et al.*, 2005).

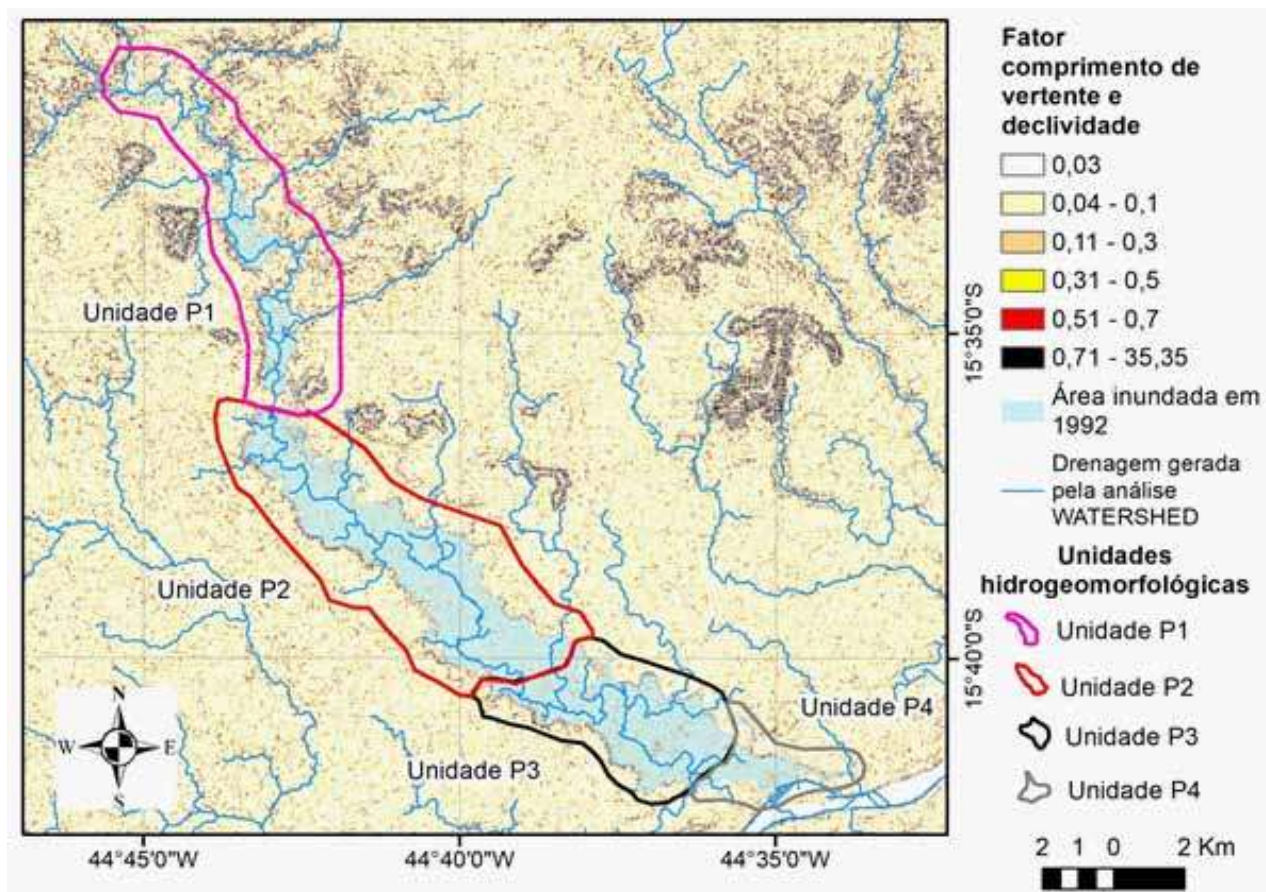
Resultados e Discussões

Caracterização geomorfológica do Pantanal do rio Pandeiros e delimitações espaciais da zona de inundação

As características e a dinâmica da área do Pantanal do rio Pandeiros referem-se, neste trabalho, às porções sujeitas à inundação. A delimitação da área do Pantanal do rio Pandeiros pode ser realizada a partir dos dados de sensoriamento remoto, seja por meio de imagens de radar, com a aplicação de Modelo Digital de Elevação (DEM) ou com o monitoramento da superfície, uma vez que a discriminação do limite entre as áreas mais e menos drenadas também ocorre por meio da visualização da distribuição espacial das geocoberturas e da vegetação, como proposto por Oliveira (2019) e Oliveira; Augustin e Lima (2019) delimitando as unidades hidrogeomorfológicas (P1, P2, P3 e P4) do Pantanal do rio Pandeiros.

A transição entre as vertentes predominantemente drenadas e a planície de inundação é marcada, em grande parte do perímetro do Pantanal do rio Pandeiros, pela presença de fortes rupturas de declive, conforme pode ser visualizado no mapa 2 nas áreas onde os valores do fator LS são superiores a 0,51 até 35,35, que circundam a área sujeita a inundação, conforme a mancha registrada para o ano de 1992.

Mapa 2 – Transição entre vertentes drenadas e planície de inundação



Fonte: OLIVEIRA, 2019.

Nota: O fator comprimento de vertente e declividade (Slope length and steepness LS factor - LS) para a Equação Revisada de Perda de Solos (RUSLE) mostrando rupturas de declive nas margens do Pantanal do rio Pandeiros e as unidades hidrogeomorfológicas do Pantanal do rio Pandeiros.

O fator comprimento de vertente e declividade (*Slope length and steepness LS factor* - LS) para a Equação Revisada de Perda de Solos (RUSLE), calculado a partir do comprimento da vertente e da declividade desta, conforme Weltz; Renard; Simanton, (1987), evidencia uma feição que, apesar de muito sutil no relevo do Pantanal do rio Pandeiros, marca o limite, a partir do valor de 0,51, entre as áreas permanentemente drenadas e as temporariamente inundadas. Elas são mais proeminentes na margem direita do Pantanal do rio Pandeiros, apesar de existirem de modo mais discreto na margem esquerda (MAPA 2).

Estas rupturas de declividade são importantes, pois condicionam e delimitam a dinâmica dos processos hidrogeomorfológicos que ocorrem na porção topograficamente mais baixa do Pantanal do rio Pandeiros, sujeita a inundação. É interessante notar que, quando submetida à inundação, independentemente da magnitude, ela não mostra grande variação de largura, ou seja, de expansão lateral no sentido leste – oeste (OLIVEIRA; AUGUSTIN; LIMA, 2019). As principais variações durante as inundações do PRP são longitudinais, no sentido sul – norte, formando diferentes profundidades da lâmina d'água, mas sempre confinadas por estas rupturas de declive, con-



figurando, assim, uma depressão inundável (MAPA 2).

Apesar de haver atualmente um canal permanente definido para a descarga do rio Pandeiros no rio São Francisco, existem outros canais e meandros, que são ativados durante as inundações de grande intensidade (OLIVEIRA, 2019). Estes canais temporários alimentam as lagoas marginais do rio São Francisco e ficam em sua maioria drenados durante a estação seca, compondo a unidade hidrogeomorfológica P4, Mapa 2, do Pantanal do rio Pandeiros (OLIVEIRA, 2019).

Na Fotografia 1, pode ser observado que, durante os episódios de inundação do Pantanal do rio Pandeiros, a depender da altura do nível do rio São Francisco, sua discriminação no conjunto do sistema de diques marginais torna-se difícil, embora seja possível distinguir alguns canais de drenagem estreitos, com forte incisão, durante o período seco, mesmo que recobertos por uma densa cobertura vegetal, nas atividades de trabalho de campo.

