

MG.BIOTA

v.15, n.1 – Janeiro / Dezembro 2022
ISSN online 2675-7893

INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS - MG

DIRETORIA DE UNIDADES DE CONSERVAÇÃO



EDIÇÃO ESPECIAL: BACIA DO RIO PANDEIROS



MG.BIOTA

Publicação da Diretoria de Unidades de Conservação – Instituto Estadual de Florestas - IEF
Rodovia Papa João Paulo II, 4143 – Serra Verde – Belo Horizonte/MG – CEP: 31.630-900
Edifício Minas – 1º andar

Conselho Editorial

Breno Esteves Lasmar - IEF
Priscila Moreira de Andrade – IEF
Adriano Pereira Paglia - UFMG
Fabiano Rodrigues de Melo – UFV

Editores Associados

Flávia Campos Vieira
Leandro Vieira da Silva

Coordenação Editorial

Janaína A. Batista Aguiar
John Eurico
Márcia Beatriz Silva de Azevedo
Mônica Maia
Priscila Moreira de Andrade
Rosinalva da Cunha dos Santos
Sandra Mara Esteves de Oliveira
Silvana de Almeida
Thamires Lopes Chaves

MG.Biota, v.15, n.1 – 2022

Periodicidade: anual
ISSN online 2675-7893
<http://mgbiota.ief.mg.gov.br>
projetospesquisas.ief@meioambiente.mg.gov.br
Belo Horizonte/MG

Normalização:

Silvana de Almeida - CRB. 1018-6
Márcia Beatriz Silva de Azevedo – CRB 1934-6

Colaboradores deste número

Arol Josue Rojas - UFC
Daniele Tonidandel Pereira Ribeiro - SEMAD
Isadora Pinho Tavares De Filippo - IGAM
João Batista Ribeiro da Silva Reis - EPAMIG
Lilian Carla Moreira Bento - UFU
Marley Lamounier Machado - EPAMIG
Raquel Franco Cassino - UFOP
Sandra Mara Esteves de Oliveira - IEF

Foto Capa: Evandro Rodney

Imagem: Refúgio de Vida Silvestre Rio
Pandeiros

Foto Contracapa: Evandro Rodney

Imagem: RVS Rio Pandeiros





INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS - MG

DIRETORIA DE UNIDADES DE CONSERVAÇÃO

MG.BIOTA	Belo Horizonte	v. 15 n. 1	jan./dez.	2022
----------	----------------	------------	-----------	------



SUMÁRIO

Editorial	05
Influências geológicas e geomorfológicas na formação da bacia do rio Pandeiros – MG <i>Cristina Helena Ribeiro Rocha Augustin , Diego Alves de Oliveira , Bráulio Magalhães Fonseca , Arnon Costa Pereira de Lima , Paulo Roberto Antunes Aranha , Ricardo Diniz da Costa</i>	06
Aspectos do relevo da bacia do rio Pandeiros–MG: análise de perfis longitudinal e transversais <i>Cristina Helena Ribeiro Rocha Augustin , Diego Alves de Oliveira , Bráulio Magalhães Fonseca , Arnon Costa Pereira de Lima , Paulo Roberto Antunes Aranha</i>	35
Características da drenagem fluvial e de encosta e sua relação com o relevo na bacia do rio Pandeiros – MG <i>Cristina Helena Ribeiro Rocha Augustin , Bráulio Magalhães Fonseca , Diego Alves de Oliveira , Arnon Costa Pereira de Lima , Paulo Roberto Antunes Aranha , Guilherme Gandra Franco , Jefferson Vianna Bandeira</i>	64
Caracterização e dinâmica das unidades hidrogeomorfológicas do Pantanal do rio Pandeiros, Minas Gerais, Brasil <i>Diego Alves de Oliveira , Cristina Helena Ribeiro Rocha Augustin , Arnon Costa Pereira de Lima</i>	92
Variação espacial e temporal das chuvas na região da bacia do rio Pandeiros, norte do estado de Minas Gerais-Brasil <i>Carlos Henrique Jardim , Felipe Pereira de Moura</i>	116
Avaliação da carga sedimentar entre os anos de 2016 e 2019 no Rio Pandeiros, Januária, MG e sua influência na preservação ambiental da bacia hidrográfica <i>Cláudio José Chagas; Jefferson Vianna Bandeira; Lécio Hannas Salim; Cláudio Costa Camargos; Gabriel Pires de França ; Leonardo Passos Sá</i>	135



EDITORIAL

Apresentamos uma edição especial da revista MG.Biota, contendo artigos com resultados de pesquisa do “Projeto de Sustentabilidade da Bacia do Rio Pandeiros”, desenvolvido pelo Instituto de Geociências – IGC e o Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear – CDTN, da Universidade Federal de Minas Gerais, com financiamento pela Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais – FAPEMIG.

A edição contempla seis artigos, que objetivaram analisar as influências geológicas e geomorfológicas na formação e evolução da bacia do rio Pandeiros; suas formas de relevo; como a drenagem fluvial e a de encosta são afetadas pelo relevo e como ele as influencia; 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; aspectos da variabilidade das chuvas na região e avaliar o efeito da carga sedimentar medida e suas implicações no assoreamento do Pantanal do Rio Pandeiros, área úmida, conhecida como “Pantanal Mineiro”.

São informações de grande importância para ciência e que, certamente, poderão auxiliar na compreensão e análise dos impactos dos diversos fatores que balizaram os estudos e resultaram na pesquisa apresentada, assim como proporcionarão um maior conhecimento a ser utilizado em proposições de políticas ambientais, contribuir para traçar diretrizes na gestão, seu manejo adequado e a preservação da região da Bacia Hidrográfica do Rio Pandeiros.

Desejamos a todos, uma boa leitura!

Maria Amélia de Coni e Moura Mattos Lins

Diretora Geral - IEF



Influências geológicas e geomorfológicas na formação da bacia do rio Pandeiros – MG

Cristina Helena Ribeiro Rocha Augustin¹, Diego Alves de Oliveira², Bráulio Magalhães Fonseca³, Arnon Costa Pereira de Lima⁴, Paulo Roberto Antunes Aranha⁵, Ricardo Diniz da Costa⁶

Resumo

O principal objetivo deste trabalho é analisar as influências geológicas e geomorfológicas na formação e evolução da bacia do rio Pandeiros. Isto porque a base geológica tem grande influência no relevo e este, por sua vez, afeta as taxas de erosão e transporte de sedimentos, bem como sua deposição, interferindo na dinâmica hídrica. Os resultados, com base na análise da literatura, de perfis geológicos, mapa de lineamentos e em controles de campo, indicam que a bacia do Pandeiros é resultante da estruturação, ao longo do tempo geológico, do rio São Francisco, seu nível de base, e do encaixamento do rio Pandeiros na falha extensional no seu baixo/médio curso, além da presença de um alto estrutural no lado esquerdo da bacia.

Palavras-Chave: Bacia do rio Pandeiros. Rio São Francisco. Estruturação drenagem. Influência geológica. Condicionamento do relevo..

Abstract

The main objective of this work is to analyze the geological and paleogeomorphological influences on the Pandeiros River basin formation and evolution. This is because the geological basis has a great influence on the relief which in turn affects the rates of erosion and sediment transport, as well as its deposition, interfering with the water dynamics. Results based on the analysis of the literature, geological profiles, lineaments map and field controls, indicate the Pandeiros River is the result of the structuring, over geological time, of the São Francisco River, its base level, and the embedding of the Pandeiros in the extensional fault in its low/middle course, besides the presence of a structural high on the left side of the basin.

Keywords: Pandeiros River basin. São Francisco River. Drainage structuration. Geologic influence. Landform conditioning

¹Instituto de Geociências. CPMTc, Universidade Federal de Minas Gerais. Professora doutora. Av. Antônio Carlos, 6.627, Belo Horizonte, MG. E-mail: chaugustin@hotmail.com

²Instituto de Geociências. Universidade Federal de Minas Gerais. PhD. Av. Antônio Carlos, 6.627, Belo Horizonte, MG. E-mail: diego.oliveira@ifmg.edu.br

³Instituto de Geociências, CPMTc, Universidade Federal de Minas Gerais. PhD. Av. Antônio Carlos, 6.627, Belo Horizonte, MG. E-mail: brauliomagalhaes@gmail.com

⁴Instituto de Geociências. Universidade Federal de Minas Gerais. MSc. Av. Antônio Carlos, 6.627, Belo Horizonte, MG. E-mail: arnonbhmg@gmail.com

⁵Instituto de Geociências. Universidade Federal de Minas Gerais. PhD. Av. Antônio Carlos, 6.627, Belo Horizonte, MG. E-mail: aranha1941@gmail.com

⁶Instituto de Geociências. Universidade Federal de Minas Gerais. PhD. Av. Antônio Carlos, 6.627, Belo Horizonte, MG. E-mail: biduufmg@gmail.com.



Introdução

Uma rede de drenagem é formada pela interligação de cursos de água a um rio principal, cujas características e dinâmica são dependentes, entre outros fatores, do substrato rochoso, do relevo, do clima, da biota e, mais recentemente, da interferência antrópica. Esses fluxos de água, em conjunto com os das encostas, condicionados pelos níveis de base locais e regionais, geram um dos mais importantes conjuntos de processos, conhecidos como processos geomorfológicos responsáveis pela elaboração das formas de relevo continentais no mundo, em especial nas zonas tropicais úmidas (SAWYER, 1975; SCHEIDEGGER, 1973; SIDLE; ONDA, 2004). As características atuais das áreas drenadas por essas redes fluviais encontram-se, portanto, intimamente associadas à sua evolução geológica e geomorfológica (GREGORY; WALLING, 1973; LOMBANA *et al.*, 2021; NOE, 2013; POOLE, 2010). Este é o caso da bacia do rio Pandeiros, em Minas Gerais, cujo modelado e dinâmica fluvial têm sido controlados, ao longo do tempo, pelo rio São Francisco (RSF), seu nível de base (AUGUSTIN *et al.*, 2020).

Com uma área aproximada de 3.930 Km², a bacia do rio Pandeiros, Mapa 1, é uma das 36 mais importantes do rio São Francisco (rSF). Isto porque, embora o Pandeiros participe com apenas 1,1% da vazão deste último, constitui um dos 19 tributários que apresentam fluxo constante durante todo o ano (PEREIRA *et al.*, 2007). Ocorrendo em uma área com

características de transição do clima subúmido para o semiárido, a perenidade do rio Pandeiros é de primordial importância não somente para as comunidades dos moradores que dele dependem como fonte de água para consumo e para suas atividades econômicas, como para o meio ambiente, na manutenção e sobrevivência da fauna e flora da bacia (JARDIM; MOURA, 2018; PEREIRA *et al.*, 2007). Também contribui para sua importância, o fato de o Pantanal do Pandeiros ter se transformado em “berçário” para a ictiofauna do médio São Francisco, sendo, segundo Bethonico (2009a, p. 24), responsável por 70% das atividades de “reprodução dos peixes que vivem no São Francisco entre as barragens de Três Marias e Sobradinho-BA”. Apesar da relevância ambiental e socioeconômica da bacia do Pandeiros, o papel que as macroformas do relevo e sua relação com a geologia têm na sua dinâmica atual, ainda são pouco estudados, a despeito de ampla bibliografia sobre o seu meio biofísico.

Entre os vários trabalhos sobre a área, destacam-se os relativos ao meio biológico e físico, aos estudos de vazão, da erosão, e uso de geoprocessamento na caracterização do meio natural, como os realizados por Augustin e Maia-Rodrigues (2012), Bandeira *et al.* (2018); Barbosa (2010), Bethonico (2009a, 2009b), Bethonico e Cunha (2009), CETEC (1981, 1983), Companhia de Desenvolvimento de Minas Gerais (CODEMIG) e Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), 2015, CPRM-UFBA (2007), Dias (2017); Fonseca *et al.* (2011a, 2011b), Lima (2019); Lima,

Augustin e Oliveira (2019), Lopes e Magri (2015), Lopes, Magri e Collares (2015), Maia-Rodrigues (2012), Neves (2011), Nunes *et al.* (2009); Oliveira, Augustin e Fonseca (2017), Oliveira, Augustin e Lima (2019), Oliveira, D. (2021) e Silva (2020). Também devem ser apontados os estudos sobre os solos no domínio do Grupo Urucuaia, como os realizados por Dias (2017) e Oliveira (2013), no âmbito do Estado, e o mapeamento de solos de Minas Gerais pela Universidade Federal de Viçosa, Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais, Universidade Federal de Lavras; Fundação Estadual do Meio Ambiente (2010).

A questão da origem de um rio não é de fácil resposta, pois está vinculada ao tempo necessário para que uma rede de drenagem se encaixe em uma bacia e, por conseguinte, à idade do rio principal responsável por isto. Para Potter (1997), é mais adequado, como apontado por Leopold *et al.* (1964, *apud* POTTER, 1997, p. 332), que os rios sejam “[...] pensados mais como tendo um legado do que uma origem [...]”; uma vez que tendem “[...] ao longo do seu desenvolvimento, a se adaptar continuamente em resposta às mudanças climáticas e tectônicas”, sendo difícil defini-los “[...] como feições com início e fim precisos”. Nesse contexto, a análise da evolução da bacia e rede de drenagem do rio Pandeiros encontra-se vinculada à história evolutiva do seu nível de base, local e regional, o rio São Francisco (rSF). Para isto, foi necessário ampliar a presente análise, açambarcando a estruturação deste último, uma vez que ele

constituiu, e ainda constitui, o nível de base do rio Pandeiros.

O principal objetivo deste artigo é, portanto, analisar o contexto geológico e geomorfológico na formação e evolução da drenagem da bacia do Pandeiros, ou seja, a interação de longo termo das características geológicas e do relevo na formação e estruturação da drenagem, uma vez que estes fatores constituem a base física sobre a qual flui, hoje, este rio e seus afluentes. Nesse sentido, busca-se responder às seguintes questões: a) como se deu a abertura e estruturação da bacia? b) quais os seus efeitos na rede de drenagem e nas formas atuais do relevo?



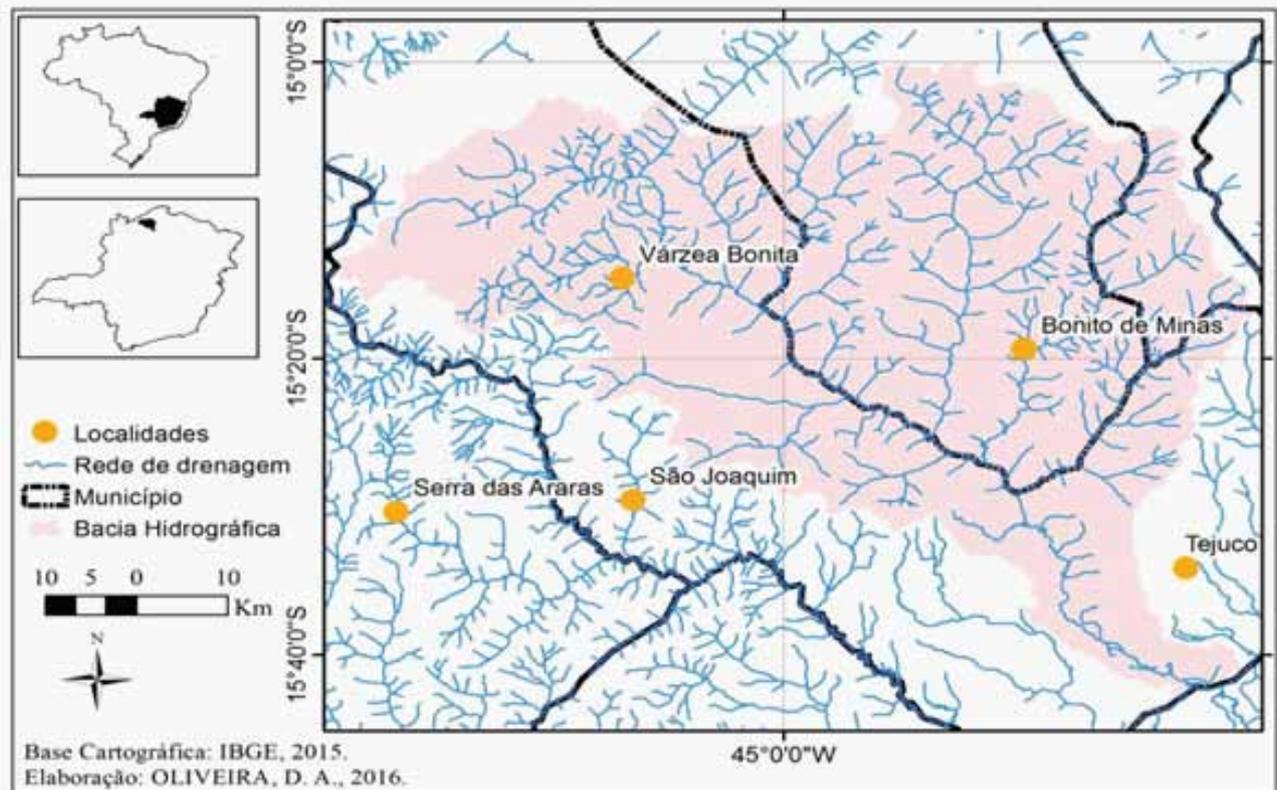
Metodologia

Características gerais da área de estudo

O rio Pandeiros, cuja bacia está localizada no norte do estado de Minas Gerais entre as co-

ordenadas geográficas $15^{\circ}0'00''/15^{\circ}43'00''$ S de latitude e $45^{\circ}28'00''/44^{\circ}35'03.40''$ W de longitude, mapa 1, é afluente da margem esquerda rSF, em seu médio curso.

Mapa 1 – Localização da bacia do rio Pandeiros



Legenda: em rosa: Bacia do rio Pandeiros e os municípios que nela ocorrem: Januária, Várzea Bonita e Bonito de Minas-MG, incluindo as sedes dos mesmos

Fonte: OLIVEIRA; AUGUSTIN; FONSECA, 2017.