Fotografia 1 – Canais de drenagem na unidade hidrogeomorfológica P4 do pantanal do rio Pandeiros, estreitos e com densa vegetação



Legenda: A) Saída da Lagoa do Saputá

B) Lagoa marginal do rio São Francisco, na foz do PRP

Fonte: Elaborado pelos autores, 2022.

Durante os pulsos de inundação de grande intensidade, de acordo com Oliveira (2019), as águas do rio Pandeiros tendem a se espalhar por vários outros canais, lagoas e meandros do sistema de lagoas marginais, o que torna complexa a dinâmica hidrológica da foz do rio Pandeiros e inundação do rio São Francisco.

Como exemplo da presença destes canais, que são estreitos e com forte incisão nos

diques marginais do rio São Francisco, os dados do Modelo Digital de Elevação com a resolução de 12,5 m não foram suficientes para determinar, via uso do algoritmo *r.watershed*, o atual canal de drenagem que conecta a foz do rio Pandeiros ao rio São Francisco, como pode ser visualizado no Mapa 2. O resultado da análise revelou ainda uma divisão do canal do rio Pandeiros em outros 3 canais neste tre-

cho, reforçando sua morfologia configurando uma depressão.

Sem a presença de um canal de drenagem bem definido para drenar o Pantanal do rio Pandeiros, esta área poderia se tornar uma espécie de lagoa, devido às rupturas de declive que margeiam o Pantanal do rio Pandeiros até os diques marginais, que circundam sua foz, atuando como barragens.

A Drenagem do Pantanal do rio Pandeiros

Outra característica do Pantanal do rio Pandeiros é a baixa densidade de afluentes em sua margem direita, como pode ser observado ainda no Mapa 2. A montante do Pantanal do rio Pandeiros ocorre apenas o Riacho Mandim, que é um afluente temporário do rio Pandeiros. Já na margem esquerda, há vários pequenos afluentes, também temporários, sendo que a maior parte, em especial os quatro canais ao norte, Mapa 2, encontram-se localizados em áreas de maior amplitude topográfica, tendo em suas nascentes, sistemas de várias voçorocas, o mesmo ocorrendo com as nascentes do rio Mandim, conforme (LIMA, 2019; LIMA; AUGUSTIN; OLIVEIRA, 2019).

Todos os afluentes do rio Pandeiros, na região do Pantanal do rio Pandeiros, estão localizados nos domínios das rochas da Formação Sete Lagoas, do Grupo Bambuí. Isso indica se tratar de uma área suscetível à formação de canais de drenagem que podem ser afetados pelas condições de circulação da água subterrânea, típica de áreas cársticas (AUGUSTIN *et al.*, 2020).

Após a realização dos trabalhos de campo realizados para este estudo, infere-se que a

escassez de canais de drenagem próximo do canal do rio São Francisco, pode ser causada em razão do substrato que é composto pelos depósitos aluvionares areníticos, muito permeáveis, sobrepostos às rochas carbonáticas, favorecendo a infiltração do escoamento superficial para o nível freático.

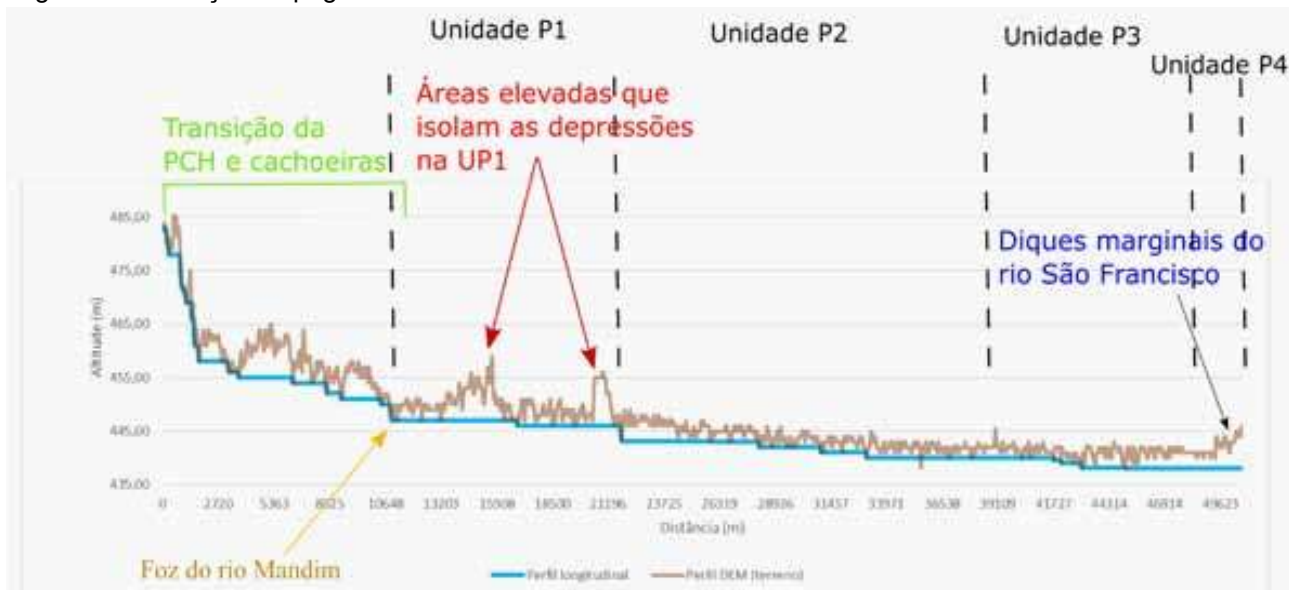
O perfil longitudinal do rio Pandeiros na área do Pantanal do rio Pandeiros

Na área do Pantanal do rio Pandeiros são conhecidas a presença de várias cachoeiras. Elas constituem rupturas de declive no canal de drenagem do rio Pandeiros, e marcam o início da zona de inundação que ocorre na foz do Riacho Mandim. A partir daí o rio tende a manter um perfil de 445 m até próximo a 435 m, com inclinação constante. Na figura 2 é apresentado o perfil longitudinal do baixo curso do rio Pandeiros, com início no lago da PCH até sua foz, no encontro com o rio São Francisco.

Conforme a delimitação das unidades hidrogeomorfológicas propostas por Oliveira, Augustin e Lima (2019), aproximadamente à 13 km a partir do início do perfil e, novamente, próximo à 21 km, na unidade hidrogeomorfológica P1, Mapa 2, ocorrem algumas elevações topográficas associadas aos afloramentos de calcário, conforme verificado em trabalho de campo e descritos por Augustin *et al.* (2020) e Oliveira (2019), cercadas por depressões, semelhantes a dolinas e mesmo uvalas, ou planícies semi circundantes do tipo polje, conforme Guerra e Guerra(2018), com elevação entre 455 e 468 m (FIGURA 2).



Figura 2 – Elevações topográficas associadas aos afloramentos e calcário



Fonte: OLIVEIRA, 2019.

Nota: Perfil longitudinal (dados do Modelo Digital de Elevação Digital - DEM) do baixo curso do rio Pandeiros, com início na barragem da PCH até a foz no rio São Francisco, indicando a extensão e limites das 4 unidades hidrogeomorfológicas do pantanal do rio Pandeiros (Unidades P1, P2, P3 e P4).

Na unidade hidrogeomorfológica P3, cuja delimitação pode ser observada no Mapa 2, verifica-se a partir dos 41 km a existência de uma sutil depressão no perfil longitudinal do rio Pandeiros, conforme pode ser verificado na Figura 2, Oliveira; Augustin e Lima (2019), representativa de P3. Nesta unidade hidrogeomorfológica, há maior quantidade de lagoas extensas e que correspondem àquelas topograficamente mais baixas (de depressão), evidenciando a suscetibilidade desta área às inundações do rio São Francisco, Oliveira (2019), indicando também que deve haver atenção especial por parte do poder público e da coletividade para que estas não sejam assoreadas pelos sedimentos oriundos do alto curso da bacia do rio Pandeiros e também aqueles depositados na área da PCH, que no ano de 2023 está assoreada.

Na foz do rio Pandeiros, próximo a 49 km do início do Pantanal do rio Pandeiros, a

topografia volta a ficar mais elevada, o que foi verificado pelo perfil longitudinal do rio Pandeiros, Figura 2, caracterizando a unidade hidrogeomorfológica P4, segundo Oliveira; Augustin e Lima (2019), conforme pôde ser verificado após a realização dos trabalhos de campo, é onde ocorrem os diques marginais do rio São Francisco e o sistema de lagoas marginais do rio São Francisco, demonstrando que o canal do rio Pandeiros se encontra muito encaixado (FOTOGRAFIA 1).

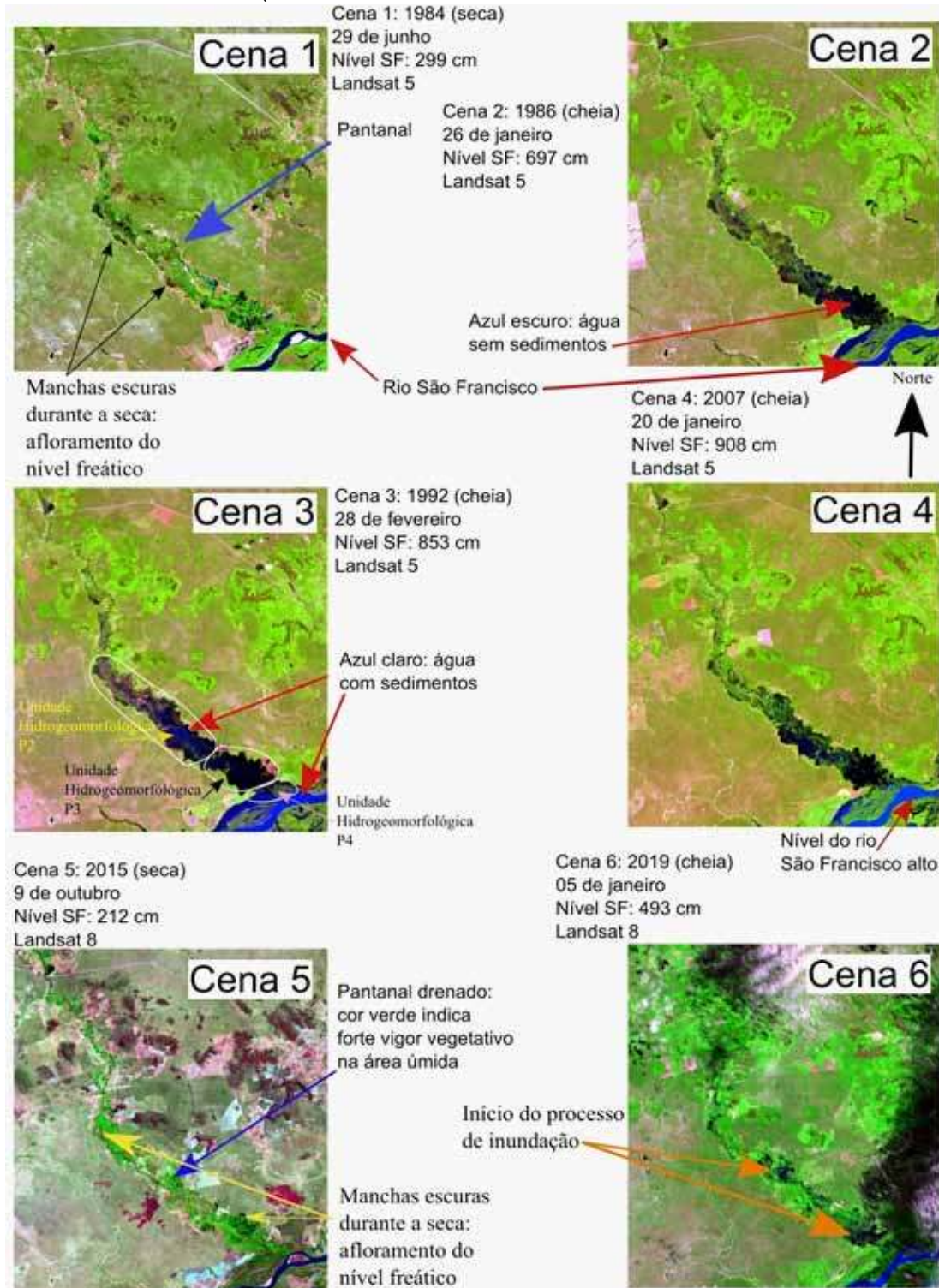
Dinâmica hidrogeomorfológica do Pantanal do rio Pandeiros

A área do Pantanal do rio Pandeiros possui dinâmica hidrogeomorfológica e morfológica muito intensas em função da sua proximidade com o rio São Francisco e pelo fato de constituir o ponto de convergência de todas as águas superficiais, incluindo fluviais

e subsuperficiais, da bacia do rio Pandeiros. A série temporal de imagens do satélite Landsat 5 e Landsat 8, Figura 3, mostra como a

paisagem pode mudar em decorrência do ciclo hidrológico seco ou úmido, principalmente, durante os períodos de inundação.

Figura 3 – Comparação temporal entre períodos de inundação e seca na área do Pantanal do rio Pandeiros (1984 e 2019)



Fonte: OLIVEIRA, 2019.

Nota: Imagens do satélite Landsat 5, sensor TM, e Landsat 8, sensor OLI. O “Nível SF” representa o valor do nível do rio São Francisco, na estação fluviométrica 44200000 na data indicada.



A paisagem alterada pela ocorrência dos pulsos de inundação, bem como a dinâmica hidrogeomorfológica pode ser observada através das cenas da Figura 3, captadas por imagens de satélite nas quais as Cenas 2, 3, 4 e 6 mostram a área inundada do Pantanal do rio Pandeiros. As Cenas 3 e 4 correspondem ao Pantanal do rio Pandeiros durante o nível mais alto do rio São Francisco, identificado por imagens de satélite disponíveis desta área durante a ocorrência dos pulsos de inundação. A Cena 3 é do dia 28 de fevereiro de 1992, quando foi registrado o nível do rio São Francisco com 853 cm na estação fluviométrica da Agência Nacional das Águas (ANA) de código 44200000. Já a Cena 4 mostra o Pantanal do rio Pandeiros inundado no dia 20 de janeiro de 2007, quando a cota do rio São Francisco na estação fluviométrica 44200000 estava em 908 cm.