Sua bacia hidrográfica constitui, juntamente com a bacia do rio Calindó, a unidade de planejamento SF09 que, segundo Maia-Rodrigues (2012, p. 13) é uma das unidades de gestão dos recursos hídricos criadas a partir da implantação da Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Foi essa Lei que estabeleceu a Política Nacional de Recursos Hídricos, incorporando o conceito de bacia hidrográfica e suas subdivisões, como preceito para a gestão dos recursos. O mapa

geológico da bacia do Pandeiros mostra que grande parte dela é coberta por rochas predominantemente areníticas do Grupo Urucuia pertencentes às formações Posse, na base, e Serra das Araras, no topo (MAPA 2).

(CODEMIG; UFMG, Folha Catolé - SD.23-Z-C-I, 2015). Na bacia do Pandeiros, grande parte das coberturas superficiais quaternárias no domínio do Grupo Urucuia são regolitos (no sentido de Taylor e Eggleton (2001), formados pela intemperização das rochas *in situ* (*elúvios*), por colúvios ou por depósitos aluviais ao longo do rio Pandeiros e seus afluentes (MAPA 2). Deposições aluviais fora do domínio do Urucuia são encontradas ao longo das planícies aluviais, em especial, do rSF.

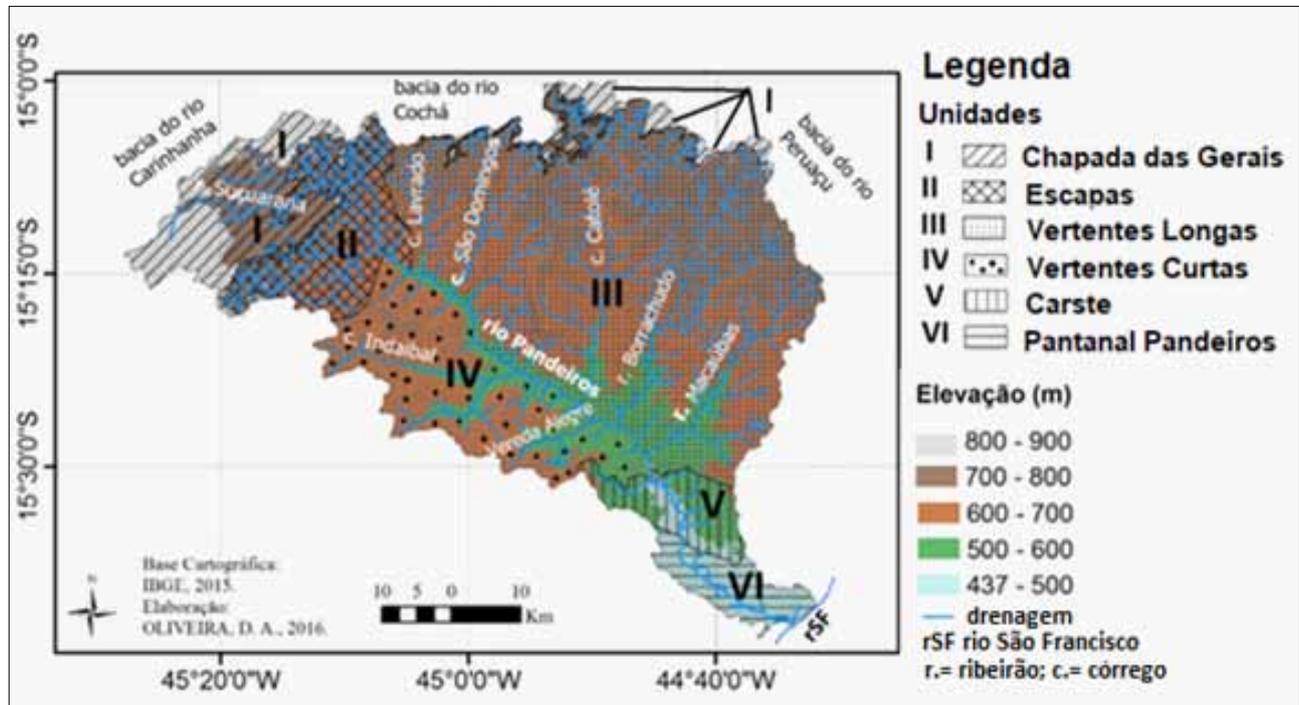
Localizada em área de transição entre o clima tropical subúmido e o semiárido, a bacia apresenta temperatura média anual de 24°C. Já nos meses mais frios (junho e julho), a temperatura média fica em torno dos 20,4° C, enquanto no mês mais quente (outubro) em 25,5° C (PEREIRA *et al.*, 2007). A precipitação média anual é em torno dos 1.057,4 mm (PEREIRA *et al.*, 2007). Nos meses de maior pluviosidade, entre outubro e março, caem 91% do total anual de chuvas. Os meses mais secos ocorrem entre abril e setembro (BETHONICO, 2009a). Pereira *et al.* (2007, p. 616) apontam a ocorrência de aspectos de semiaridez da área, decorrentes “das elevadas temperaturas e dos baixos índices de nebulosidade”, fazendo com que a evapotranspiração potencial seja muito alta, “principalmente na região do Submédio São Francisco”. Nela, as estações registraram valores de até 3.000 mm ano⁻¹, o que caracteriza déficit hídrico em grande parte do ano.

Além desse aspecto, é também importante ressaltar o caráter sazonal da distribuição da precipitação e da incidência de altas temperaturas conforme consta em Jardim e Mourão (2018), concentradas no verão, em contraste

com as temperaturas mais amenas e período seco do inverno, com influência na dinâmica vegetal e na ocorrência de processos pedogeomorfológicos.

Do ponto de vista geomorfológico, a bacia encontra-se localizada na borda sudeste do Chapadão Urucuia conforme Kiang e Silva, (2015), área de relevo relativamente plano, formado sobre rochas sedimentares predominantemente areníticas, horizontalizadas a subhorizontalizadas, do Grupo Urucuia, no domínio do aquífero homônimo. Através do mapa de Domínios Geomorfológicos de Oliveira; Augustin; Fonseca, (2017) é possível identificar seis grandes Domínios do relevo na bacia (MAPA 3). Eles correspondem às unidades/domínios da paisagem com características próprias, embora possam compartilhar parte destas características uns com os outros.

Mapa 3 – Os seis Domínios Geomorfológicos da bacia do rio Pandeiros, MG



Fonte: Adaptado pelos autores, a partir de: OLIVEIRA; AUGUSTIN; FONSECA, 2017.

Nota: Identificados a partir do cruzamento de mapas gerados em ambiente SIG, indicando variações da dinâmica hidrogeomorfológica e de características do meio físico

O Domínio I, denominado neste trabalho de Chapada das Gerais, constitui o que restou, na área da bacia, da superfície residual do Chapadão Urucuia (KIANG; SILVA, 2015).

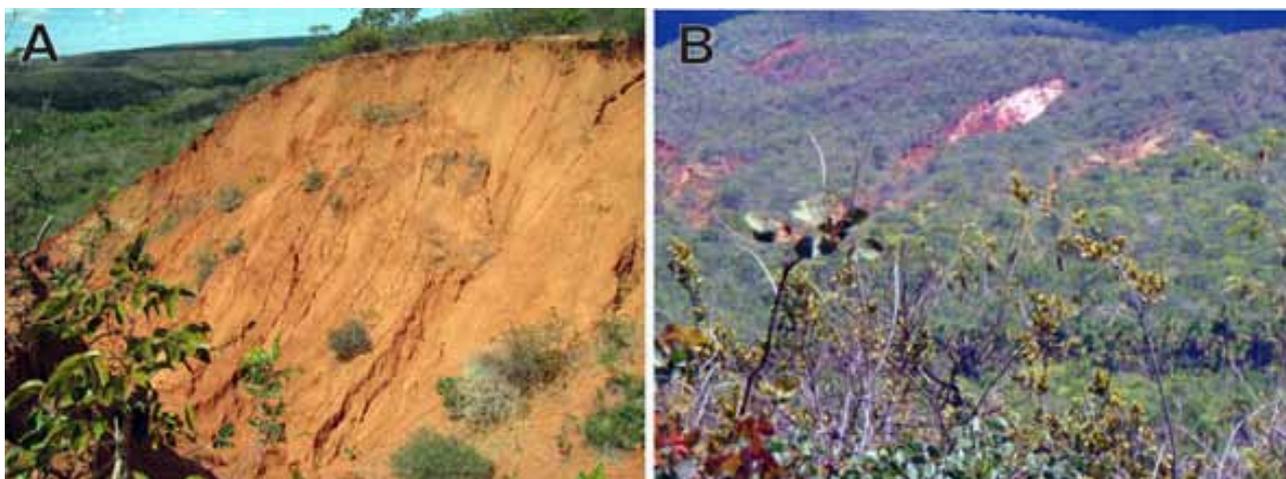
A Chapada das Gerais forma um platô com declividades muito baixas (0-2°), pouca incisão da drenagem e rios com padrão predominantemente paralelo, composto por rochas da Fm. Serra das Araras, apresentando altitudes que atingem mais de 800 m (MAPA 3).

O Domínio II, denominado de Escarpas, com altitudes acima de 800 até 600 m, constitui um grande desnível topográfico que acompanha as bordas da Chapada das Gerais, Mapa 3, contornando a bacia do Pandeiros a noroeste (NW), norte (N) e nordeste (NE), nos limites com as bacias dos rios Carinhanha, Cochá e Peruaçu, respectivamente (MAPA

3). Nessas Escarpas, são encontradas declividades que podem atingir mais de 56° e processos de erosão acelerada, formando voçorocas (FOTOGRAFIA 1A e B).



Fotografia 1 – Voçorocas presentes nas áreas da Escarpa, Domínio Geomorfológico II da bacia



Legenda: (A) Voçorocas na região do alto rio Pandeiros com cicatriz de deslizamento, mostrando instabilidade das paredes.

(B) Voçorocas localizadas na borda da Chapada das Gerais, no Domínio da Escarpa NW da bacia.

Fonte: AUGUSTIN, C.H.R.R., 2018.

O Domínio III, das Vertentes Longas, está presente na margem esquerda do rio Pandeiros, caracterizado por longos interflúvios, altitudes que vão de 500, àquelas acima de 800 m, declividade predominantemente entre 2 e 5°, podendo atingir mais de tendência ao alongado (MAPA 3). Ele é ocupado pelos rios mais extensos da bacia, com nascentes na zona das Escarpas: a noroeste (NW), nos limites entre as bacias dos rios Pandeiros e Carinhanha; a norte (N), com a do Cochá e a nordeste (NE), com a do Peruaçu. Denominado de Vertentes Curtas, o Domínio IV é formado pelas vertentes localizadas na margem direita do Pandeiros, sendo em média mais baixas (entre 700 e 470 m) do que as do Domínio III (MAPA 3). Seus rios são mais curtos e as declividades também menos acentuadas, predominantemente entre 2 e 5°.

Nas áreas topograficamente mais baixas, os rios encontram-se relativamente pouco encaixados, com todas as nascentes loca-

lizadas nos interflúvios que formam o limite com a bacia do rio Pardo.

O Domínio V, chamado de Carste, é caracterizado, como o próprio nome indica, por apresentar um relevo cárstico, Mapa 3, com a presença marcante de afloramentos das rochas carbonáticas do Grupo Bambuí. Nesses afloramentos, destacam-se os lapiás, Fotografias 2 A e B, que são feições resultantes da dissolução dos calcários provocada pela água do escoamento superficial da chuva. Eles são intercalados por áreas mais baixas e planas, com altitudes entre 670 e 460 m, nas quais é possível identificar planícies cársticas (poljes), além de dolinas, que são depressões periodicamente ocupadas pela água formando lagoas, além de uvalas, formadas pela coalescência de dolinas.

Fotografia 2 – Presença de afloramentos de rochas carbonáticas na região do baixo rio Pandeiros



Legenda: (A) Afloramento de calcário, com lapiás (ranhuras erosivas) próximas à cidade de Januária.

(B) Dolina (depressão) seca, com afloramento de calcário.

Fonte: AUGUSTIN, C.H.R.R., 2018.

O Domínio VI do Mapa 3 é o último mapeado e tem como característica do relevo uma depressão, formando uma área úmida (wetland) bem definida, o Pantanal do rio Pandeiros. Ela é uma zona hidromórfica lo-

calizada na planície de inundação a jusante do rio, coberta por lâmina de água durante quase todo o ano e com a presença de lagoas permanentes, embora suas vertentes sejam parcialmente drenadas (FOTOGRAFIA 3).

Fotografia 3 – Domínio Geomorfológico VI



Fonte: AUGUSTIN, C.H.R.R., 2018.

Nota: Pantanal do rio Pandeiros, que constitui uma área úmida (wetland), localizado no baixo Pandeiros. Nos meses secos, o espelho de água diminui expondo os sedimentos da planície aluvial

As altitudes são baixas, entre 500 e 432 m, conforme Oliveira, D. A. (2021) e as partes mais elevadas do relevo são as que ladeiam o Pantanal, em especial na margem esquerda do meio curso, onde também afloram rochas carbonáticas do Grupo Bambuí, atingidas pelas águas do Pantanal e do próprio rSF em períodos de inundação. O Domínio VI, Mapa 3, inclui parte da planície de inundação do rSF, que forma uma grande área de flutuação sazonal e deposição de carga de sedimentos aluvionares e matéria orgânica.

A maior parte da bacia tem cobertura vegetal de espécies do bioma do Cerrado, de acordo com Scolforo e Carvalho (2006), no qual se distinguem vários ecossistemas e fitofisionomias, entre as quais: campo sujo, campo cerrado, cerrado (s.e.), mata ciliar, vereda e mata caducifólia (mata seca), restrita aos afloramentos de rochas carbonáticas, conforme consta de Augustin *et al.* (2020). Ocorrem ainda espécies típicas da caatinga, entre elas a barriguda, e cactáceas.

Técnicas e Materiais

Como primeira etapa deste trabalho, foi levantada bibliografia, em especial a utilizada na reconstituição da evolução da bacia do rSF, na busca de elementos de interpretação que, juntamente com análises dos mapas geológicos e geomorfológicos e validação de campo, permitissem inferir, de maneira relativamente inédita, fatores e elementos do meio físico, associados à formação da bacia do rio Pan-deiros. A distribuição dos cortes geológicos (perfis) transversais no Mapa Geológico foi orientada pela variação dos Domínios Geomorfológicos, cujo mapa foi obtido em Oliveira, Augustin e Fonseca (2017).

O Mapa Geológico foi elaborado a partir da base cartográfica do Mapa Estadual de Geodiversidade de Minas Gerais (SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL, CPRM - escala de 1: 1.000.000, 2010), com o uso de software de SIG, permitindo um recorte da base cartográfica do limite da bacia. Esse mapa foi reelaborado, após observações de campo e análises de imagens do *Software Google Earth Pro*(2019), tendo como base os mapas da CODEMIG; UFMG (2015), na escala 1: 100.000, usando as folhas: São Joaquim - SD.23-Y-D-III; Catolé - SD.23-Z-C-I; Januária - SD.23-Z-C-II; São Francisco - SD.23-Z-C-IV e Folha São João da Ponte - SD.23-Z-C-V. Esses mapas serviram de base para o Mapa de Lineamentos, que é um produto da fotointerpretação, com o uso do GEOCOVER, obtida com o satélite Landsat, 7 ETM+ (R7G4B2), resolução espacial de 30 m (NASA – GEOCOVER, 2000), enquanto o da drenagem da bacia utilizou a rede hidrográfica fornecida pela ANA (2019). A identificação da drenagem e outras checagens, como a toponímia, que foi mantida, foram realizadas a partir dos mapas topográficos do IBGE, escala 1: 100.000, das Folhas: Catolé - SD.23-Z-C-I, 1970; Januária - SD.23.Z-C-II (MI-2178), 1980 (2ª Edição); São Joaquim - SD.23-Y-D-II e São Francisco - SD.23-Z-C-IV, ambos de 1972.

Resultados e Discussão

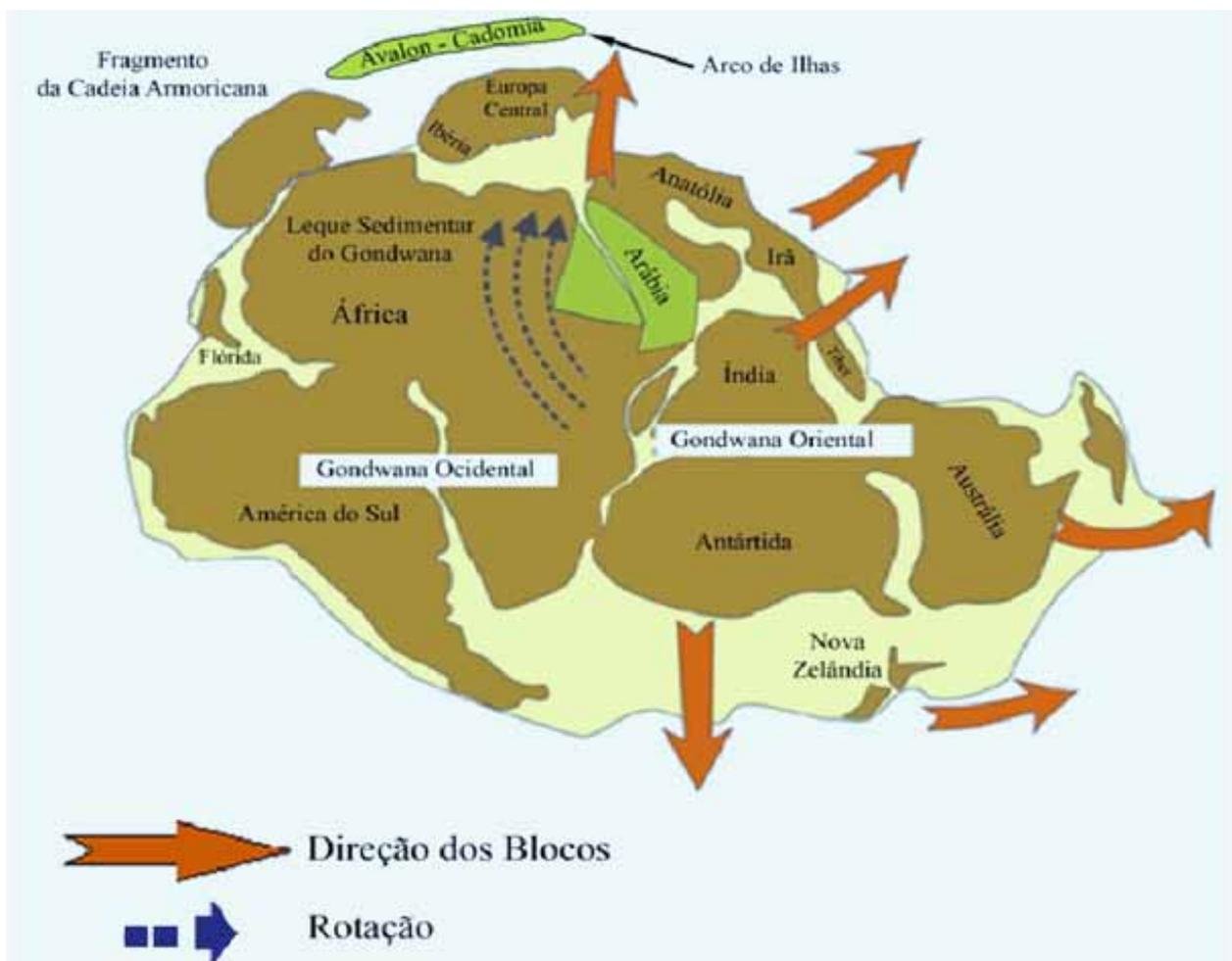
Estruturação da drenagem do rio São Francisco, com base na literatura

O rio São Francisco (rSF), assim como os rios Uruguai e Paraná, na América do Sul, e alguns outros na África, Índia e Austrália, fazem parte do que Potter e Hamblin (2006, p. 26) denominam de um conjunto de rios anci-

ões, ainda remanescentes de “[...] fragmentos do estágio final do rompimento da Gondwana [...]”, no Cretáceo Superior (~100 – 65,6 Ma). O aparecimento desses rios, criados, segundo Potter (1997, p. 334), no Pós-Cretáceo Inferior e estruturados após a separação da América do Sul e África, foi precedido, em milhões de anos (entre 180 e 90 Ma), por outros estágios

de evolução geológica das áreas nas quais ocorrem e que culminaram com a abertura do oceano Atlântico e a fragmentação do supercontinente Gondwana em diferentes blocos de terra que constituem, hoje, diversos continentes (FIGURA 1).

Figura 1 – Imagem idealizada do supercontinente Gondwana, quando parte da América do Sul (e o Brasil) ainda se encontrava ligada ao continente africano.



Fonte: Modificado pelos autores, a partir de: NEUBAUER, 2014.

Nota: Após seu rompimento no Cretáceo Inferior, esse supercontinente deu origem ao oceano Atlântico. Isto afetou as condições geológicas, climáticas e geomorfológicas do Brasil (e África), induzindo à formação de bacias interiores, incluindo aquela na qual foram depositados os sedimentos que deram origem às rochas areníticas do Grupo Urucuia, que forma o substrato geológico de parte da bacia do rio Pandeiros.

Os estágios Barremiano-Aptiano (126 a 100 Ma), no Eocretáceo, por exemplo, foram marcados pelas tensões extensivas, com direção predominante S-N. resultantes do rifte-

amento ativo que marcou a abertura de novo assoalho oceânico no Atlântico Sul (CAMPOS; DARDENNE, 1997a).

Foi no Barremiano, que teriam se instala-



do, de acordo com Darros de Matos (1999, p. 61), grabens e hemi-grabens intracratônicos, inclinados e assimétricos, como os do Gabon (África), Sergipe-Alagoas, Recôncavo-Tucano-Jatobá e Cariri-Potiguar (Brasil), com direção predominante de S-N. É quando tem início a deposição de sedimentos em depressões geradas por “subsidência mecânica”, de calhas rasas, com pouca significância regional e com a presença de grabens locais. Este é o caso da Depressão Urucuia, que recebeu no Cretáceo Superior, os sedimentos do Grupo Urucuia (CAMPOS; DARDENNE, 1997a, p. 288). Segundo estes autores, a sedimentação teria se iniciado no Cenomaniano (~100-93 Ma), quando as alterações de tensões extensionais responsáveis pela criação dos rifteamentos com falhas transformantes E-W, herdada do Albiano (113 a 100 Ma), passaram para as compressivas no interior dos continentes. Essa mudança marcou a passagem da fase rifte para a pós-rifte na margem continental, com a consequente geração do assoalho oceânico do Atlântico e a presença de mar aberto.

A fase de baixa energia tectônica, segundo Campos e Dardenne (1997a, p. 288), foi caracterizada pela acumulação de sedimentos na Bacia Urucuia, representando o maior volume dos sedimentos da Bacia Sanfranciscana. Spigolon e Alvarenga (2002, p. 579) definem o Grupo Urucuia, mapa 2, como “um conjunto de rochas siliciclásticas, de idade neocretácea, formado por conglomerados, arenitos e siltitos depositados em ambientes essencialmente continentais”. A deposição teria gerado os sedimentos da Fácies 1, na base da Formação (Fm.) Posse do Grupo Urucuia, segundo Campos e Dardenne (1997b), em clima predominantemente árido indicado

pela presença das areias eólicas, ou dunas (MATTOS, 1999; SPIGOLON; ALVARENGA, 2002). Como lembram Hay e Floegel (2012), o clima árido também prevaleceu em várias partes da Terra nesse período geológico.

Os sedimentos flúvioeólicos encontrados na Fácies 2, no topo da Fm. Posse, Mapa 2, no entanto, já evidenciam, de acordo com Campos e Dardenne (1997b) e Spigolon e Alvarenga (2002), um ambiente deposicional mais úmido. Eles estão associados aos sistemas de drenagem formados por rios de caráter torrencial, com a geração esporádica de fluxos competentes de água, em contraste com o ambiente predominantemente eólico de dunas da Fácies 1. Os depósitos aluviais marcam o limite superior da Fm. Posse (base) com a Fm. Serra das Araras, Mapa 2, que constitui o topo do Grupo Urucuia. Os sedimentos da Fm. Serra das Araras já indicam, portanto, deposição em ambiente de rios de planícies, embora contenham também contribuição eólica, a qual, para Lima (1983), pode ser proveniente do retrabalhamento dos sedimentos da Fm. Posse.

Iglesias e Uhlein (2007, p. 257-258), também atribuem aos eventos de reativação tectônica associados à abertura do Atlântico Sul [...] “o fraturamento generalizado, segundo as direções NE e NW, que vem condicionando grande parte do sistema de drenagem da área” [...]. O proto-rio São Francisco, que precedeu temporalmente o proto-rio Pandeiros, teria feito parte dessas drenagens interiores, marcadas pela continentalidade. Assim, é bem provável que em suas fases iniciais, o proto-rio São Francisco (rSF) tenha tido sua drenagem voltada para o interior do continente. Sua organização, bem como a dos demais rios ancestrais, teria ocorrido, de acordo com

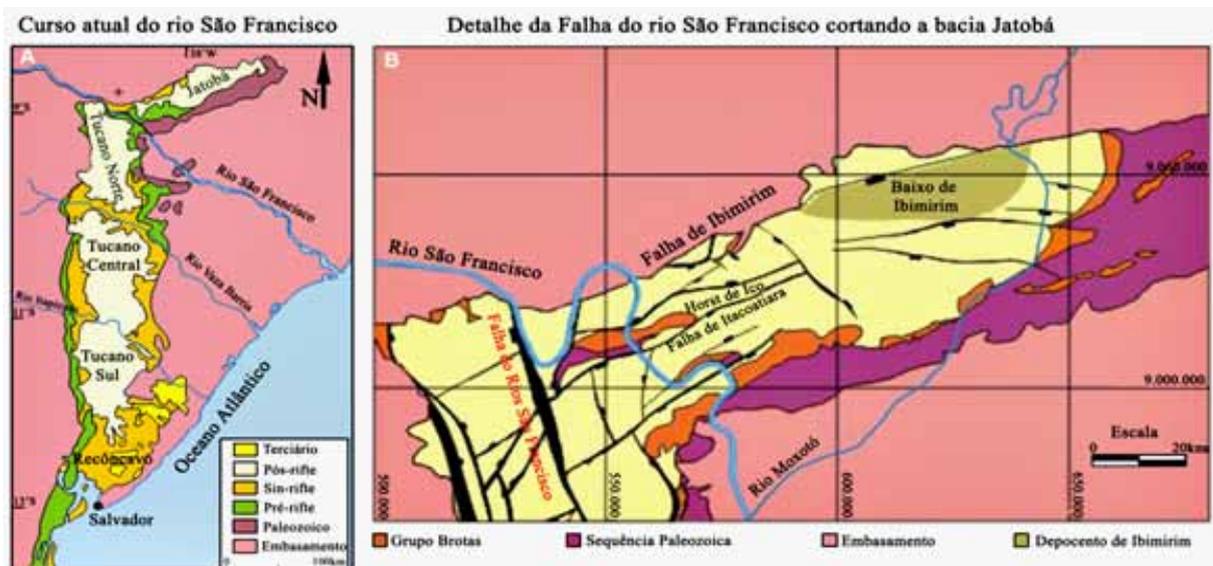
Karner e Driscoll (1999, p. 33), em períodos mais tardios do Cretáceo Superior por que, segundo Potter (1997, p. 33; citado por POTTER; HAMBLIN, 2006, p. 41), as fases de rifteamento causaram a [...] “desestruturação das drenagens pretéritas” [...] (*op. cit.*, p. 26). Ou seja, o aparecimento de estruturas mais elevadas do relevo paralelas à região costeira associadas ao soerguimento crustal geral no Eoceno (56 a 33,9 Ma), também afetou outras drenagens, conforme Ribeiro; Riccomini e Leite (2018), obrigando o proto-rSF, a se redirecionar S-N, Figura 2 (POTTER; HAMBLIN, 2006).

Foi nessa fase que o rSF capturou os segmentos de rios a montante, que originalmente corriam para o Atlântico, enquanto seu

curso médio a superior, no qual se encontra localizado o rio Pandeiros, continuava a seguir “o eixo do Cretáceo-Terciário da bacia sedimentar do SF se sobrepondo às rochas da bacia do Bambuí, atravessando as drenagens mais baixas que cortam o rifte Jatobá para o Atlântico” (POTTER; HAMBLIN, 2006, p. 26) (FIGURA 2B).

A contínua abertura do assoalho do Atlântico possibilitou a saída direta da proto-drenagem do rSF, Figuras 2 e 3, para o litoral nordeste de acordo com Karner; Driscoll (1999, p. 33), o que trouxe maior umidade para as áreas cobertas pelas rochas do Grupo Uruçuia, influenciando na dinâmica de deposição dos sedimentos.

Figura 2 – Percurso do rio São Francisco.



Legenda: A) Trecho atual do rio São Francisco, encaixado em uma falha transcorrente (falha do rio São Francisco) com direção W-L, atravessando a bacia Jatobá, em seu limite sul com a bacia Tucano Norte.

B) Detalhe da falha nos limites desta bacia sedimentar.

Fonte: Adaptado de: (A) à esquerda: www.phoenix.org.br. (B) à direita: VERAS *et al.*, 2017.

Karner e Driscoll (1999, p. 32, 33) postulam que no processo, no Eoceno Médio, o proto-rio São Francisco teria capturado o rio Parnaíba no ponto de inflexão do rSF para leste em direção ao Atlântico (FIGURA 3).

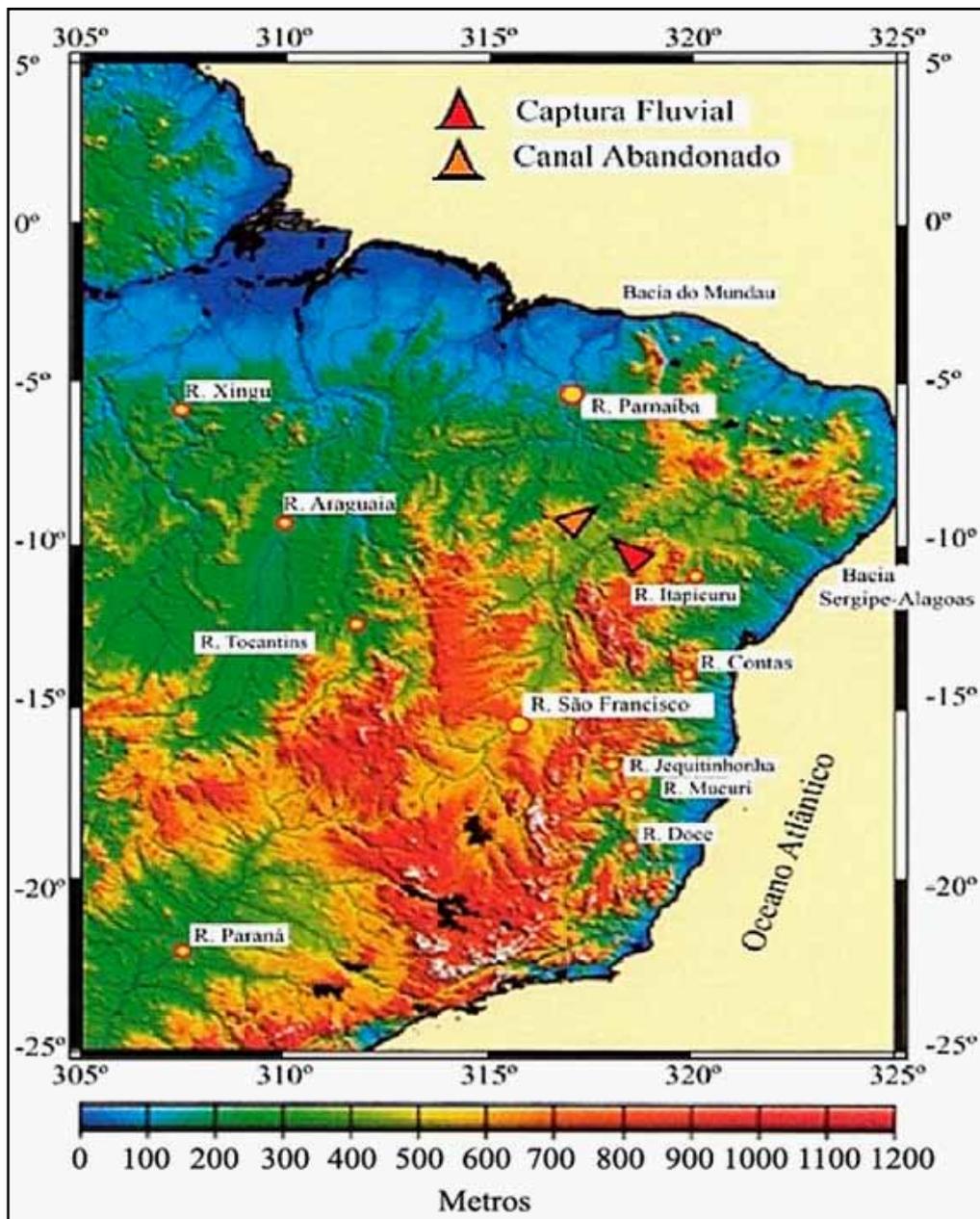
Para eles, a conexão, que foi depois cortada, teria contribuído para diminuir a quantidade de deposição de turbiditos na bacia Mundaú, no litoral norte, e aumentado a da bacia de Sergipe, no litoral leste do Brasil (p. 33 e 34).



A estruturação da bacia do rSF próxima da atual (teria se consolidado somente após seu encaixamento na falha transcorrente W-L, denominada de Falha do Rio São Francisco, entre as bacias do Jatobá e Tucano Norte, Figura 3, “no tectonismo do Mioceno” (POTTER; HAMBLIN, 2006, p. 26). Ambos os au-

tores (2006, p. 26) creditam a preservação das drenagens ancestrais, como a do rSF, ao fato de não terem sido “enterradas por depósitos de morainas e nem erodidas desde o rompimento da Gondwana, tendo escapado de colisões continentais posteriores e das glaciações continentais”.

Figura 3 – Mapa topográfico de parte do Brasil, mostrando o canal do rio São Francisco



Legenda: Seta vermelha: local onde teria se dado, no Eoceno Médio, a captura do rio Parnaíba;

Seta laranja: conexão esta que posteriormente foi interrompida

Fonte: Adaptado de: VERAS *et al.*, 2017.