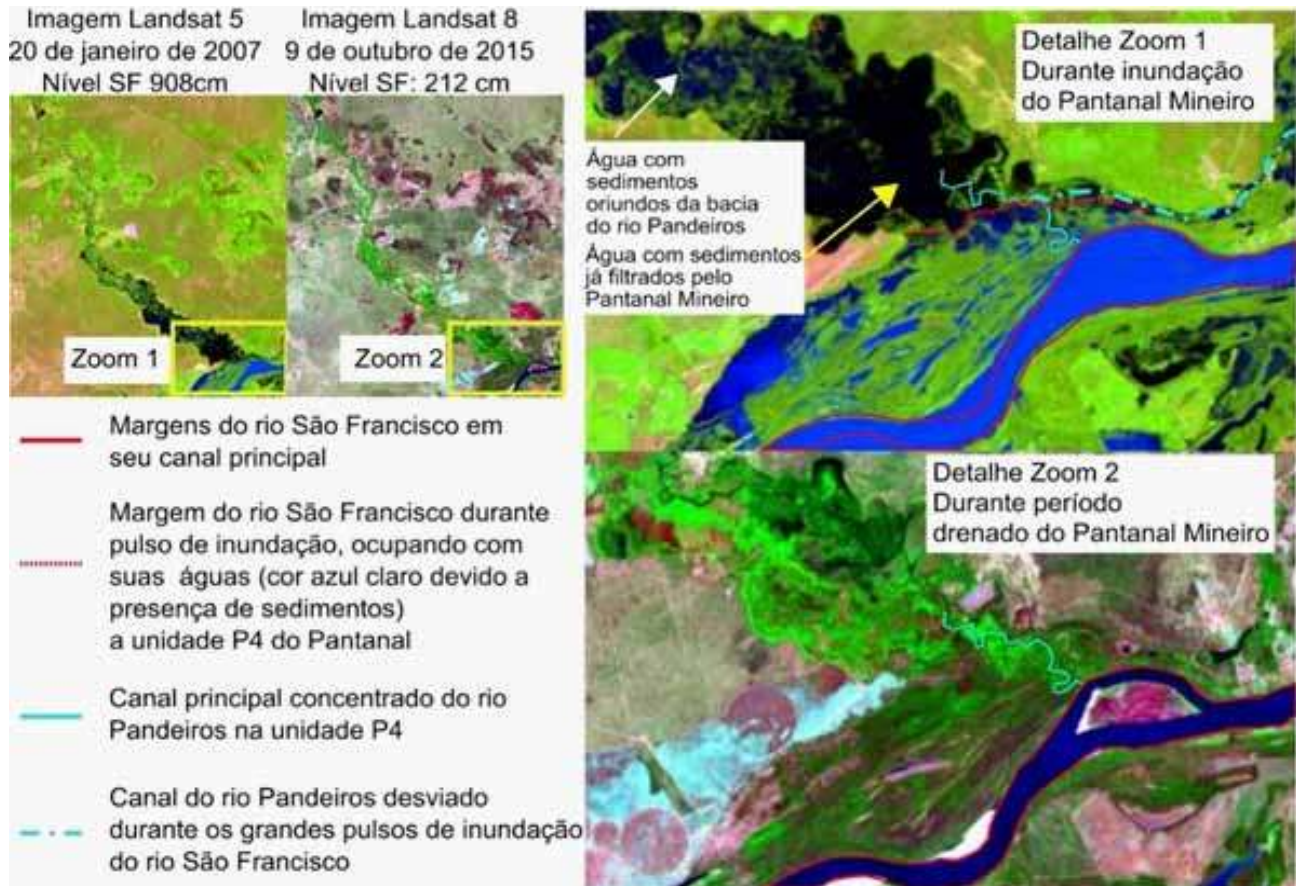
Cotejando esses dois eventos com o mostrado na Cena 2, Figura 3, registrada em 26 de janeiro de 1986, quando o nível do rio São Francisco alcançou 697 cm na mesma estação fluviométrica na qual foram aferidos todos os níveis deste trabalho, é possível observar que não há grande variação lateral na área inundada do Pantanal do rio Pandeiros. O que se observa é uma variação na área inundada ao longo do perfil longitudinal, ou seja, partindo do Sul, onde está localizada a foz do rio Pandeiros, em direção a montante (Norte).

Ainda na Cena 3, da Figura 3, na data registrada (28 de fevereiro de 1992), o rio São Francisco estava com um nível muito elevado, estendendo suas margens em direção às lagoas marginais, inundando a uni-

dade hidrogeomorfológica P4 do Pantanal do rio Pandeiros e marcando a dinâmica de circulação inversa, ou de refluxo. Assim, as águas do rio São Francisco avançaram para o interior do Pantanal do rio Pandeiros durante a ocorrência dos pulsos de inundação (JUNK; BAYLEY; SPARKS, 1989).

Já as águas do rio Pandeiros, chegam cheias de sedimentos a montante, conforme pode ser verificado pela cor azul clara na unidade hidrogeomorfológica P2 ao Pantanal do rio Pandeiros conforme a assinatura espectral da água com sedimentos, a partir da combinação de bandas do Landsat 5 utilizada nas cenas da Figura 3 (ROSA, 2007). Contudo, as águas na unidade hidrogeomorfológica P3 já estavam limpas de sedimentos, o que é demonstrado pelos tons de azul escuro, Rosa (2007), conforme apresentado na Figura 4, que mostra os mesmos fenômenos da Cena 3 da Figura 3 em escala de detalhe, Oliveira (2019); Oliveira; Augustin; Lima (2019), demonstrando um dos mais importantes serviços ambientais prestados pelas áreas úmidas, que é a retenção de sedimentos. Contudo, nas unidades hidrogeomorfológicas P2 e especialmente P3, pode ocorrer assoreamento, caso a quantidade de sedimentos oriundos da bacia do rio Pandeiros exceda a capacidade de transporte de sedimentos do rio Pandeiros, na área do Pantanal do rio Pandeiros.

Figura 4 – Águas na unidade hidrogeomorfológica P3 e P4



Fonte: OLIVEIRA, 2019.

Nota: Detalhes da dinâmica de circulação da água na foz do rio Pandeiros durante o ciclo hidrológico, entre um grande pulso de inundação do rio São Francisco, mostrando a influência deste na manutenção e desenvolvimento do Pantanal do rio Pandeiros e um período de seca. Nível SF representa o valor do nível do rio São Francisco, na estação fluviométrica 44200000 da Agência Nacional das Águas (ANA), na data indicada.

Portanto, durante as grandes cheias do rio São Francisco, o grande volume de água deste rio acaba empurrando as águas do rio Pandeiros para o interior da unidade hidrogeomorfológica P3 (OLIVEIRA, 2019; OLIVEIRA; AUGUSTIN; LIMA, 2019). Nesta situação, as águas do canal do rio Pandeiros oriundas desta bacia, tem seu fluxo deslocado em direção ao canto da margem esquerda do sistema de lagoas marginais do rio São Francisco, levando o rio Pandeiros a buscar outro curso, diferente do usual, mesmo quando o nível da água do rio São Francisco é mais baixo,

conforme pode ser observado nas Cenas 2, 3 e 4 (FIGURA 3 e FIGURA 4).

Assim, a depender da cota do nível do rio São Francisco, as áreas ao norte da depressão do Pantanal do rio Pandeiros podem ser mais ou menos inundadas tanto em área (espelho d'água), como em profundidade. Isto pode ser observado na Cena 6, Figura 3, registrada no dia 5 de janeiro de 2019, quando o nível do rio São Francisco na estação fluviométrica 44200000, alcançou o nível de 493 cm, dando início à inundação da área ao



sul do Pantanal do rio Pandeiros, próxima da foz no rio São Francisco.

Dessa maneira, o nível do rio São Francisco afeta a dinâmica do Pantanal do rio Pandeiros, uma vez que as inundações no Pantanal do rio Pandeiros podem ocorrer ou não, devido às flutuações do nível da altura do nível (cota) do rio São Francisco na foz do rio Pandeiros, seu afluente. Quando o nível do São Francisco está baixo, ele permite que o rio Pandeiros consiga despejar toda a sua descarga líquida no seu canal, como pode ser observada em um detalhamento da situação nas Cenas 1 e 5 (FIGURA 3).