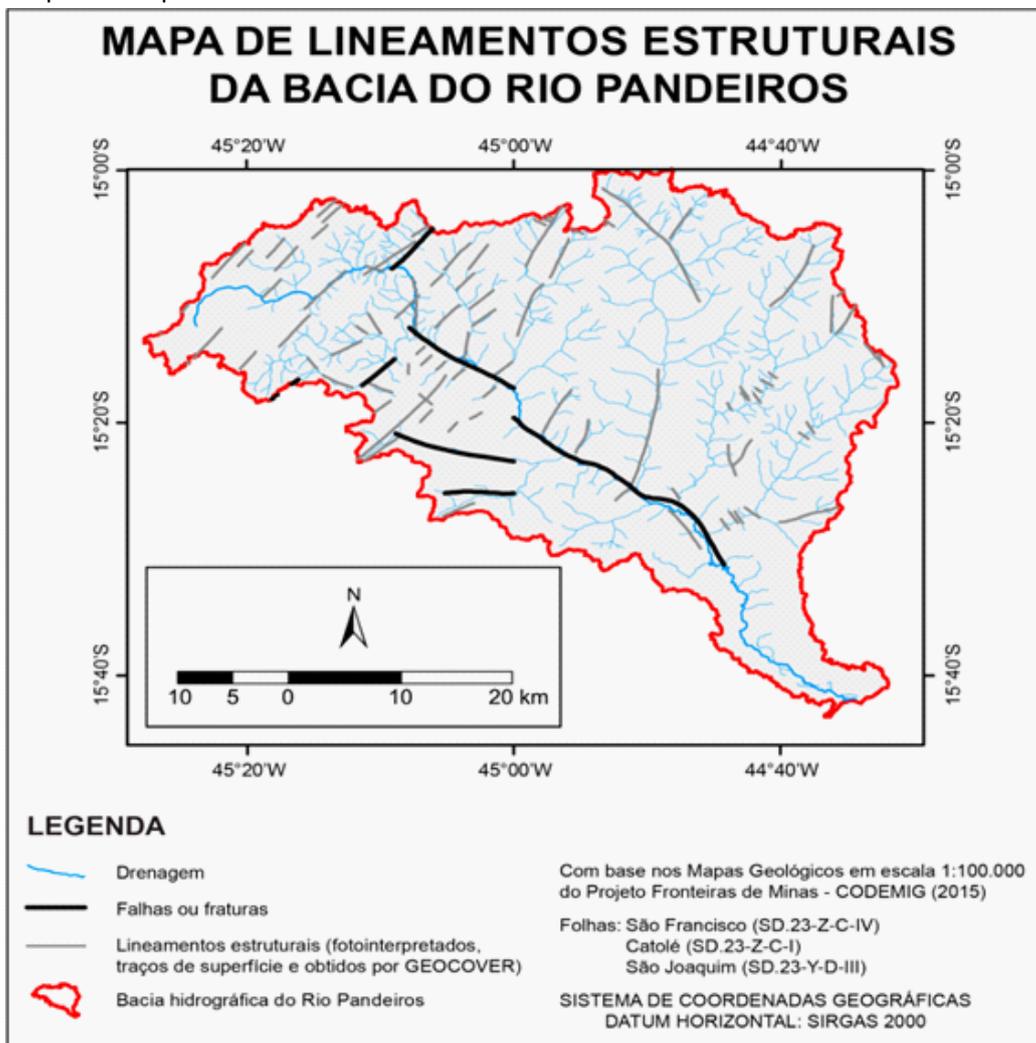
Também, de acordo com Potter e Hamblin, (2006, p. 26), por nunca terem sido “afetadas fortemente por tectônica local ou distal”, tendo se desenvolvido em “uma ampla bacia intracontinental com pequena subsidência, apenas localmente afetada por incipientes processos tafrogênicos”.

A evolução da drenagem do rio Pandeiros

O encaixamento do rio Pandeiros se deu ao longo da falha normal, extensional, com direção NW / SE, localizada no seu médio-

baixo curso, Mapa 4, e na qual segue encaixado, até os dias de hoje, em grande parte do seu percurso em vale aberto em rochas do Grupo Urucuia. Ele ocorreu pela captura do Pandeiros pelo rSF que constituiu na época, e ainda constitui, seu nível de base. É possível que no período da captura, o canal do rSF estivesse erodindo mais próximo às porções mais elevadas do atual baixo curso do Pandeiros, esculpindo paredões e criando poljes nas rochas carbonáticas da Fm. Sete Lagoas, do Grupo Bambuí.

Mapa 4 – Mapa de lineamentos da bacia do rio Pandeiros.



Fonte: Adaptado de CODEMIG; UFMG, Mapas Geológicos das Folhas São Francisco, Catolé e São Joaquim, 2015.

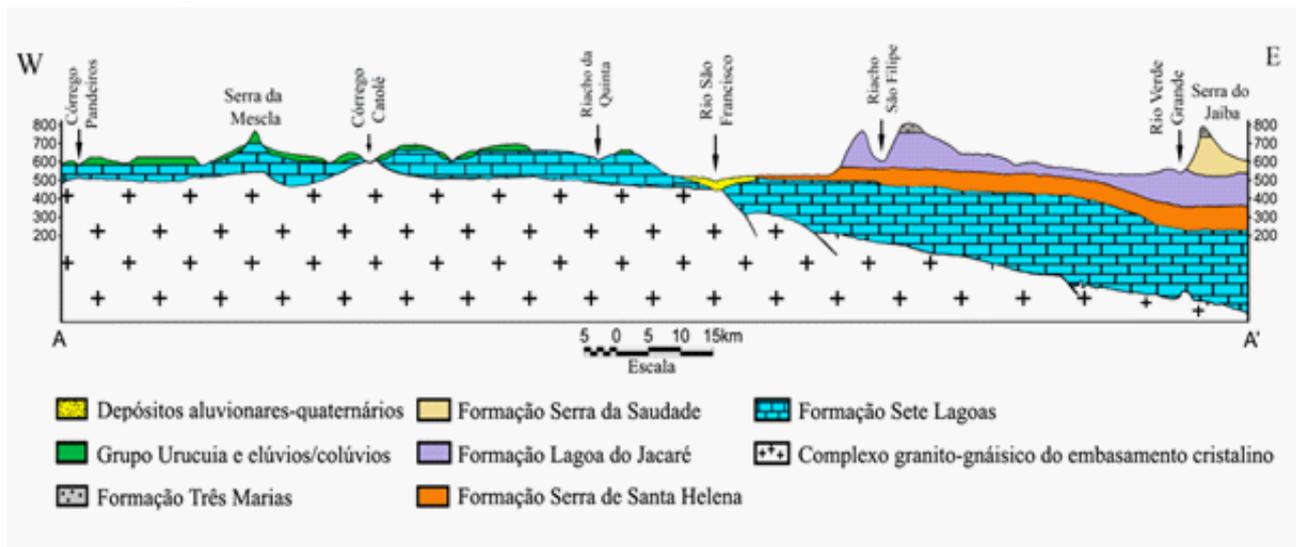
Nota: Indica a presença de falha normal, extensional SE-NW que induziu o encaixamento do proto-rio Pandeiros após captura pelo proto-rio São Francisco, presumidamente no Neogeno.



O contexto geológico da abertura da bacia na área de estudo ainda pode ser identificado até hoje, ao se observar a área de deposição das rochas do Grupo Bambuí na margem esquerda e na direita da calha do rSF (FIGURA 4). Mesmo não havendo correspondência entre as sequências estratigráficas dos dois lados, a sedimentação das rochas do Bambuí ultrapassa os limites da margem direita do

canal do rio, indicando a grande extensão da deposição dessas rochas (FIGURA 4). A discrepância nas sequências estratigráficas dos dois lados da calha, seria, de acordo com Iglesias e Uhlein (2009), decorrente da reativação de falha atualmente ocupada pelo canal do rSF, que teria rebaixado sua margem direita (FIGURA 4).

Figura 4 – Perfil geológico com direção W-E da bacia do Pandeiros, desde a Chapada das Gerais, até a margem direita do rio São Francisco



Fonte: Adaptado de: IGLESIAS; UHLEIN, 2009.

Nota: Mostra a continuidade, mesmo que com discrepância estratigráfica, das rochas do Grupo Bambuí em toda a área da bacia, bem como a ocorrência das rochas do Grupo Urucuia restrita à margem esquerda do rio São Francisco.

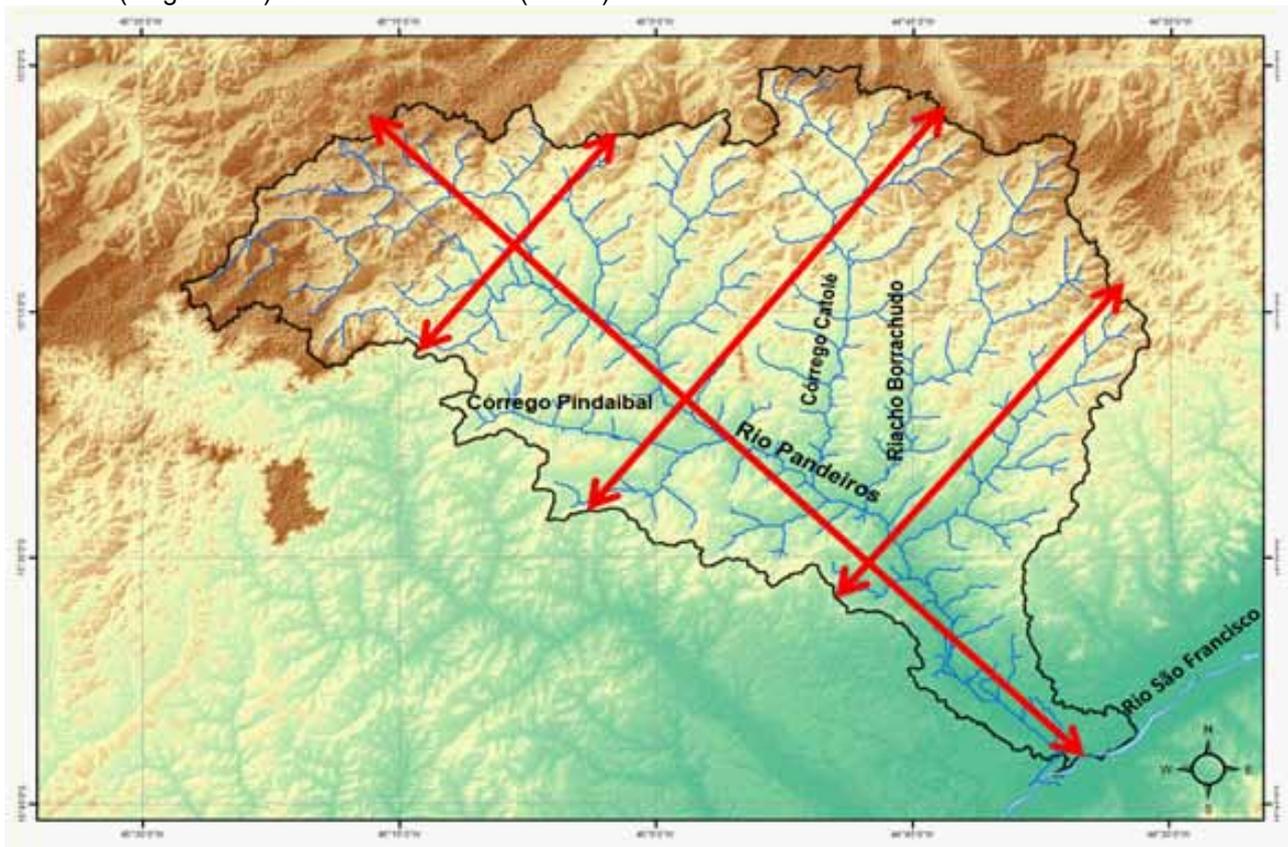
A Figura 4 mostra que não houve deposição das rochas do Bambuí na porção a montante do córrego Catolé (o mesmo podendo ser observado no Mapa 2, no riacho Borrachudo) devido à presença, já na época, de uma área topograficamente mais elevada (Alto Estrutural de Januária). Ela foi formada pelo soerguimento das rochas do complexo granítico do embasamento antes da deposição do Bambuí (IGLESIAS, 2007). A presença do alto estrutural também afetou, no Cretáceo Superior, a deposição das rochas

do Grupo Urucuia, levando ao adelgaçamento das camadas da Fm. Posse e impedindo, em parte, a deposição dos sedimentos da Fm. Serra das Araras a jusante da bacia (FIGURA 4). Outra hipótese para a ausência das rochas do Bambuí sobre o embasamento, é que este pacote, adelgado pela presença do Alto Estrutural de Januária, teria sido erodido antes da deposição do Urucuia, no Cretáceo Superior. A captura do rio Pandeiros pelo São Francisco que tinha (e continua tendo) o nível altimétrico da sua calha mais baixo do que o

do Pandeiros, provocou erosão a remontante e o recuo das cabeceiras deste último, bem como o alargamento da porção média da sua bacia (MAPA 5). Ao longo do tempo, a grande ruptura de declive que hoje forma as escarpas

da Chapada das Gerais, nos limites NW, N e NE da bacia do rio Pandeiros, também recuou de SE para NW, erodida pelo Pandeiros e seus afluentes, levando ao aumento progressivo da área da bacia (MAPA 5).

Mapa 5 – Expansão das bordas da bacia do rio Pandeiros, resultantes da erosão a remontante da sua cabeceira (longitudinal) e de seus afluentes (lateral)



Fonte: Elaborado pelos autores, 2022.

Nota: As setas indicam os limites da expansão das bordas da bacia do rio Pandeiros, que retirou quase toda a cobertura das rochas da Formação Serra das Araras, expondo a Formação Posse e, também, as rochas carbonáticas do Grupo Bambuí e mesmo aquelas do complexo granítico.

Nesse processo, os rios retiraram os sedimentos das rochas areníticas da Fm. Serra das Araras, expondo as rochas da Fm. Posse, do Grupo Urucua, bem como as carbonáticas do Grupo Bambuí e, em áreas restritas, as do complexo granítico-gnáissico (FIGURA 4).

Os efeitos dos processos de dissecação do sistema de drenagem do rio Pandeiros e aquele produzido pela erosão das encostas, podem ser sumarizados através da análise

dos perfis geológicos da bacia, elaborados a partir do mapa geológico (MAPA 2).

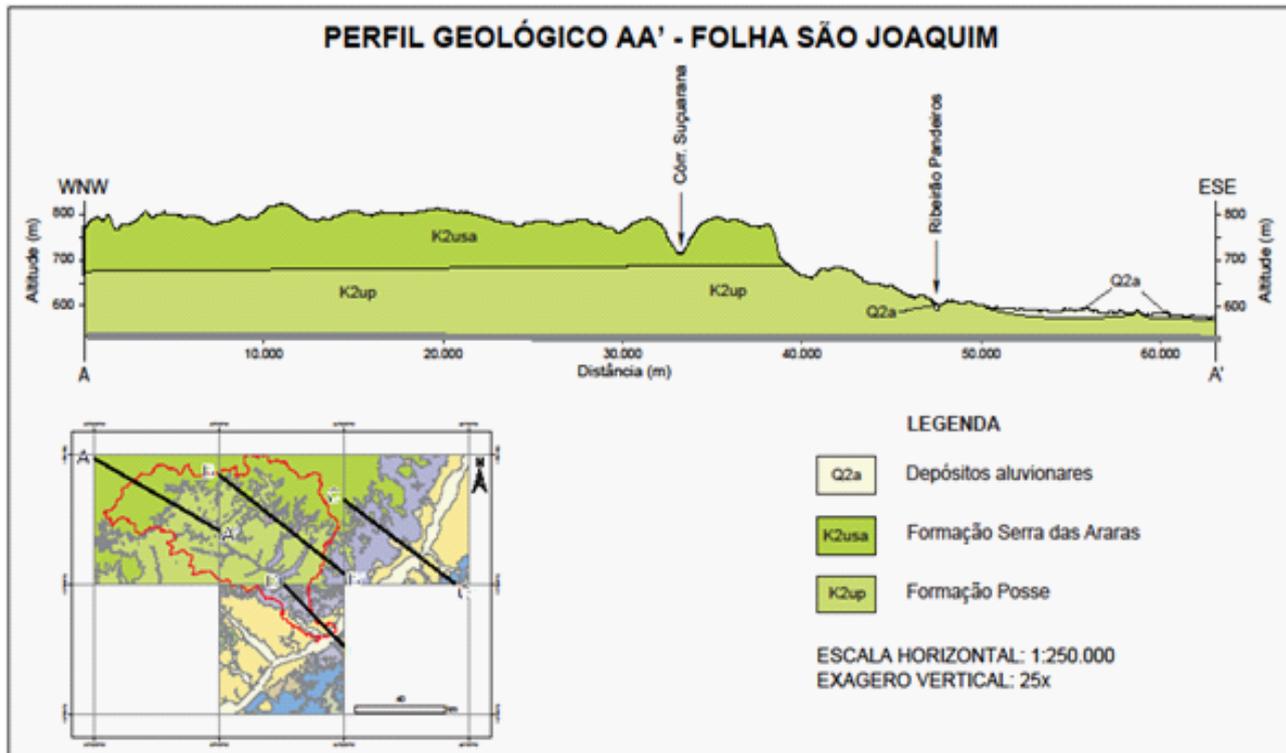


Análise dos perfis geológicos da bacia do rio Pandeiros

Perfil AA'

A Figura 5 do Perfil geológico transversal AA' corresponde ao trecho do alto curso do

Figura 5 – Perfil geológico AA'



Fonte: Os autores, com base em CODEMIG; UFMG, 2015, Folha São Joaquim.

Nota: Domínio das rochas da Formação Serra das Araras (K2usa), do topo do Grupo Urucuiá, do Cretáceo Superior, restrito à área da Chapada das Geraís, nas porções mais elevadas do relevo da bacia do rio Pandeiros. Em porções da base das Escarpas, a erosão expôs as rochas da Formação Posse (K2up).

Nele, é ainda possível identificar camadas sedimentares relativamente horizontalizadas da Fm. Serra das Araras, depositadas estratigraficamente sobre as da Fm. Posse. A erosão ainda fez recuar as Escarpas da Chapada das Geraís que margeiam o noroeste (NW), norte (N) e nordeste (NE) da bacia: a primeira, nos limites com a bacia do rio Carinhanha; a segunda, com a do rio Cochá e, a última, com a do Peruaçu, respectivamente. Isto provocou o trabalho de encaixamento da drenagem dos tributários da margem esquerda do rio

Pandeiros, na área de domínio da Chapada das Geraís, cuja direção e extensão são indicadas no mapa menor na mesma figura (CODEMIG; UFMG, 2015).