A depender da altura do nível da água do rio São Francisco, e do momento do pulso de inundação, estas águas podem, inclusive, inverter o curso da foz do rio Pandeiros, inundando o Pantanal do rio Pandeiros com as águas do rio São Francisco, como pode ser observado nas imagens de detalhe da Figura 4. A altura do nível do rio São Francisco é, portanto, um fator fundamental no processo de retenção de água no Pantanal do rio Pandeiros, pois, a depender da magnitude e duração da cheia, as áreas do Pantanal do rio Pandeiros também podem ser mais ou menos inundadas.

A intensidade da inundação do Pantanal do rio Pandeiros também pode ser influenciada pelos pulsos de inundação que ocorrerem na própria bacia do rio Pandeiros, principalmente nas unidades hidrogeomorfológicas P1 e P2, conforme Oliveira (2019); Oliveira; Augustin; Lima (2019), quando a altura do nível da água do rio Pandeiros extravasa o dique marginal e inunda as lagoas destas unidades hidrogeomorfológicas.

A inundação do rio Pandeiros é influenciada também pela profundidade do nível freático, que fica elevado durante e após as inundações. O nível freático elevado contribui, por sua vez para a alimentação da rede de drenagem, formada por voçorocas, dentre os poucos afluentes na área do Pantanal do rio Pandeiros como pode ser observado no trabalho de Lima (2019). Grande parte deste volume de água é resultante do escoamento superficial, que infiltra ao longo das vertentes e é captado para os canais de drenagem.

Isso faz com que, quando ocorrem grandes volumes de precipitação, estes gerem pulsos de inundação no principal canal de drenagem, aumentando sua vazão e causando a inundação do Pantanal do rio Pandeiros, em especial nas unidades hidrogeomorfológicas P1 e P2, cujos limites podem ser vistos no Mapa 2 (OLIVEIRA, 2019; OLIVEIRA; AUGUSTIN; LIMA, 2019).

Efeitos das variações hidrogeomorfológicas no Pantanal do rio Pandeiros: cobertura vegetal

As variações nas respostas do rio Pandeiros às flutuações do nível do rio São Francisco podem ser analisadas nas Cenas 1 e 5 da Figura 3. Elas mostram o Pantanal do rio Pandeiros durante os períodos de seca, nos anos de 1984 e 2015, com as manchas escuras representando as áreas onde o nível freático aflora, ou encontra-se muito próximo da superfície.

Nota-se também que, comparando as áreas de fundo de vale entre 1984 e 2015, existiam mais manchas azuis e escuras in-

dicando a presença de água ou umidade em junho de 1984. Já na imagem de outubro de 2015, há menor ocorrência de áreas escuras, apesar da manutenção do vigor vegetativo na planície de inundação, o que pode estar associado ao assoreamento do Pantanal do rio Pandeiros, principalmente nas unidades hidrogeomorfológicas P1 e P2 (OLIVEIRA, 2019; OLIVEIRA; AUGUSTIN; LIMA, 2019).

Além disso, o vigor vegetativo, representado pelos tons de verde, permite afirmar que mesmo durante o período de seca, quando o Pantanal do rio Pandeiros não está inundado, a vegetação da planície de inundação encontra-se adaptada às condições de hidrografia. A cobertura vegetal distribui-se em diferentes fitofisionomias ao longo do Pantanal do rio Pandeiros, conforme maior ou menor a proximidade do nível da água, sendo muito discrepante da estrutura vegetal encontrada nas áreas drenadas das porções mais elevadas das vertentes do entorno, conforme verificado durante a realização dos trabalhos de campo desta pesquisa (OLIVEIRA, 2019).

Efeitos das variações hidrogeomorfológicas no Pantanal do rio Pandeiros na retenção de sedimentos

Outra informação muito importante registrada nas Figuras 3 e 4 é o fato da água do rio Pandeiros chegar ao Pantanal do rio Pandeiros carregada de sedimentos oriundos do alto curso da bacia do rio Pandeiros devido a ocorrência de voçorocamentos e o próprio material depositado no lago da PCH, que no ano de 2023 se encontra assoreado. A área úmida do Pantanal do rio Pandeiros

presta este serviço ambiental de retenção do material transportado, evitando a chegada de um volume maior de sedimentos ao canal do rio São Francisco.

Esse fato pode ser observado na Cena 3 da Figura 3 e na Figura 4, durante um episódio de inundação do Pantanal do rio Pandeiros, mostrando que as águas provenientes da bacia do rio Pandeiros encontram-se carregadas de sedimentos, representados pelos tons de azul mais claro no centro da área inundada, devido a assinatura espectral deste alvo, Rosa (2007), com grande dispersão na unidade hidrogeomorfológica P2 do Pantanal do rio Pandeiros (OLIVEIRA, 2019; OLIVEIRA; AUGUSTIN; LIMA, 2019).

Já nas proximidades da foz do rio Pandeiros, correspondente à unidade hidrogeomorfológica P3, o tom azul escuro indica a presença de água sem sedimentos, que é a assinatura espectral deste tipo de alvo (ROSA, 2007).

Na mesma cena, as águas do rio São Francisco voltam a ter a tonalidade azul mais claro, pois estão carregadas de sedimentos provenientes de todo o alto curso da sua bacia. Esse fato chama a atenção para uma função extremamente importante das áreas úmidas, que é a da retenção de sedimentos, como fica ilustrado na Fotografia 2, registrada durante a realização de trabalho de campo no Pantanal do rio Pandeiros.



Fotografia 2 – Pantanal do rio Pandeiros



Coordenadas:
15°39'30,74"S e 44°38'54,56"O



Coordenadas:
15°40'30,57"S e 44°36'51,90"O

Fonte: OLIVEIRA, 2019.

Nota: Fotografias do Pantanal do rio Pandeiros em 10 de fevereiro de 2017, indicando o serviço ambiental prestando pelas áreas úmidas, de retenção de sedimentos.

De acordo com Mitsch e Gosselink (2007), importantíssima função de retenção de sedimentos realizadas pelas áreas úmidas as tornaram internacionalmente conhecidas como os “rins do meio ambiente”, podendo ser verificada na Fotografia 2. Ela mostra o Pantanal do rio Pandeiros no dia 10 de fevereiro de 2017, quando a Fotografia A foi tirada na unidade hidrogeomorfológica P2 do Pantanal do rio Pandeiros e a fotografia B na unidade hidrogeomorfológica P3 do Pantanal do rio Pandeiros. Na Fotografia 2A, a água do rio Pandeiros apresenta cor laranja-avermelhada, típica da presença de sedimentos de areia e argila oxidada, conforme Lima (2019), provenientes das rochas intemperizadas da bacia, Augustin *et al.* (2020), chegando no início da área úmida e se distribuindo sobre as áreas da planície de inundação.

Quando a energia de transporte do rio diminui, estes sedimentos são depositados nas unidades hidrogeomorfológicas P1 e P2, sendo muitas vezes retidos pela grande densidade

de raízes das plantas aquáticas existentes nas lagoas permanentes e temporárias, como na unidade hidrogeomorfológica P3 (OLIVEIRA, 2019; OLIVEIRA; AUGUSTIN; LIMA, 2019). Por meio destes mecanismos, a água que estava carregada de sedimentos, ao atravessar a área úmida, é purificada e limpa, tornando-se menos turva, fazendo com que a água do rio Pandeiros que chega na confluência com o rio São Francisco, seja completamente cristalina (FOTOGRAFIA 2B).