Pandeiros removendo as rochas intemperizadas do Grupo Urucuiá (FOTOGRAFIA 4). No passado geológico, antes da abertura da bacia do Pandeiros, elas chegaram a cobrir grande parte das rochas da Fm. Posse. Este fato é atestado pela presença de relevos reliquiais (testemunhos), esculpido sobre rochas residuais da Fm. Serra das Araras, que ainda podem ser identificados nas porções média e baixa da bacia, como é o caso do Complexo da Serra (meseta) da Mescla.

Fotografia 4 – Afloramento de conglomerados avermelhados da Formação Serra das Araras, borda NE da Chapada das Gerais, no extremo noroeste da bacia

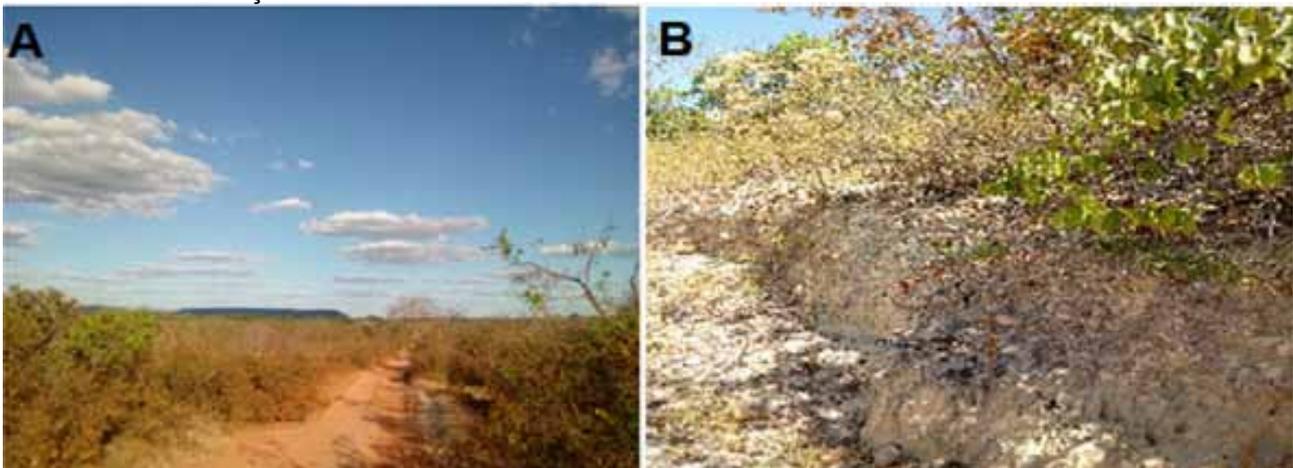


Fonte: AUGUSTIN, C.H.R.R., 2019.

No passado geológico, antes da abertura da bacia do Pandeiros, elas chegaram a cobrir grande parte das rochas da Fm. Posse. Este fato é atestado pela presença de relevos reliquiais (testemunhos), esculpidos sobre rochas residuais da Fm. Serra das Araras, que ainda podem ser identificados nas porções média e baixa da bacia, como é o caso do Complexo da Serra (meseta) da Mescla.

Nas porções mais baixas do relevo, abaixo de 600 m, as rochas da Fm. Serra das Araras não são mais encontradas, retiradas pelos processos hidrogeomorfológicos (fluviais e de encosta) que modelaram o relevo. Elas dão lugar às rochas mais esbranquiçadas da Fm. Posse espacialmente dominantes na bacia (FOTOGRAFIA 5).

Fotografia 5 – Relevo residual da Serra da Mescla e exposição do material mais claro das rochas da Formação Posse



Legenda: A) Relevo mais alto da meseta da Serra da Mescla (rochas da Formação Serra das Araras).

B) Corte de estrada vicinal, com material mais claro das rochas da Formação Posse.

Fonte: AUGUSTIN, C. H. R. R., 2019

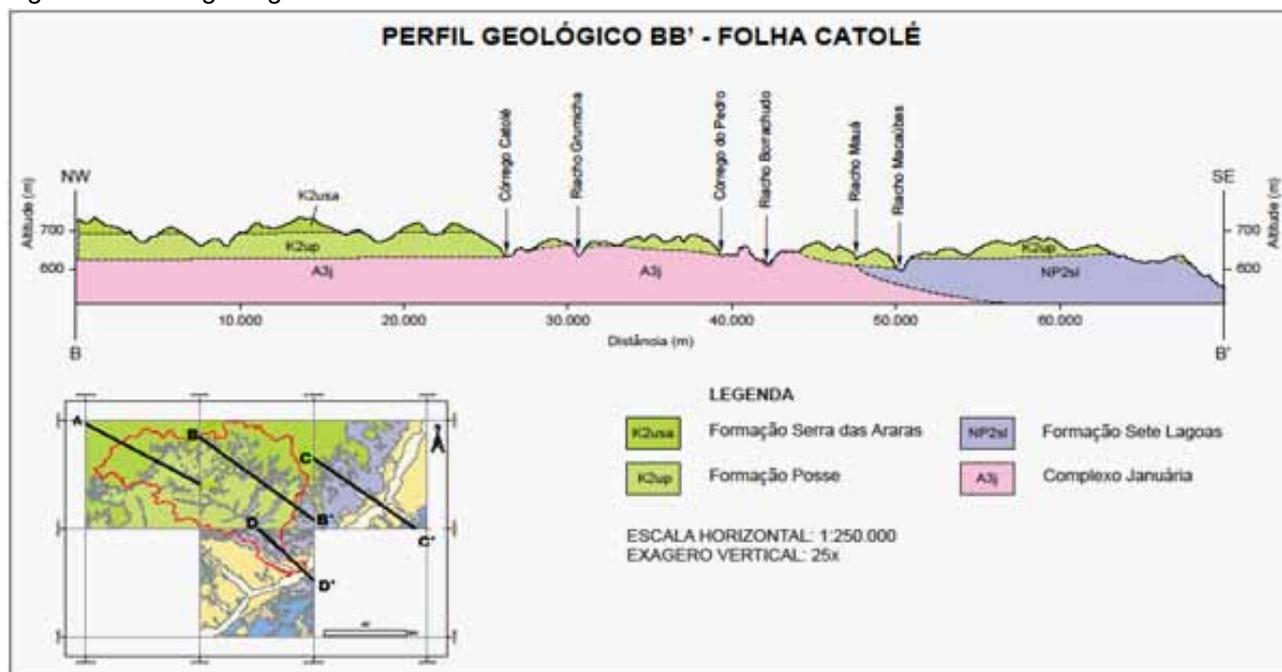
Perfil BB'

O segundo perfil geológico BB', figura 6, corresponde à área que vai do médio rio Pandeiros, no Domínio Geomorfológico III das Vertentes Longas, onde rochas da Fm. Serra das Araras ainda são encontradas sustentando as porções mais elevadas do relevo, até o baixo Pandeiros, de relevo cárstico. A exposição das rochas da Fm. Posse da base do Grupo Urucuia em grande parte da bacia, demonstra a eficiência geomorfológica do sistema fluvial do rio Pandeiros, que, ao

se encaixar, aciona os processos de erosão das encostas, levando à retirada expressiva das rochas da Fm. Serra das Araras, as da Fm. Posse, bem como os seus materiais intemperizados in situ (elúvios) ou aqueles detríticos (colúviais e aluviais).

Tal trabalho foi realizado ao longo do tempo geológico, através de incisão (vertical) e expansão (lateral) dos vales e sub vales, expondo as rochas que compõem as sequências inferiores do Grupo Urucuia (FOTOGRAFIA 5).

Figura 6 – Perfil geológico BB'



Fonte: Adaptado de CODEMIG; UFMG, 2015, Folha Catolé.

Nota: No Domínio Geomorfológico III, das Vertentes Longas, se destaca o desaparecimento gradual das rochas da Formação Serra das Araras e exposição das rochas da Formação Posse, ambas do Grupo Urucuia, bem como as carbonáticas do Grupo Bambuí e as rochas granito-gnáissicas do Complexo Januária.

O mesmo conjunto de processos hidromorfológicos atuaram, e ainda atuam, expondo as rochas do Complexo Januária, Mapa 2 e Figura 4, formado por dioritos mesocráticos, granitoides róseos alcalinos de granulação grossa e gnaisses com bandamento do emba-

samento cristalino (CODEMIG; UFMG, 2015), nos vales do alto-médio do córrego Catolé e do riacho Borrachudo (FIGURA 6).

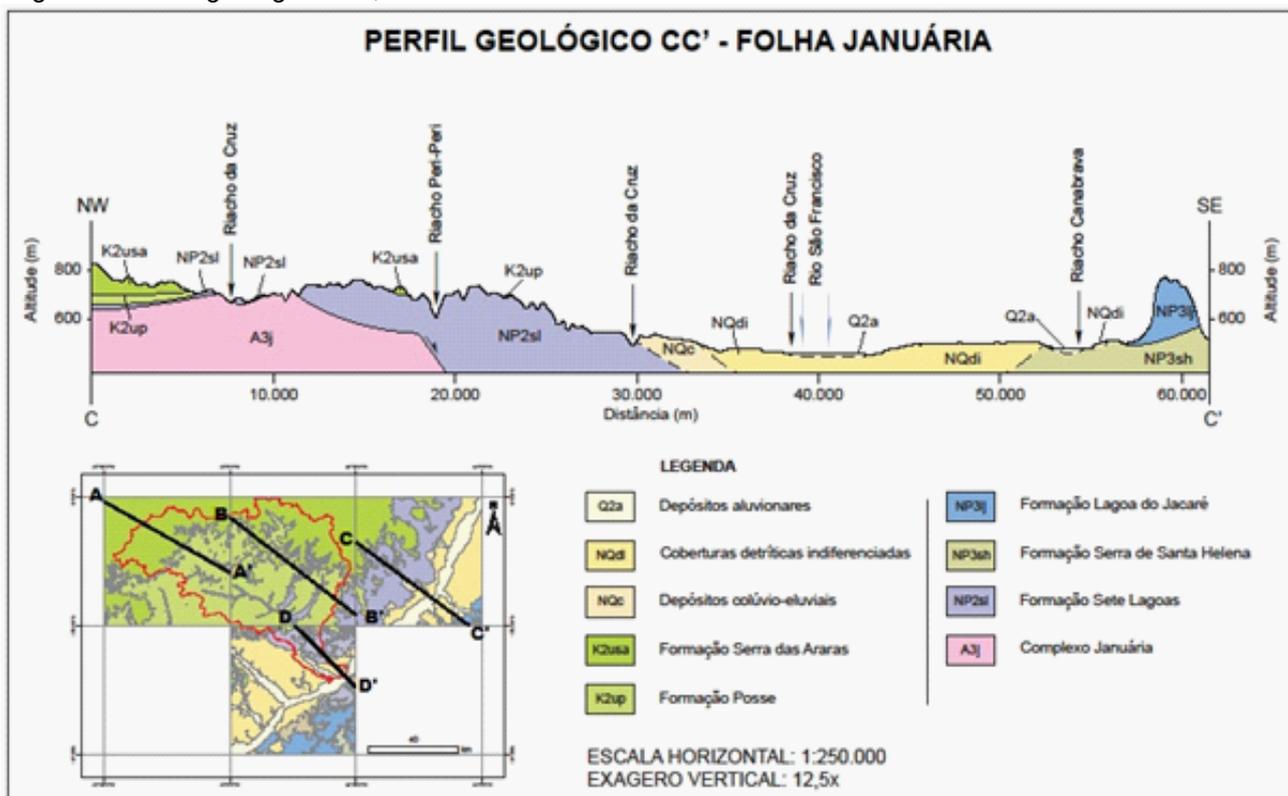
Perfil CC'

A Figura 7 (Perfil CC') mostra detalhes

do substrato das rochas carbonáticas da Fm. Sete Lagoas. É possível verificar a ocorrência de relevo residual formado sobre rochas do Grupo Urucuia na margem esquerda do rSF, indicando que tanto o relevo como as rochas deste grupo, chegavam até bem próximos da calha atual do rio, não tendo, contudo, conti-

nuidade na margem direita (FIGURA 4). Isto ocorre porque a falha geológica ocupada pela calha do rSF “seria um divisor na distribuição e espessura, controlando a continuidade da deposição das formações do Grupo Bambuí na área” (IGLESIAS; UHLEIN, 2009, p. 257)

Figura 7 – Perfil geológico CC', do baixo rio Pandeiros



Fonte: Adaptado de CODEMIG; UFMG, 2015, Folha Januária.

Nota: Transição entre as rochas areníticas do Grupo Urucuia, que já recobriram grande parte da bacia com um relevo plano e elevado, e as rochas carbonáticas do Grupo Bambuí, mais próximas do rio São Francisco. Também identifica vales de rios nos quais a retirada dos sedimentos, expõe o complexo granítico.

O perfil também evidencia os afloramentos do Complexo Januária, realçando o efeito do Alto Estrutural na exposição do embasamento cristalino. Por se tratar de área de exposição relativamente pequena, estas rochas ainda não têm amplitude espacial suficiente para formar um padrão de relevo típico de rochas do complexo granítico. Nas

Figuras 7 e 4, é possível notar a extensão dos sedimentos aluviais do rSF (depósitos aluvionares-aternários), que podem atingir, neste trecho e em certas épocas do ano, mais de 2.500 m de largura. Formam uma planície aluvial, com muito retrabalhamento do material sedimentar em função da sazonalidade típica de margens de planícies



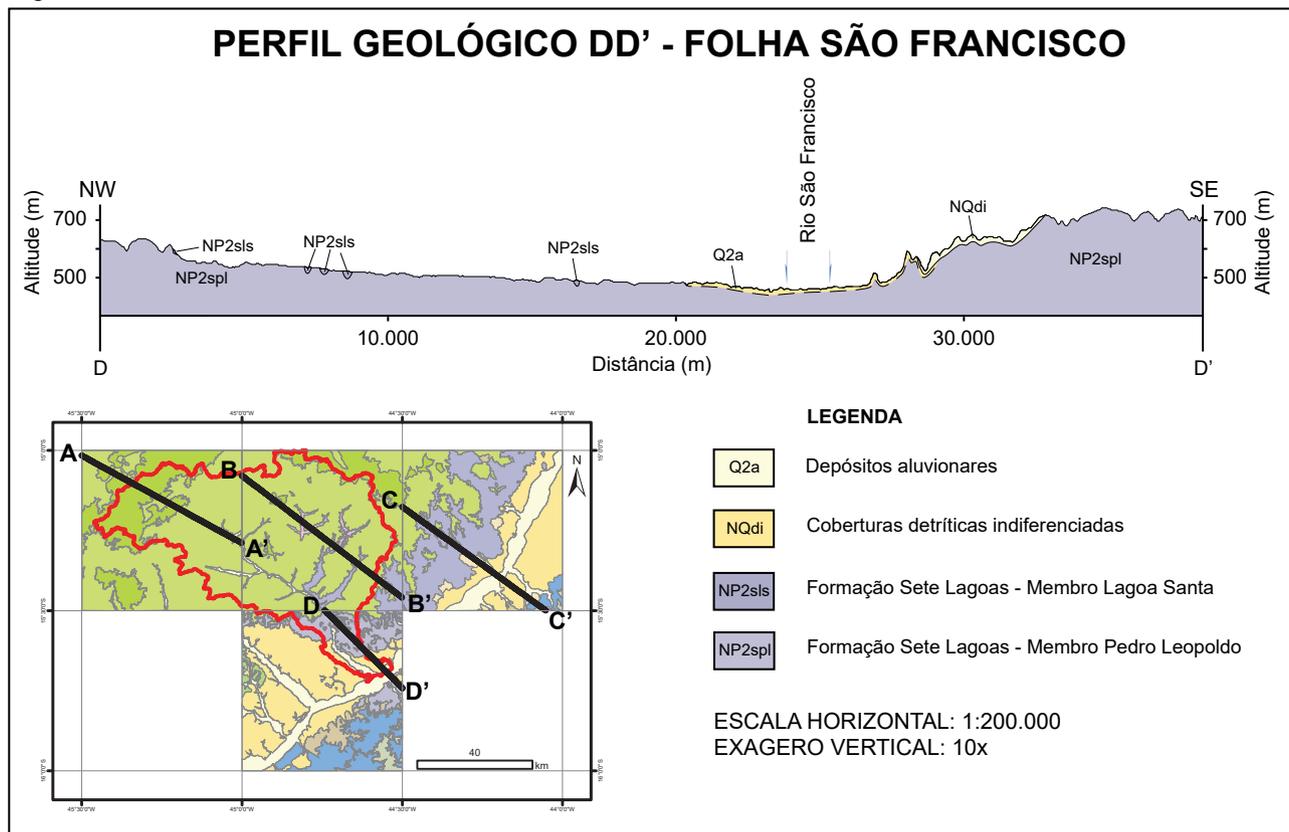
aluviais. A extensão lateral da faixa deposicional dos sedimentos aluviais do rSF, bem como o contato direto destes sedimentos com as rochas carbonáticas do Grupo Bambuí, tanto do lado esquerdo (Fm. Sete Lagoas) no qual está encaixada a drenagem do rio Pandeiros, quanto do lado direito (Fm. Serra de Santa Helena), permitem assumir que o rSF tenha erodido diretamente estas rochas em passado não muito distante, ou seja, do Neogeno até o Quaternário (23 a 0.01 Ma).

das rochas carbonáticas do Grupo Bambuí em relação àquelas do Grupo Urucuaia. A ocorrência geograficamente mais extensa das rochas do Grupo Bambuí nesta área possibilitou o desenvolvimento de feições geomorfológicas predominantemente de dissolução, características de relevos cársticos (Domínio Geomorfológico V). Em meio aos afloramentos rochosos, ocorrem planícies (poljes), cavernas, torres, lapiás, dolinas e uvalas.

Perfil DD'

No perfil DD', Figura 8, no baixo rio Pandeiros, pode-se perceber o predomínio

Figura 8 – Perfil DD'



Fonte: Elaborado pelos autores com base em CODEMIG; UFMG, 2015, Folha São Francisco.