A associação entre a quantidade de sedimentos gerados a montante do Pantanal do rio Pandeiros, e o fato do Pantanal se constituir uma depressão, formando naturalmente um ambiente de agradação, conforme Guerra; Guerra (2018), contribui para seu assoreamento, em especial nas unidades P1 e P2 (OLIVEIRA, 2019; OLIVEIRA; AUGUSTIN; LIMA, 2019). Os picos de excesso de sedimentos estão, por exemplo, vinculados, principalmente, aos pulsos de inundação que ocorrem na bacia do rio Pandeiros, quando os sedimentos

oriundos de toda a bacia, com destaque para a área das nascentes dos tributários do entorno do Pantanal do rio Pandeiros, onde ocorre grande densidade de voçorocas, Lima (2019), acabam sendo depositados no Pantanal do rio Pandeiros. Associado ao funcionamento da PCH, Fonseca *et al.* (2008), pode ter ocorrido uma intensificação no desaparecimento do ambiente de várias lagoas e meandros das unidades hidrogeomorfológicas P1 e P2, com menor efeito até o ano de 2020 apenas na unidade P3 (OLIVEIRA, 2019; OLIVEIRA; AUGUSTIN; LIMA, 2019).

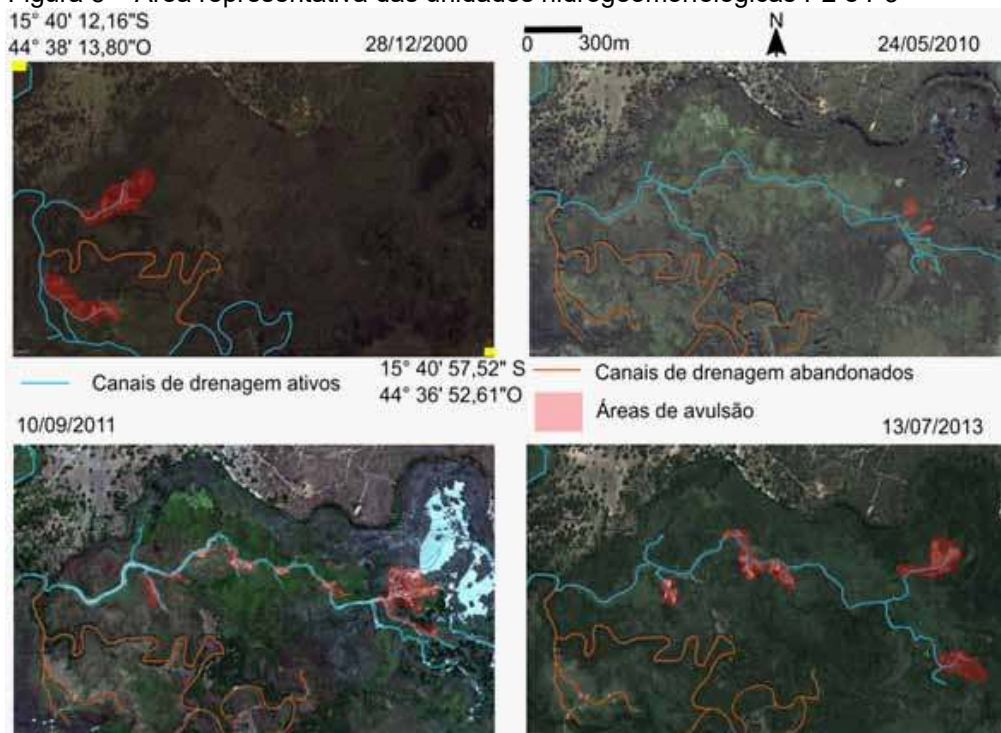
Deve-se ressaltar, portanto, que o excesso de material transportado pode, especialmente em sistemas cíclicos pequenos como o do Pantanal do rio Pandeiros, provocar o assoreamento da área úmida, com grande impacto ambiental, direto e indireto, sobre toda área, chegando a atingir o canal, e o seu entorno, e

mesmo o próprio rio São Francisco e principalmente destruindo a paisagem das lagoas do pantanal do rio Pandeiros, como é conhecido, representado pela unidade hidrogeomorfológica P3.

Efeitos das variações hidrogeomorfológicas no Pantanal do rio Pandeiros na avulsão dos canais

A intensa dinâmica hidrogeomorfológica do Pantanal do rio Pandeiros pode ser verificada na Figura 5, que mostra uma área representativa das unidades hidrogeomorfológicas P2 e P3 (OLIVEIRA, 2019; OLIVEIRA; AUGUSTIN; LIMA, 2019). A Figura 5 mostra uma análise temporal de imagens de satélite coletadas no software *Google Earth*, desde o ano 2000 até o ano de 2013, na qual nota-se a intensidade da avulsão ocorrida no Pantanal do rio Pandeiros (ASSINE, 2003).

Figura 5 – Área representativa das unidades hidrogeomorfológicas P2 e P3



Fonte: GOOGLE EARTH 2000 a 2013.

Nota: Imagens de satélite mostram a intensa dinâmica de modificação dos canais de drenagem e avulsão nos diques marginais do rio Pandeiros, com possível indicação de assoreamento na unidade hidrogeomorfológica P3 do pantanal do rio Pandeiros.



Ao analisar a sequência temporal mostrada na Figura 5, percebe-se um avanço das manchas correspondentes à avulsão, que é o processo de abandono e abertura de novos canais de drenagem, ocorrendo no sentido de oeste para leste durante a estação úmida: maio de 2010, setembro de 2011 e julho de 2013. Ao norte das imagens, há a criação de um canal de drenagem, que sai a partir do canal principal do rio Pandeiros em direção a uma lagoa permanente. Esta lagoa começa a partir do período úmido de 2013, por meio de outro processo de avulsão, a receber carga de sedimentos arenosos (FIGURA 5).

Apesar do processo de avulsão ser considerado normal em paisagens marcadas por processos de agradação situados na foz de rios, bem como em leques aluviais, como no Pantanal Mato-Grossense, a intensidade e frequência destes processos pode ser acelerada por um grande aporte de sedimentos que chega nos canais de drenagem (ASSINE, 2003). A origem destes sedimentos pode ser resultante de uma escala temporal antrópica ou ser oriunda de uma dinâmica natural e temporal mais contínua ao longo do Quaternário, por exemplo.

Conclusão

A área úmida do Pantanal do rio Pandeiros é representativa das pequenas áreas úmidas continentais com inundações temporárias associadas às planícies de inundações de sistemas fluviais onde ocorrem os pulsos de inundações. Sua ocorrência se dá a partir de um conjunto de interações entre a litosfera, hidrosfera, atmosfera e biosfera. Ela está associada às

características geomorfológicas, formando uma depressão na qual grande parte do seu perímetro é marcado por rupturas de declive.

Assim, as inundações estão associadas ao aumento do nível do rio São Francisco, complementadas por aquelas do rio Pandeiros. Mesmo assim, a área inundada não sofre grande variação lateral do espelho d'água, oscilando mais em profundidade, principalmente, no sentido longitudinal, ou seja, sul – norte.

Os resultados também indicam que os fatores e efeitos da dinâmica hidrogeomorfológica que ocorrem ao longo das unidades hidrogeomorfológicas já caracterizadas por Oliveira, Augustin e Lima (2019), têm influência da forma de relevo como a presença de uma depressão no Pantanal do rio Pandeiros. Também sofrem interferência com a presença de rochas carbonáticas do Grupo Bambu, de acordo com Augustin *et al.* (2020), onde os processos de dissolução formam relevos mais planos, próximos a afloramentos de rochas cársticas, como uvalas ou mesmo poljes, como o identificado durante a realização dos trabalhos de campo na unidade hidrogeomorfológica P1 (OLIVEIRA, 2019).

O relevo influencia, portanto, a própria dinâmica de transporte e deposição de sedimentos a depender da declividade e forma, estabelecendo a função de retirada e deposição de sedimentos, áreas propícias ao assoreamento do Pantanal do rio Pandeiros, indicadas pelos pontos onde ocorreu a avulsão de canais.

A partir da caracterização geomorfológica e da dinâmica hidrogeomorfológica, foram apresentados efeitos sobre a cobertura vegetal, os serviços ecossistêmicos da área úmida

(*wetland*), como a retenção de sedimentos e a dinâmica de avulsão de canais, ocorrendo no Pantanal do rio Pandeiros, associada ao grande aporte de sedimentos oriundos da bacia hidrográfica do rio Pandeiros, onde já existem vários processos erosivos acelerados.

A partir desta pesquisa, verifica-se a necessidade de aumentar o detalhamento tanto nas escalas temporal como espacialmente no sentido de investigar e monitorar a longo prazo a dinâmica de cada unidade hidrogeomorfológica, especificamente. A realização dessa pesquisa colabora com a gestão, recuperação e conservação das áreas úmidas localizadas no interior do Brasil, em especial, com o pantanal do rio Pandeiros, antes que sejam assoreados.

Referências

ACREMAN, M.; HOLDEN, J. How Wetlands Affect Floods. **Wetlands**, v. 33, n. 5, p. 773-786, 17 out. 2013.

ASSINE, M. L. **Sedimentação na bacia do Pantanal Mato-Grossense, Centro-Oeste do Brasil**. Dissertação (Tese livre-docência.) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista 2003. 106f., Rio Claro, SP, 2003. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/108382>. Acesso em: 24 fev. 2021.

ASSINE M. L.; PADOVANI, C. R.; ZACHARIAS, A. A.; ANGULO R. J.; DE SOUZA, M. C. Compartimentação geomorfológica, processos de avulsão fluvial e mudanças de curso do Rio Taquari, Pantanal Mato- Grossense. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 6, n. 1, 18 nov. 2005. DOI 10.20502/rbg. v.6i1.43. Disponível em: <https://rbgeomorfologia.org.br/rbg/article/view/43>. Acesso em: 6 nov. 2022.

AUGUSTIN, C. H. R. R.; MELO D. R.; ARANHA, P. R. A. Aspectos Geomorfológicos de veredas: um ecossistema do bioma do cerrado, Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 10, n. 1, p.103-114, jan. 2009.

AUGUSTIN, C.H.R.R.; FONSECA, B.M.; OLIVEIRA, D.A. de; LIMA, A.C.P. de; ARANHA, P.R.A.; SILVA, P.D. de O.; SABINO, S.M.L.; FRANCO, G.G. **Subprojeto 1a: Análise da dinâmica de encostas e da hidrogeomorfologia da bacia de drenagem do rio Pandeiros**. Belo Horizonte: Instituto de Geociência da UFMG, 2020. 206 p. Relatório final. Projeto Sustentabilidade da bacia do rio Pandeiros - MG: dinâmica de vertentes da bacia do rio Pandeiros (APQ-03773/14). Disponível em: <https://www.igc.ufmg.br/wp-content/uploads/2022/11/RELATORIO-FINAL-Subproj.1a-GEOMORFOLOGIA.pdf>. Acesso em: 12 dez.2022.

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os Trópicos**. 10. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 10. ed. São Paulo: Ícone, 2017.

BETHONICO, M. B. M. **Área de Proteção Ambiental Estadual do Rio Pandeiros - MG: espaço, território e atores**. 2009. 288 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal Fluminense. Rio de Janeiro, RJ, 2009.

BETHONICO, M. Rio Pandeiros: território e história de uma área de proteção ambiental no norte de Minas Gerais. **Revista ACTA Geográfica**, v. 3, n. 5, p. 23-38, 2009. DOI 10.5654/actageo2009.0305.0002. Disponível em: <http://www.ufr.br/revista/index.php/actageo/article/view/214>. Acesso em: 6 nov. 2022.

BICHO DO MATO MEIO AMBIENTE. **Plano de manejo da Área de Proteção Ambiental Estadual do Rio Pandeiros - APAERP**. Belo Horizonte: [s.n.], 2019. 168 p.

BORGES, L. F. R.; SCOLFORO, J. R.; OLIVEIRA, A. D.; MELLO, J. M.; ACERBI JUNIOR, F. W.; FREITAS, G. D. Inventário de fragmentos florestais nativos e propostas para seu manejo e o da paisagem. **Cerne**, v. 10, n. 1, p. 22-38, jun. 2004.

BRASIL. **Decreto Federal n° 1905, de 16 de maio de 1996**. Promulga a Convenção sobre Zonas Úmidas de importância internacional, especialmente como habitat de aves aquáticas, conhecida como Convenção de Ramsar, de 02 de fevereiro de 1971. **Convenção de Ramsar**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1996/D1905.htm. Acesso em: 24 fev. 2014.

CHAVES, H. M. L. Incertezas na predição da erosão com a USLE: impactos e mitigação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 6, p. 2021–2029, dez. 2010.



- COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO DE MINAS (CODEMIG); UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS. Instituto de Geociências. (UFMG). **Folha São Francisco: Mapa Geológico (SD.23-Z-C-IV)**. Belo Horizonte, 2015. Escala 1.100.000. Projeto Fronteiras de Minas. Disponível em: <http://www.portalgeologia.com.br/index.php/mapa/>. Acesso em: 16 ou. 2016.
- CUNHA, C. N.; PIEDADE, M. T. F.; JUNK, W. J. **Classificação e delineamento das áreas úmidas brasileiras e de seus macrohabitats**. Cuiabá: Editora UFMT, 2015. Disponível em: https://static.wixstatic.com/ugd/8fc5c6_ce7ddcb550d441e285e8dc9ace510c6e.pdf. Acesso em: 24 fev. 2021.
- FONSECA, E. M. B.; GROSSI, W. R.; FIORINE, R. A.; PRADO, N. J. S. PCH Pandeiros: uma complexa interface com a gestão ambiental regional In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE PEQUENAS E MÉDIAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS, 6., 2008 Belo Horizonte. MG **Anais [...]** Belo Horizonte: 2008, p. 1–16.
- FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS (CETEC). **2º Plano de desenvolvimento integrado do Noroeste Mineiro: recursos naturais**. Belo Horizonte: Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais, 1981. 361 p. (Série de Publicações Técnicas/SPT-002).
- GOERL, R.F.; KOBIYAMA, M.; SANTOS, I. Hidrogeomorfologia: princípios, conceitos, processos e aplicações. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 13, n. 2, p. 103–111, 19 out. 2012.
- GOMES, C. S. **Bases teórico-conceituais e subsídios para a classificação hidrogeomorfológica das áreas úmidas em Minas Gerais**. 2017. 212 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2017.
- GOMES, C. S.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. P. Sistemas de classificação de áreas úmidas no Brasil e no mundo: panorama atual e importância de critérios hidrogeomorfológicos. **Geo. UERJ**, n. 33, p. e 34519 dez. 2018. Disponível em: <https://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/geouerj/article/view/34519>. Acesso em: 24 fev. 2020.
- GUERRA, A. T.; GUERRA, A. J. T. **Novo dicionário Geológico-Geomorfológico**. 12. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2018.
- HUS.; NIU, Z.; CHEN, Y.; LI, L.; ZHANG, H. Global wetlands: potential distribution, wetland loss, and status. **Science of the Total Environment**, v. 586, p. 319-327, 2017.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Biomás**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/informacoes-ambientais/15842-biomas.html>. Acesso em: 19 mar. 2023.
- IGLESIAS, M.; UHLEIN, A. Estratigrafia do Grupo Bambuí e coberturas fanerozoicas no vale do rio São Francisco, norte de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 2, n. 39, p.256-266, jun. 2009.
- JARA, I. A.; MALDONADO, A.; EUGENIA DE PORRAS, M. Late Holocene dynamics of the south American summer monsoon: New insights from the Andes of northern Chile (21°S). **Quaternary Science Reviews**, v. 246, p. 106533, oct. 2020. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0277379120304959>. Acesso em: 24 fev. 2021.
- JUNK, W. J.; BAYLEY, P. B. P. B.; SPARKS, R. E. R. E. The flood pulse concept in river-floodplain systems. **Canadian special publication of fisheries and aquatic sciences**, v. 106, n. 1, p. 110–127, 1989.
- JUNK, W. J.; PIEDADE, M. T. F.; LOURIVAL, R.; WITTMANN, F.; KANDUS, P.; LACERDA, L. D.; BOZELLI, R. L.; ESTEVES, F. A.; NUNES DA CUNHA, C.; MALTCHIK, L.; SCHÖNGART, J.; SCHAEFFER-NOVELLI, Y.; AGOSTINHO, A. A. Brazilian wetlands: their definition, delineation, and classification for research, sustainable management, and protection. **Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems**, v. 24, n. 1, p. 5-22, 2014.
- LIMA, A. C. P. **Análise da distribuição espacial de voçorocas em domínio de rochas siliciclásticas: bacia do Rio Pandeiros - MG**. 2019.83 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019.
- LIMA, A. C. P.; AUGUSTIN, C. H. R. R.; OLIVEIRA, D. A. Distribuição espacial de voçorocas e sua relação com o relevo em escala de bacia para fins de amostragem: rio pandeiros-mg. In: PINHEIRO, L. S.; GORAYEB, A. (org.). **Geografia Física e as Mudanças Globais**. Fortaleza: Editora UFC, 2019. p. 1-12. Disponível em: <https://imprensa.ufc.br/wp-content/uploads/2021/12/02-dinamica-e-gestao-de-bacias-hidrograficas.pdf>. Acesso em: 21 fev. 2021.
- LISENBY, P. E.; TOOTH, S.; RALPH, T. J. Product vs. process? The role of geomorphology in wetland