Nota: Sequências das rochas do baixo curso do rio Pandeiros, em sua confluência com o rio São Francisco.

Os afloramentos, em parte ladeados por poljes, formam as porções mais elevadas do relevo nessa área. O corte geológico CC', Figura 8, da Folha São Francisco (CODEMIG; UFMG, 2015), e a Figura 4, permitem observar que os arenitos do Grupo Urucuia não mais ocorrem no baixo Pandeiros, tendo sido retirados pela erosão. Após, e concomitantemente à erosão, foram depositados sedimentos aluviais, denominados de "detritos indiferenciados" no mapa geológico da Folha São Francisco (CODEMIG; UFMG (2015), mas que compõem de fato, neste caso, carga sedimentar de origem aluvial deixada pelo rio São Francisco em sua planície aluvial.

Perfil EE'

A evolução da bacia do rio Pandeiros é sintetizada na Figura 9, através de um perfil geológico do topo da Chapada das Gerais, no domínio das rochas da Fm Serra das Araras, passando pelas Escarpas, pelos relevos no domínio das rochas também areníticas da Fm Posse até o domínio do relevo cárstico das rochas carbonáticas do Grupo Bambuí. Estas últimas, já foram parcialmente e localmente recobertas pelos arenitos, encontram-se, hoje, expostas até serem recobertas pelos sedimentos da planície aluvial do rSF. A linha vermelha pontilhada na Figura 9, indica o antigo nível do relevo, que poderia ter sido mais, ou menos inclinado, formando uma superfície erosiva dominada por rochas da Fm, Serra das Araras, do Grupo Urucuia.

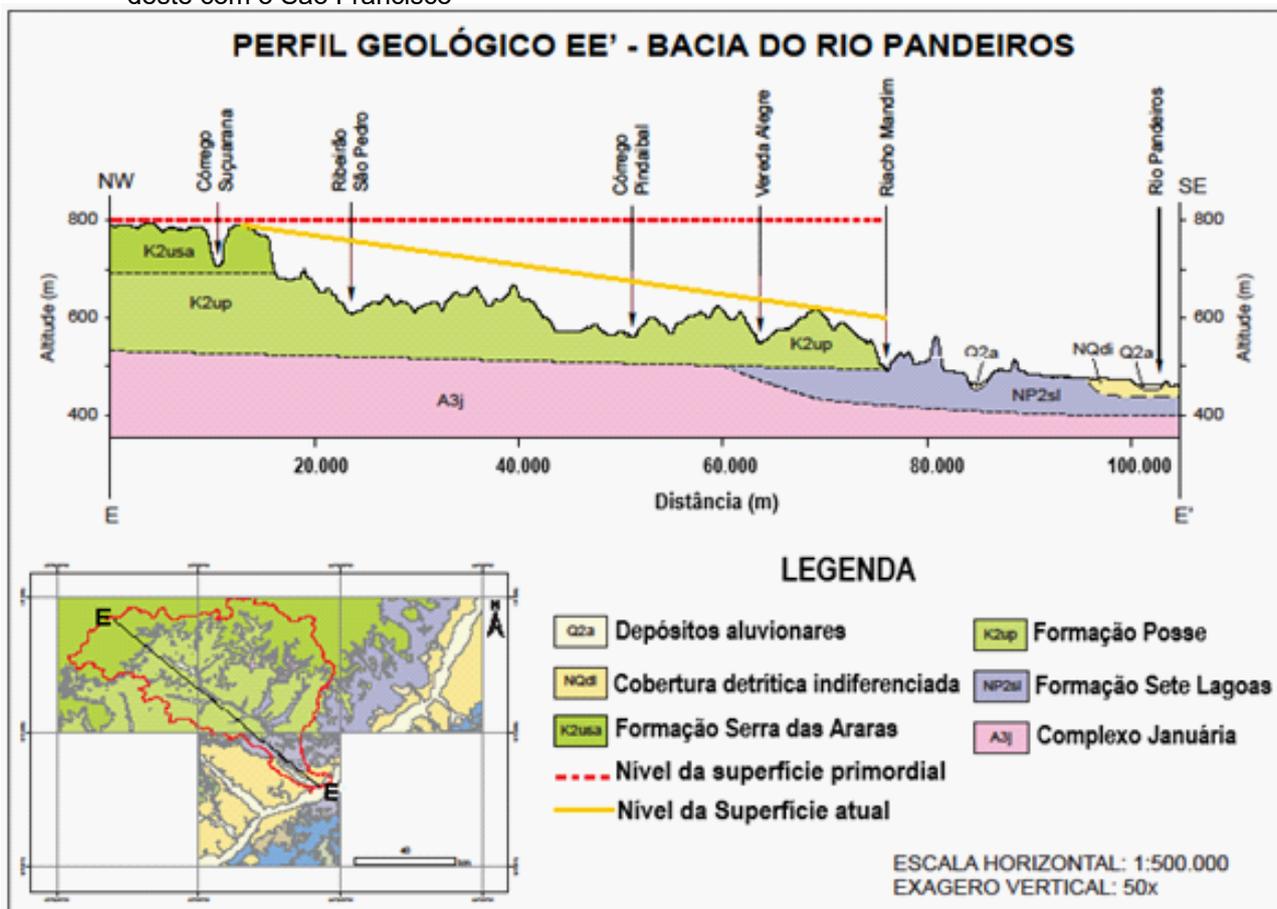
Evidências dessa antiga superfície da Chapada das Gerais ainda são encontradas na porção média da bacia (complexo da Serra

da Mescla) e mesmo no início do baixo Pandeiros margem esquerda do córrego Mandim, como identificado em campo (AUGUSTIN *et al.*, 2020). A dissecação do sistema fluvial e erosão das encostas do Pandeiros levaram à erosão e retirada dessas rochas através do transporte dos seus sedimentos. A antiga superfície era, provavelmente, mais elevada do que a linha em vermelho plotada no corte geológico da Figura 9, uma vez que, na medida em que a bacia foi sendo erodida a remontante, a porção mais elevada representada pela Chapada das Gerais, de domínio das rochas da Fm. Serra das Araras, também foi sendo rebaixada.

A linha amarela na Figura 9, exibe a inclinação atual do relevo, também do topo da chapada das Gerais até a calha do rSF. Pode-se notar a ocorrência de "ilhas" mais elevadas com relação ao nível geral e ainda o fato de que as altitudes apresentam uma queda de aproximadamente 380 m entre os maiores e os menores valores, o que atesta a eficiência do sistema de drenagem do rio Pandeiros na retirada de sedimentos e na modelagem do relevo na bacia.



Figura 9 – Perfil longitudinal EE' da bacia do rio Pandeiros, do topo da Chapada das Gerais até o encontro deste com o São Francisco



Fonte: Adaptado de CODEMIG; UFMG, 2015, Mapas Geológicos, Folhas: São Joaquim, Catolé, São Francisco.
 Nota: A linha vermelha marca o provável nível da antiga superfície que se estendia pelo menos da altitude da atual Chapada das Gerais, até próximo ao encontro do rio Pandeiros com o São Francisco; a linha amarela mostra a inclinação geral atual do relevo no mesmo trecho.

Conclusões

A presente pesquisa, com base na literatura e em análises de mapas, perfis topográficos e controle de campo, evidenciou que na bacia do rio Pandeiros, tanto as rochas como o relevo, são testemunhos de uma longa história evolutiva. Ela encontra-se associada ao substrato rochoso e tem início com a formação do embasamento cristalino, entre o Arqueano e o Paleoproterozóico, representado pelo Complexo Januária, sobre

o qual as rochas carbonáticas proterozóicas do Grupo Bambuí e, depois, as sedimentares cretáceas, predominantemente siliciclásticas, do Grupo Uruçuaia se formaram. Vários estudos revelam que estas últimas foram depositadas em condições climáticas desérticas (dunas na base e flúvioeólicas no topo) devido, em parte, à sua posição geográfica no interior do supercontinente Gondwana, cuja ruptura deu origem ao oceano Atlântico, levando à separação, entre outros, dos continentes da América do Sul e África.

A deposição sedimentar, no Cretáceo Superior, de rochas predominantemente areníticas com estruturas horizontalizadas a subhorizontalizadas do Grupo Urucuia, composta pelas formações Posse, da base e Serra das Araras, do topo, favoreceu o desenvolvimento de superfície aplainada. Ela apresenta predominância de drenagem paralela com direção SW-NE, sendo encontrada até hoje nos domínios da Chapada da Gerais, na porção sudeste da Chapada do Aquífero Urucuia, que se estende, em direção ao nordeste brasileiro, até o sul do Piauí.

O rio Pandeiros, no entanto, não apresenta drenagem paralela, correndo de NW-SE em direção ao rSF, seu nível de base quando se estruturou, e ao qual continua associado até os dias atuais. Foi o rSF, considerado um rio ancestral por alguns autores que apontam a existência de um proto-rSF desde o Cretáceo Superior, que capturou o Pandeiros, levando ao seu encaixamento na falha normal, extensional na porção superior do seu baixo curso, área presumivelmente ocupada, na época por rochas do Grupo Bambuí. Esse encaixamento se deu no Mioceno, ou logo após, apontado em vários trabalhos, como a época em que o São Francisco teria adquirido a estrutura fluvial próxima da atual.

A erosão a remontante do rio Pandeiros e a captura dos seus afluentes provocou o recuo das escarpas esculpidas nas rochas areníticas, para a posição que se encontram no presente, causando também o alargamento da bacia. O recuo do relevo aplainado, dominante nas fases iniciais do encaixamento da drenagem, foi resultante da erosão das rochas da Fm. Serra das Araras, deixando

para trás, apenas morros testemunhos, como a serra da Mescla. Em seu lugar desenvolveu-se um relevo predominantemente ondulado nos domínios das rochas da Fm. Posse. Nas áreas das rochas pelíticas e carbonáticas do Grupo Bambuí, o encaixamento do rSF e, posteriormente, do sistema de drenagem do Pandeiros, estão associados aos processos de dissolução química, que expôs afloramentos rochosos das rochas carbonáticas e levou ao desenvolvimento de relevo cárstico nas porções nordeste e leste da bacia.

O conhecimento básico da evolução geológico-geomorfológica da bacia, bem como o papel da drenagem neste processo, auxilia na compreensão das características físicas e na dinâmica da bacia do rio Pandeiros dos dias atuais. Elas influenciam não somente a erosão, o transporte e a deposição de sedimentos, processos que impactam a bacia como um todo, como também o tipo de uso e ocupação da terra.



Referências

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Base Hidrográfica Unifilar**: catálogo de metadados. 2019. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/srv/search>. Acesso em : 16 out. 2022.
- 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: 29 nov. 2022.
- AUGUSTIN, C. H. R. R.; MAIA-RODRIGUES, B. H. Geomorphic and geologic influences in a tropical semi-humid climate ecosystem. AGU - Fall Meeting, Section: Earth and Planetary Surface Processes, 2012, San Francisco, USA. **Proceedings** [...]. San Francisco: AGU, 2012, Identifier: EP31B-0814.
- BANDEIRA, J. V.; SALIM, L. H.; CHAGAS, C. J.; CARMARGOS, C. C.; AUGUSTIN, C. H. R. R.; JARDIM, C. H.; ARANHA, P. R. A.; COSTA, A. M.; SÁ, L. P.; FRANÇA, G. P. Estudos hidrossedimentológicos na bacia hidrográfica do rio Pandeiros, MG, em um contexto multidisciplinar. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE SEDIMENTOS, 13., PARTÍCULAS NAS AMÉRICAS, 1., 2018, Porto Alegre. **Anais** [...]. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2018. p. 1-8.
- BARBOSA, I. S. **Classificação e caracterização dos ambientes de terras úmidas do Refúgio de Vida Silvestre do Rio Pandeiros, a partir do uso de imagens Ikonos**. 2010. 65f. Dissertação (Mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, 2010.
- BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília, 8 jan. 1997. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm
- BETHONICO, M. B. 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, jan./jun. 2009
- BETHONICO, M. B. M. **Área de proteção ambiental estadual do Rio Pandeiros-MG**: espaço, território e atores. 2009. 288f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal Fluminense, RJ, 2009b.
- BETHONICO, M. B. M.; CUNHA, S. B. D. Gestão sustentável de unidades de conservação: o caso da APA estadual do Rio Pandeiros, Minas Gerais. **GEOgraphia**, v. 11, n. 22, p. 104-127, 2009.
- CAMPOS, J. E. G.; DARDENNE, M. A. Origem e evolução tectônica da bacia Sanfranciscana. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 27, n. 3, p. 283-294, setembro 1997 a.
- CAMPOS, J. E. G.; DARDENNE, M. A. A estratigrafia e sedimentação da Bacia Sanfranciscana: uma revisão. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 27, n. 3, p. 269-282, 1997b.
- CHAGAS, C. J.; MOREIRA, R. M.; AUGUSTIN, C. H. R. R.; BANDEIRA, J. V.; CARVALHO FILHO, C. A. Reuse of a dam as sedimenttrap and water reserve. **RBRH, - Revista Brasileira de Recursos Hídricos** v. 27, p. 1-11, 2022.
- COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO DE MINAS (CODEMIG); UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS. Instituto de Geociências. (UFMG). **Folha Catolô: Mapas Geológicos (SD.23-Z-C-I)**. Belo Horizonte, 2015. Escala 1.100.000. Projeto Fronteiras de Minas. Disponível em: <http://www.portalgeologia.com.br/index.php/mapa/>. Acesso em: 16 out. 2016.
- COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO DE MINAS (CODEMIG); UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS. Instituto de Geociências. (UFMG). **Folha Januária: Mapa Geológico (SD.23-Z-C-II)**. Belo Horizonte, 2015. Escala 1.100.000. Projeto Fronteiras de Minas. Disponível em: <http://www.portalgeologia.com.br/index.php/mapa/>. Acesso em: 16 out. 2016.
- 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 out. 2016.



COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO DE MINAS (CODEMIG); UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS. Instituto de Geociências. (UFMG). **Folha São João da Ponte: Mapa Geológico (SD.23-Z-C-V)**. Belo Horizonte, 2015. Escala 1.100.000. Projeto Fronteiras de Minas. Disponível em: <http://www.portatgeologia.com.br/index.php/mapa/>. Acesso em: 16 out. 2016.

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO DE MINAS (CODEMIG); UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS. Instituto de Geociências. (UFMG). **Folha São Joaquim: Mapa Geológico (SD.23-Y-D-III)**. Belo Horizonte, 2015. Escala 1.100.000. Projeto Fronteiras de Minas. Disponível em: <http://www.portatgeologia.com.br/index.php/mapa/>. Acesso em: 21 jul. 2015.

DIAS, L. C. C. **Análise da paisagem da área de proteção ambiental estadual do Rio Pandeiros, MG: subsídios para o manejo e conservação da fauna**. 2017. 86f. Dissertação (Mestrado em Conservação da Fauna) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, São Paulo, 2017.

FONSECA, D. S. R.; FIGUEIREDO, F. P.; NASCIMENTO, C. R.; MIRANDA, W. A. Uso de geotecnologias para caracterização espacial da Bacia Hidrográfica do Pandeiros-MG, como subsídio para estudos de impacto ambiental. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15, 2011, Curitiba, PR. **Anais [...]**, Curitiba: SBSR-INPE, 2011a, p. 5694.

FONSECA, D. S. R.; NASCIMENTO, C. R.; MIRANDA, W. A.; FIGUEIREDO, F. P. Diagnóstico do uso do solo e degradação ambiental na bacia hidrográfica do Pandeiros-MG, como subsídio para estudos de impacto ambiental. **Revista Eletrônica Geoaraguaia**. Barra do Garças-MT, v. 1, n. 1, p. 1-20 jan./julho. 2011b.

FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS - CETEC. **2º Plano de desenvolvimento Integrado do noroeste mineiro: recursos naturais**. Belo Horizonte: CETEC, 1981. (Série de Publicações Técnicas, 2).

FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS - CETEC. **Diagnóstico ambiental do Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: CETEC 1983. 158 p. (Série de Publicações Técnicas, 10)

GOOGLE EARTH PRO. **Imagem**; website. 2017 a 2022. Disponível em: <http://earth.google.com>.

GREGORY, K. J.; WALLING, D. E. **Drainage basin, form and processes**. London: Edward Arnold Ltda. 1983.

HAY, W. W.; FLOEGE, S. New thoughts about the cretaceous climate and oceans. **Earth-Science Reviews**, v. 115, p. 462-472, 2012.

IGLESIAS, M. M. **Estratigrafia e tectônica do Grupo Bambuí no norte do estado de Minas Gerais**. 2007. 122 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, 2007.

IGLESIAS, M. M.; UHLEIN, A. Estratigrafia do Grupo Bambuí e coberturas fanerozóicas no vale do Rio São Francisco, norte de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 39, n. 2, p. 256-266, junho, 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Mapa topográfico da Folha: Catolé - SD.23-Z-C-I**. [Rio de Janeiro, RJ]: IBGE, 1970. Escala 1: 100.000.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Mapa topográfico da Folha: Januária - SD.23-Z-C-II (MI-2178)**. 2. ed. [Rio de Janeiro, RJ]: IBGE, 1980. Escala 1: 100.000.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Mapa topográfico das Folhas: São Joaquim - SD.23-Y-D-II**. [Rio de Janeiro, RJ]: IBGE, 1972a. Escala 1: 100.000.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Mapa topográfico da Folha São Francisco - SD.23-Z-C-IV**. [Rio de Janeiro, RJ]: IBGE, 1972b. Escala 1: 100.000.

JARDIM, C. H.; MOURA, F. P. Variações dos totais de chuvas e temperatura do ar na bacia do Rio Pandeiros, norte do estado de Minas Gerais-Brasil: articulação com fatores de diferentes níveis escalares em área de transição climática de Cerrado para Semiárido. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 14, Ed. Esp. p. 172-189, nov, 2018.