- characterization. **Science of The Total Environment**, v. 663, p. 980-991, maio 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.399>. Acesso em: 5 mar. 2019.
- MELO, M. S.; CLAUDINO-SALES, V.; PEULVAST, J. P.; SAADI, A.; MELLO, C. L. Processos e produtos morfogenéticos continentais. In: SOUZA, C. R. G.; SUGUIO, K.; OLIVEIRA, A. M. S.; OLIVEIRA, P. E. (ed.). **Quaternário do Brasil**. Ribeirão Preto: Holos, 2005. p. 258-275.
- MINAS GERAIS. **Decreto nº 43.910, de 05 de novembro de 2004**. Cria o Refúgio Estadual de Vida Silvestre do Rio Pandeiros no Município de Januária. Minas Gerais. Belo Horizonte, Disponível em: <https://www.almg.gov.br/consulte/legislacao/completa/completa.htm?tipo=DEC&num=43910&comp=&ano=2004>. Acesso em: 13 maio 2020.
- MITSCH, W. J.; GOSSELINK, J. G. **Wetlands**. 4. ed. New Jersey: Wiley, 2007.
- NEVES, W. V. **Avaliação da vazão em bacias hidrográficas com veredas em diferentes estádios de conservação, na APA do rio Pandeiros - MG**. 2011. 58f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros, MG, 2011.
- NUNES, Y. R. F.; AZEVEDO, I. F. P.; NEVES, W. V.; VELOSO, M. D. M.; SOUZA, R. A.; FERNANDES, G. W. Pandeiros: o Pantanal Mineiro. **MG.Biota**, v. 2, n. 2, p. 4-17, 2009.
- OLIVEIRA, D. A. **“Wetland” como unidade hidrogeomorfológica no contexto de transição entre o cerrado e o semiárido mineiro: análise da dinâmica do pantanal da bacia de drenagem do rio Pandeiros - MG**. 2019. 418f. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/37807>. Acesso em: 19 set. 2021.
- OLIVEIRA, D. A.; AUGUSTIN, C. H. R. R.; LIMA, A. C. P. Proposta preliminar de unidades hidrogeomorfológicas para o Pantanal do Rio Pandeiros – MG. In: PINHEIRO, L. S.; GORAYEB, A. (Org.). **Geografia física e as mudanças globais**. Fortaleza: Editora Ufc, 2019, p. 1-12. Disponível em: <http://www.editora.ufc.br/images/imagens/pdf/geografia-fisica-e-as-mudancas-globais/490.pdf>. Acesso em: 16 fev. 2020.
- OLIVEIRA, D. A.; AUGUSTIN, C. H. R. R.; FONSECA, B. M. Proposta de mapeamento e delimitação dos domínios geomorfológicos da bacia hidrográfica do Rio Pandeiros-MG. In: PEREZ FILHO, A.; AMORIM, R.R. (Org.). **Os desafios da geografia física na fronteira do conhecimento**. Campinas: Instituto de Geociências, 2017. p. 6253-6262.
- PEREIRA, S. B.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D.; RAMOS, M. M. Estudo do comportamento hidrológico do Rio São Francisco e seus principais afluentes. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 6, p. 615-622, dez. 2007.
- ROSA, R. **Introdução ao sensoriamento remoto**. 6 ed. Uberlândia: EdUFU, 2007.
- RUDDIMAN, W. F. **A terra transformada**. Porto Alegre: Bookman, 2015.
- SALES, R. S.; SOUZA, S. C. A.; LUZ, G. R.; MORAIS-COSTA, F.; AMARAL, V. B.; SANTOS, R. M.; VELOSO, M. D. M.; NUNES, Y. R. F. Flora arbórea de uma Floresta Estacional Decidual na APA Estadual do Rio Pandeiros, Januária/MG. **Belo Horizonte, MG.Biota**, v. 2, n. 3, p. 31-41, 2009.
- SCHEIDEGGER, A. E. Hydrogeomorphology. **Journal of Hydrology**, v. 20, p. 193-215, 1973.
- TOOTH, S. The geomorphology of wetlands in drylands: Resilience, nonresilience, or? **Geomorphology**, v. 305, p. 33-48, 2018.
- VILES, H. Technology and geomorphology: are improvements in data collection techniques transforming geomorphic science? **Geomorphology**, v. 270, p. 121-133, 2016.
- WELTZ, M. A.; RENARD, K. G.; SIMANTON, J. R. **Revised universal soil loss equation for western rangelands**. In: SYMPOSIUM OF STRATEGIES FOR CLASSIFICATION AND MANAGEMENT OF NATIVE VEGETATION FOR FOOD PRODUCTION IN ARID ZONES. [Tucson, Arizona: [s. n.], dez. 1987. Disponível em: <https://www.tucson.ars.ag.gov/unit/publications/PDFfiles/567.pdf>. Acesso em: 6 nov. 2022.



Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo apoio financeiro ao projeto de Pesquisa Sustentabilidade da Bacia do Rio Pandeiros- MG: Dinâmica de Vertentes da Bacia do Rio Pandeiros (CRA-APQ-03773-14) e ao Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais (IGC/UFMG), pela infraestrutura de campo e laboratorial para a realização desta pesquisa em que todos os autores participaram. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) pela concessão de bolsa de Doutorado Sanduíche no Exterior (207621/2017-9) e ao Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG) pela licença para capacitação para o primeiro autor.