KARNER, G. D.; DRISCOLL, N. W. Tectonic and stratigraphic development of the West African and eastern Brazilian Margins: insights from quantitative basin modelling. **Geological Society Special Publications**, London, v. 153, n. 1, p. 11-40, jan. 1999.

KIANG, C. H.; SILVA, F. P.; SILVA, F. P. Contribuição ao arcabouço geológico do Sistema Aquífero Urucuia. São Paulo, UNESP, **Geociências**, v. 34, n. 4, p. 872-882, 2015.

LIMA, A. C. P. **Análise da distribuição espacial de voçorocas em domínio de rochas siliciclásticas: bacia do Rio Pandeiros-MG**. 2019. 91f. Dissertação



- (Mestrado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, 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.) **O Livro geografia física e as mudanças globais**. Fortaleza: Ed. UFC, p. 2019. 512-524,
- LIMA, M. R. Paleoclimatic reconstruction of the Brazilian Cretaceous based on palynological data. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 13, n. 4, 1983.
- LOMBANA, L.; MARTÍNEZ-GRAÑA, A.; CRIADO, M.; PALACIOS, C. Hydrogeomorphology as a tool in the evolutionary analysis of the dynamic landscape-application to lar rodrigo, Salamanca, Spain. **Land**, v.10, p. 1407, 2021.
- LOPES, S. S.; MAGRI, R. A. F. Uso do geoprocessamento no levantamento de feições erosivas e na produção da base cartográfica digital da bacia hidrográfica do Rio Pandeiros – MG. *In*: CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS, 12, 2015, Poços de Caldas, MG. **Anais [...]**. Poços de Caldas: Instituto Federal do Sul de Minas, Campus Muzambinho, 2015. v. 7, n. 1, p. 1-9.
- LOPES, S. S.; MAGRI, R. A. F.; COLLARES, E. G. Inventário de feições erosivas e elaboração da base cartográfica digital da bacia hidrográfica do Rio Pandeiros - MG. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA E GEOAMBIENTAL, 9., 2015. Cuiabá. **Anais [...]** Cuiabá: SBCGG, v. 1, p. 1-10, 2015.
- MAIA-RODRIGUES, B. H. **Análise da dinâmica de evolução do relevo e da compartimentação geomorfológicas no contexto das bacias hidrográficas da margem esquerda do Rio São Francisco - norte de Minas Gerais**. 2012. 107f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, MG, 2012.
- MATOS, R. M. D. History of the northeast Brazilian rift system: kinematic implications for the breakup between Brazil and West Africa. The Oil and Gas Habitats of South Atlantic. **Geological Society Special Publications**, London, v. 153, p. 55-73, 1999.
- NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION - NASA. **Mosaico GeoCover 2000**. Disponível em: <https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid>. Acesso em: 29 nov. 2022.
- NEUBAUER, F. Gondwana-Land goes Europe. **Austrian Journal of Earth Sciences**, v. 107, n. 1, p. 147-155, 2014.
- 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) – Instituto de Ciências Agrárias (ICA), Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros, MG, 2011.
- NOE, G. B. Interactions among Hydrogeomorphology, vegetation, and nutrient biogeochemistry in Floodplain Ecosystems. *In*: - SHRODER, J. F.; BUTLER, D. R.; HUPP, C.R. (Eds.) **Treatise on Geomorphology**, San Diego: Academic Press, p. 307-321, 2013. (Ecogeomorphology, 12)
- 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. Belo Horizonte, **MG-Biota**, v. 2, n. 2, p. 4-17. 2009.
- 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 - UNICAMP, 2017. p. 6253–6262.
- OLIVEIRA, D. A.; AUGUSTIN, C. H. R. R.; LIMA, A. C. P. Proposta preliminar de unidades hidro geomorfológicas para o Pantanal do Rio Pandeiros – MG. *In*: PINHEIRO, L. de S.; ADRYANE GORAYEB (Ed.). **O livro geografia física e as mudanças globais**. Fortaleza: Editora da Universidade Federal do Ceará, 2019. p. 490-502.
- 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**. 2021. 418f. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2021.
- OLIVEIRA, F. M. **Relações solo-vegetação em áreas desenvolvidas sobre o arenito Uruçuia na APA do Rio Pandeiros**. 2013. 65f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2013.
- PEREIRA, S. B.; PRUSKI, F.; DA SILVA, D.; RAMOS, M. Estudo do comportamento hidrológico do Rio São Francisco e seus principais afluentes. **Revista Brasi-**



leira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, PB, v. 11, n. 6, p. 615–622, 2007.

POOLE, G. C. Stream hydrogeomorphology as a physical science basis for advances in stream ecology. **J. N. Am. Benthol. Soc.**, v. 29, n. 1, p. 12–25, 2010.

POTTER, P. E. The Mesozoic and Tertiary paleodrainage of South America: A natural history. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 10, p. 331-344, 1997.

POTTER, P. E.; HAMBLIN, W. K. **Big Rivers Worldwide: Part 1 - Origins**. Brigham: Young University Geology Studies, v. 48, 2006. 79p.

REZENDE, C. R. **Evidências de arco magmático paleoproterozóico na região do alto de Januária – Norte de Minas Gerais**. Dissertação (Mestrado em geologia) – 2017. 77f. Programa de Pós-Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, MG, 2017.

RIBEIRO, A. C.; RICCOMINI, C.; LEITE, J. A. D. Origin of the largest south transcontinental water divide. **Nature Scientific Report.**, v. 8, n.17144, nov. 2018.

SAWYER, K.E. **Landscape Studies: an introduction to geomorphology**. 2. ed. London: Edward Arnolds. 1975.

SCHEIDEGGER, A. E. Hydrogeomorphology. **Journal of Hydrology**, v. 20, p. 193-215, 1973.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM. **Mapa Estadual de Geodiversidade de Minas Gerais**, 2010. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/14704>

SCOLFORO, J.R.; CARVALHO, L.M.T. **Mapeamento e inventário da flora nativa e dos reflorestamentos de Minas Gerais**. Lavras: Editora UFLA, 2006. 288p.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (CPRM); UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ. **Hidrogeologia da bacia sedimentar do Urucuia**: bacias hidrográficas dos rios Arrojado e Formoso: Meta B- Caracterização Geológica e Geométrica dos Aquíferos - Revisão Geológica e Levantamento Geofísico. 2007. Comportamento das bacias sedimentares da região semi-árida do nordeste brasileiro.

SIDLE, R. C.; ONDA, Y. Hydrogeomorphology: overview of an emerging science. **Hydrol. Process.**, v. 18, p. 597–602, 2004.

SILVA, P. D. O. **Utilização do isótopo Be como método de investigação da erosão em escala de ver-**

tente. 2020. 89f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, 2020.

SPIGOLON, A. L. D.; ALVARENGA, C. J. S. Fácies e elementos arquiteturais resultantes de mudanças climáticas em um ambiente desértico: Grupo Urucuia (Neocretáceo), Bacia Sanfranciscana. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 32, n. 4, p. 579-586, dez. 2002.

TAYLOR, G.; EGGLETON, R. A. **Regolith geology and geomorphology**. Chichester, New York, Weinheim, Brisbane, Singapore, Toronto: John Wiley & Sons Ltd. 2001. 375 p.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA; FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS; UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS; FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE (MG). **Mapa de solos do Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, MG, 2010.

VERAS, J. D. D.; NEUMANN, V. H. M. L.; VALENÇA, L. M. M.; MADRUGA, M. M. D.; OLIVEIRA, S. R. Mapeamento geológico da porção sudoeste da Folha Airi, Bacia de Jatobá, Nordeste do Brasil. **Estudos Geológicos**, v. 27, n. 1, p. 34-60, 2017.

Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo financiamento do Projeto APQ-03773-14 - Sustentabilidade da bacia do Rio Pandeiros-MG: Dinâmica de vertentes da bacia do Rio Pandeiros; ao IGC-UFMG e ao CDTN, pelo apoio de infraestrutura; ao Dr. Jefferson Vianna Bandeira, do CDTN, pela leitura e sugestões ao texto; ao bolsista de IC do curso de graduação de Geologia, Gilberto Mendes da Cunha Júnior, pelo auxílio na elaboração das figuras e mapas do artigo; ao Dr. Cláudio Chagas, do CDTN, pelo auxílio com a geração do mapa geológico no SIG.



Aspectos do relevo da bacia do rio Pandeiros – MG: análise de perfis longitudinal e transversais

Cristina Helena Ribeiro Rocha Augustin¹, Bráulio Magalhães Fonseca², Diego Alves de Oliveira³, Arnon Costa Pereira de Lima⁴, Paulo Roberto Antunes Aranha⁵

Resumo

As formas de relevo são importantes indicadores dos fatores e agentes envolvidos nos processos erosivos atuantes em sua elaboração. Constituem uma espécie de síntese das forças operantes na superfície da Terra, influenciando na intensidade, magnitude e distribuição espacial destes processos. Neste artigo discutimos essa relação para explicar o modelado atual da bacia do rio Pandeiro com o uso de mapas gerados por geoprocessamento em especial o hipsométrico e o de declividade. Os resultados indicam a existência de dois eixos associados à evolução do relevo, com efeitos diretos sobre a produção, transporte e deposição de sedimentos: um, longitudinal, expondo grandes rupturas de declive; o outro, transversal é conectado ao avanço das cabeceiras dos afluentes do Pandeiros.

Palavras-chave: Bacia de drenagem. Formas de relevo. Mapa Hipsometria. Mapa de Declividade. Dinâmica geomorfológica.

Abstract

The relief forms are important indicators of the factors and agents involved in the erosive processes acting in their elaboration. They constitute a kind of synthesis of the forces operating on the Earth's surface, influencing the intensity, magnitude, and spatial distribution of these processes. In this article we discuss this relationship to explain the current modeling of the Pandeiro River basin using maps generated by geoprocessing, the hypsometric and slope maps. The results indicate the existence of two axes associated with the evolution of the relief, with direct effects on the production, transport, and deposition of sediments: one, longitudinal, exposing large slope breaks; the other, transversal, is connected to the advance of the headwaters of the tributaries of the Pandeiros.

Keywords: Drainage basin. Landforms. Hypsometric map. Slope map. Geomorphological dynamics.

¹Instituto de Geociências. CPMTC, Universidade Federal de Minas Gerais. Professora, PhD. Av. Antônio Carlos, 6.627, Belo Horizonte, MG. E-mail: chaugustin@hotmail.com

²Instituto de Geociências, CPMTC, Universidade Federal de Minas Gerais. Professor, PhD. Av. Antônio Carlos, 6.627, Belo Horizonte, MG. E-mail: brauliomagalhaes@gmail.com

³Instituto de Geociências. Universidade Federal de Minas Gerais. PhD. Av. Antônio Carlos, 6.627, Belo Horizonte, MG. Professor, PhD. E-mail: diego.oliveira@ifmg.edu.br

⁴Instituto de Geociências. Universidade Federal de Minas Gerais. MSc. Av. Antônio Carlos, 6.627, Belo Horizonte, MG. E-mail: arnonbhmg@gmail.com

⁵Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais. Professor, PhD. Av. Antônio Carlos, 6.627, Belo Horizonte, MG. E-mail: aranha1941@gmail.com

Introdução

Este trabalho aborda a questão de como as formas de relevo da bacia do rio Pandeiros, MG, afetam, e são afetadas, pela dinâmica geomorfológica. Por estar localizada em uma zona tropical subsumida, essa bacia tem o relevo modelado principalmente pela erosão da água atuando sobre o material intemperizado das rochas do substrato, material este que é eventualmente transportado e cuja carga é parcialmente depositada na própria bacia (BANDEIRA *et al.*, 2020; OLIVEIRA, 2021). Nesse contexto, é necessário examinar o papel do relevo através do efeito que tem no escoamento da água superficial, seja nas encostas, seja nos canais fluviais.

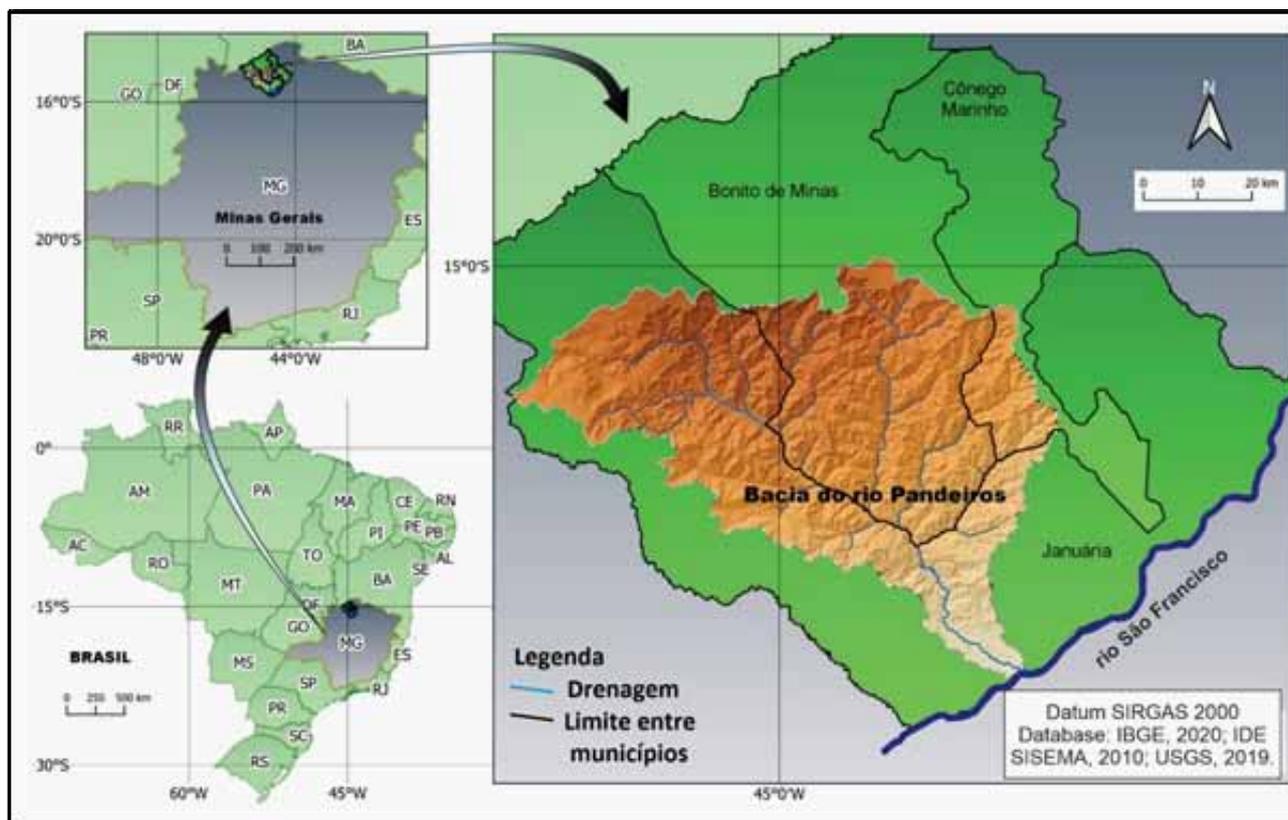
O rio Pandeiros encontra-se localizado na margem esquerda da porção média da bacia do rio São Francisco (rSF), Minas Gerais (MAPA 1). A importância ambiental da bacia do Pandeiros levou o Poder Público a instituí-la como Área de Proteção Ambiental (APA), através da Lei nº 11.901, de 01 de setembro de 1995 (MINAS GERAIS, 1995). Novo decreto estadual nº 43.910, de 05 de novembro de 2004 (MINAS GERAIS, 2004), criou o Refúgio Estadual da Vida Silvestre do Rio Pandeiros, localizado no interior da Área de Proteção Ambiental Pandeiros, no município de Januária. Essa importância justifica o interesse que a bacia continua despertando nos pesquisadores, gerando trabalhos sobre o meio biofísico, como os de Augustin *et al.* (2020), Augustin e Maia-Rodrigues (2012), Bandeira *et al.* (2018), Barbosa (2010), Bethonico (2009a, 2009b), Bethonico e Cunha (2009), Fonseca, D. (2012), Fonseca *et al.* (2011), Lima (2019),

Lopes e Magri (2015), Maia-Rodrigues (2012), Martins *et al.* (2015), Oliveira (2013), Oliveira, Augustin e Fonseca (2017), Oliveira (2021) e Silva (2020), incluindo ainda, entre outros, o Mapeamento Geomorfológico do CETEC (1983). Eles constituem fontes fundamentais para a análise da influência do modelado da superfície na dinâmica geomorfológica da área.

A ênfase dada à análise das formas de relevo no presente trabalho, se ampara no fato de que elas constituem o resultado da atuação dos processos envolvidos em sua elaboração ao longo do tempo. Constituem, assim, o que se pode denominar de feições de longa duração (“*long lasting features*”), uma vez que tendem a mudar relativamente pouco na escala temporal de centenas, milhares e mesmo milhões de anos, a depender da magnitude dos eventos geológicos e geomorfológicos, a despeito da ação antrópica, (AUGUSTIN, 1979; GARCIA; AUGUSTIN; CASAGRANDE, 2020). Isto as torna uma base cartográfica confiável não só para a análise da dinâmica da superfície, como também para o lançamento de dados de fenômenos temporal e espacialmente variáveis, como a cobertura vegetal e as feições produzidas pelo homem.



Mapa 1 – Mapa com a localização da bacia de drenagem do rio Pandeiros – MG e dos municípios que dela fazem parte: Cônego Marinho, Bonito de Minas e Januária



Fonte: Adaptado pelos autores com base em CHAGAS *et al.*, 2022.

O relevo também representa um conjunto de feições da “epiderme” da superfície terrestre, o que facilita sua identificação, caracterização e mensuração por instrumentos de imageamento aéreo (satélites, aviões, vants, etc.), orientando, inclusive as checagens de campo. Isto torna possível a análise dos diversos atributos e aspectos dos principais elementos das formas de relevo que compõem a superfície dos continentes e mesmo o fundo oceânico (BIERMAN; MONTGOMERY, 2014). Não menos importante, é seu efeito sobre a distribuição de energia e matéria na superfície da Terra, através da influência que tem no escoamento superficial da água de chuva e nas suas taxas de infiltração, bem como nos sistemas fluviais estando, portanto, associado a dinâmica atual de bacias de drenagem (AUGUSTIN *et al.*, 2020).

Os principais objetivos deste trabalho são: a) entender como os principais fatores e elementos do meio físico influenciam as características atuais do relevo; b) mostrar como as formas do relevo afetam as demais características da bacia, em especial os processos erosivos e a drenagem fluvial. Isto porque se parte do princípio de que essas características podem afetar a distribuição de energia e as consequências na produção, deslocamento, transporte e deposição de sedimentos na bacia.

Metodologia

Características da área de estudo

O rio Pandeiros deságua na porção média da bacia do rSF, do qual é afluente da margem esquerda, e sua bacia, com aproximadamente

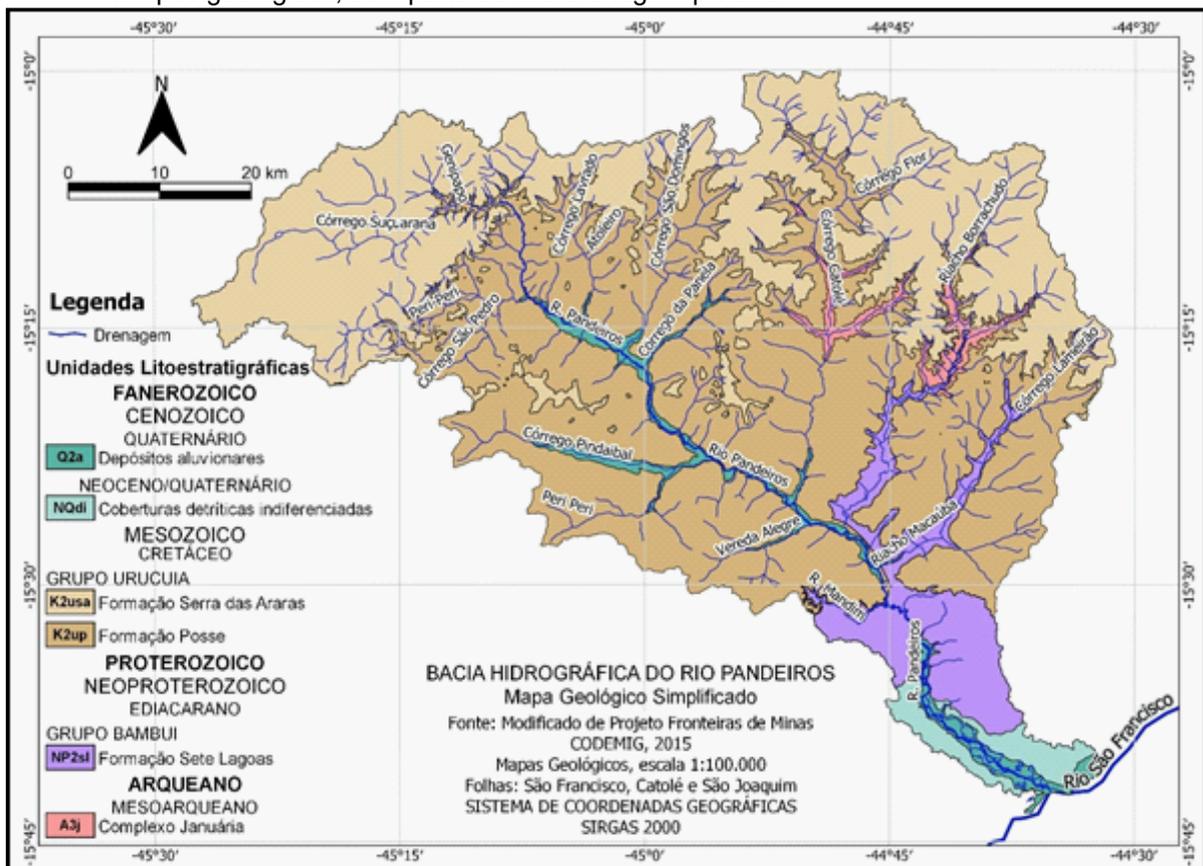
3.931 Km², encontra-se localizada no norte do estado de Minas Gerais, entre as coordenadas geográficas 15°0'00"/15°43'00"S de latitude e 45°28'00"/44°35'03.40" W de longitude (MAPA 1).

Grande parte da bacia do Pandeiros é formada por rochas predominantemente areníticas do Grupo Urucuia, do Cretáceo Superior, pertencentes às formações Posse, da base, e Serra das Araras, que a sobrepe (MAPA 2). Sob o Grupo Urucuia, aflorando em especial na porção sul da bacia, são encontradas rochas pelíticas e carbonáticas do Grupo Bambuí (Fm. Sete Lagoas) do Proterozoico Superior, com datação entre 740 e 600 Ma (MARTINÉZ, 2007). Além de rochas granito-gnáissicas (Complexo Januária), do embasamento cristalino, do Arqueano e Neoproterozoico, com idades entre 2.329 ± 55

e 1.817 ± 37 Ma (REZENDE, 2017, p. 1). Essas últimas afloram de maneira restrita nos altos cursos do córrego Catolé e do riacho Borrachudo (Companhia de Desenvolvimento de Minas Gerais (CODEMIG) e Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), (2015), Folha Catolé - SD.23-Z-C-I, 2015).

As coberturas superficiais quaternárias da bacia correspondem, predominantemente, aos regolitos, aqui entendidos como todo o material encontrado entre a rocha sã e o ar fresco (TAYLOR; EGGLETON, 2001). Eles foram formados pela intemperização *in situ* das rochas do Grupo Urucuia, ou por depósitos aluviais ao longo das planícies fluviais dos rios Pandeiros e São Francisco (MAPA 2). Os depósitos coluviais ocorrem principalmente em áreas próximas às Escarpas, unidade geomorfológica que circunda a bacia.

Mapa 2 – Mapa Geológico da bacia do rio Pandeiros, com suas unidades litoestratigráficas e respectivos tempos geológicos, com parte da sua drenagem plotada



Fonte: Adaptado de CODEMIG; UFMG, 2015.



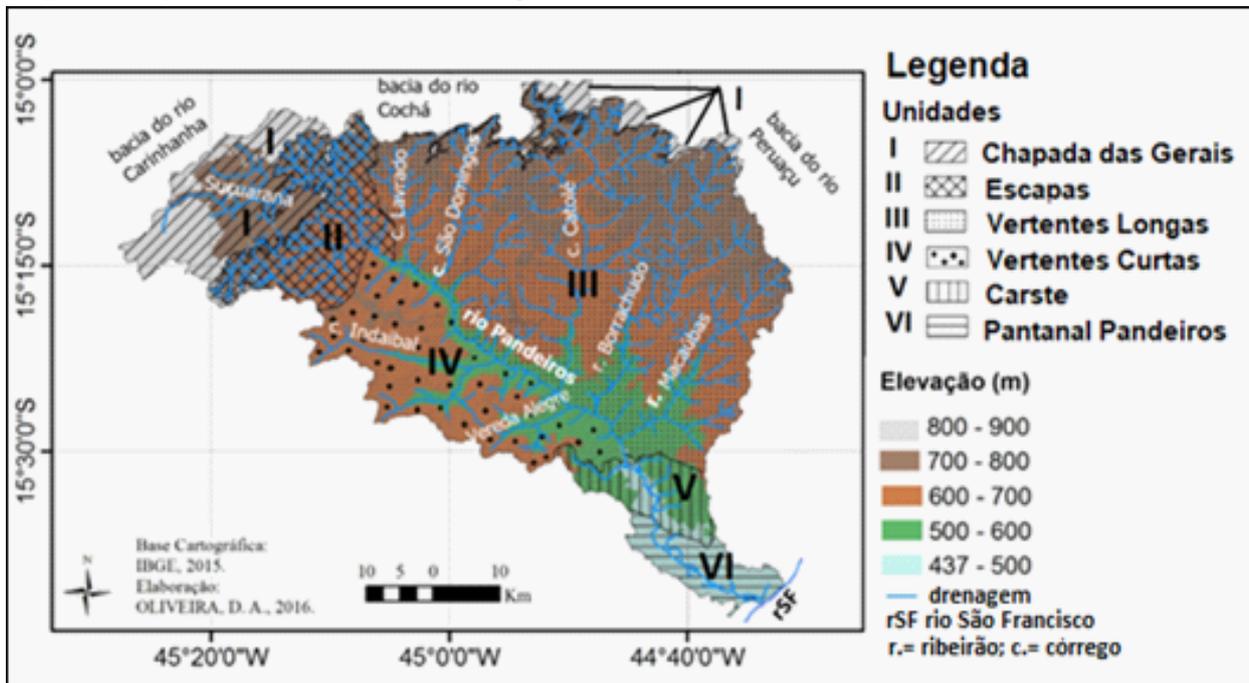
Do ponto de vista geomorfológico, a bacia do rio Pandeiros está situada na borda sudeste do “Chapadão Urucuia”, segundo Kiang; Silva (2015), que abriga o aquífero homônimo (GASPAR; CAMPOS, 2007). As porções NW, N e parte da NE da bacia ainda fazem parte desse chapadão, que forma um relevo plano sobre rochas sedimentares predominantemente areníticas e horizontalizadas, que se estende do noroeste do estado de Minas Gerais ao oeste da Bahia, sudeste do Tocantins, sul do Maranhão e sul do estado do Piauí. Grande parte da bacia do Pandeiros, no entanto, está fora desse domínio, apresentando um relevo dissecado sobre estruturas sedimentares horizontalizadas a subhorizontalizadas das rochas areníticas da Formação (Fm.) Posse, também do Grupo Urucuia, no qual predominam longos interflúvios e decli-

vidades de médias a baixas (AUGUSTIN *et al.*, 2020).

Segundo Oliveira, Augustin e Fonseca (2017), embora ocorram na bacia três grandes substratos geológicos: Grupo Urucuia, Grupo Bambuí e o Complexo Januária (granito-gnaisses), além de áreas com cobertura de sedimentos quaternários basicamente aluviais, como os das planícies do rio São Francisco (rSF) onde é mais expressiva, o relevo conta com, pelo menos, seis Domínios Geomorfológicos (MAPA 3). Cada um dos Domínios apresenta individualização quanto às formas de relevo e dinâmica hidrogeomorfológica.

O Domínio I (Chapada das Gerais) é remanescente do Chapadão Urucuia, Kiang e Silva (2015), com relevo relativamente plano a levemente ondulado, baixas declividades e drenagem paralela, desenvolvida sobre as rochas da Fm Serra das Araras (MAPA 3).

Mapa 3 – Mapa dos Domínios Geomorfológicos da bacia do rio Pandeiros, MG



Fonte: Adaptado pelos autores com base em OLIVEIRA; AUGUSTIN; FONSECA, 2017.

Nota: Unidades relativamente homogêneas de padrões de formas de relevo e seus principais cursos de água: c. (córrego); v. (vereda); r. (ribeirão).

O Domínio das Escapas (II), é caracterizado por uma grande ruptura de declive, que pode atingir até 80 m de altura, localizada de maneira mais ou menos contínua, nas bordas NW, N e NE da bacia do Pandeiros, formando uma grande zona de nascentes (MAPA 3). O Domínio das Vertentes Longas (III) ocupa toda a área da margem esquerda do Pandeiros, com afluentes mais longos do que os da margem direita, interflúvios também alongados, declividades pouco acentuadas sobre rochas da Fm. Posse. O lado direito do rio Pandeiros, Mapa 3, é identificado como Domínio das Vertentes Curtas (IV), caracterizado por rios menos extensos, mas bastante encaixados, correndo sobre regolito de rochas predominantemente areníticas da Fm. Posse, com alguns interflúvios ainda em rochas remanescentes da Fm. Serra das Araras, de coloração avermelhada (MAPA 2). O Domínio V, denominado Carste demonstrado no Mapa 3, como o próprio nome indica, tem relevo do tipo cárstico, desenvolvido em rochas carbonáticas do Grupo Bambuí, com drenagem subterrânea e presença de poljes, dolinas e cavernas. A porção topograficamente mais baixa da bacia, é ocupada pelo Domínio do Pantanal (VI), área úmida (*wetland*), periodicamente inundada pelas águas do Pandeiros e do rSF.

A diferenciação das características das formas de relevo entre os domínios está associada à individualização das respostas de cada um deles ao intemperismo das rochas e à erosão, bem como à existência de paleoestruturas que condicionaram algumas características topográficas e estruturais das rochas. É o caso do “Alto Estrutural de Januária”, de acordo com Rezende; Oliveira; Oliveira (2018), área topograficamente mais elevada que limitou, no Cretáceo Superior, a deposição das

rochas do Grupo Urucuaia em áreas onde hoje afloram rochas do complexo granito-gnáissico do embasamento cristalino. A presença de um número maior de domínios geomorfológicos do que geológicos, conforme Mapas 2 e 3, ainda é o resultado de influências tectônicas, como lineamentos, e de características litoestruturais, como acamamentos e juntas, entre outros, que afetaram as rochas do substrato interferindo na orientação da dissecação e no avanço dos canais fluviais (AUGUSTIN *et al.*, 2020).

Localizada em área de transição entre o clima tropical subúmido e o semiárido a bacia apresenta temperatura média anual de 24°C; nos meses mais frios, junho e julho, a temperatura média fica em torno dos 20,4°C e no mês mais quente, outubro, em 25,5°C. A precipitação média anual é em torno dos 1.057,4 mm (PEREIRA *et al.*, 2007). Nos meses de maior pluviosidade, entre outubro e março, caem 91% do total anual precipitado. Os meses mais secos ocorrem entre abril e setembro (BETHONICO, 2009a). Pereira *et al.* (2007, p. 616) ressaltam que os aspectos de semiaridez da área seriam decorrentes “das elevadas temperaturas e dos baixos índices de nebulosidade”. Isto faz com que a evapotranspiração potencial seja muito alta, “principalmente na região do Submédio São Francisco, onde algumas estações registram valores de até 3.000 mm ano⁻¹”, o que caracteriza a ocorrência de déficit hídrico em grande parte do ano”.

A maior parte da bacia tem cobertura vegetal de espécies do bioma do Cerrado lato senso (*l.s.*), no qual se distinguem várias fitofisionomias e seus respectivos ecossistemas (SCOLFARO; CARVALHO, 2006; FONSECA *et al.*, 2011). Entre elas, destacam-se: o cerrado senso estrito (*s.e.*), o campo sujo, o campo cerrado, as veredas, a mata ciliar, ou



Floresta Estacional Semidecidual que, segundo Scolforo e Carvalho (2006), está associada à presença de corpos de água permanentes ou intermitentes, e a mata caducifólia (mata seca), esta última restrita aos afloramentos de rochas carbonáticas. As matas caducifólias são compostas por espécies que podem ser consideradas azonais na bacia, ou seja, sua presença não se encontra associada ao clima semiárido da região, mas à ocorrência de rochas carbonáticas do Grupo Bambuí. Estas, em função do seu intenso fraturamento, têm baixa capacidade de retenção de água de escoamento da chuva, que acaba por criar um déficit hídrico “local” (AUGUSTIN *et al.*, 2020).

Materiais e Técnicas

Foram produzidos: imagens, dados e representações espaciais do relevo, além de medidas e controles de campo, essenciais para a interpretação das interações entre o relevo e a dinâmica hidrogeomorfológica de bacias de drenagem, como é o caso do rio Pandeiros. A abordagem adotada permitiu espacializar e extrapolar os resultados obtidos para áreas não amostradas diretamente no campo, procedimento este preconizado, entre outros, por Christian e Stewart (1968).

O Mapa Geológico 2, elaborado a partir da base cartográfica do Mapa Estadual de Geodiversidade de Minas Gerais do Serviço Geológico do Brasil (CPRM), 2010, escala de 1: 1.000.000, com o uso de software do SIG, possibilitou um recorte da base cartográfica do limite da bacia, segundo Oliveira, Augustin e Fonseca (2017). Após observações de campo e análise de Imagens do *Google Earth Pro* (2017 a 2022), o mapa geológico foi reconfigurado utilizando como base os mapas da CODEMIG;

UFMG (2015), na escala 1: 100.000 das folhas: São Joaquim - SD.23-Y-D-III; Catolé - SD.23-Z-C-I; Januária - SD.23-Z-C-II; São Francisco - SD.23-Z-C-IV e Folha São João da Ponte - SD.23-Z-C-V.

O Mapa Hipsométrico, Mapa 4, utilizado para a obtenção dos perfis longitudinal e transversais, apresenta classes que foram divididas conforme critério de quebras naturais dos dados numéricos de altimetria do relevo. Juntamente com o Mapa 5 de Declividade, teve como base, o modelo digital de elevação SRTM, com imagens obtidas no Projeto TopoData do INPE - ArcGIS 10.5, (imagens 15s45, 15s465, 14s45 e 14s465), seguindo metodologia de Fonseca (2010) e Fonseca e Augustin (2011). Os valores de declividade foram interpolados usando a Densidade de Kernel, com raio de busca de 1.128 m. Medidas e observações de campo, incluindo as da cobertura vegetal e de outras feições características das vertentes, foram realizadas em pontos específicos de cada Domínio Geomorfológico, a partir identificação dos Sítios Geomorfológicos (SG), seguindo metodologia proposta por Augustin (1979).

Foram ainda utilizadas imagens do *software Google Earth Pro* (de 2017 a 2022) para efetuar medidas de distância, altitude e localização de áreas e pontos específicos, bem como para a obtenção de detalhamento de informações sobre os perfis. Para a identificação da drenagem, com a manutenção da grafia original, além de outras checagens, foram utilizados os mapas topográficos do IBGE, escala 1: 100.000, das Folhas: Catolé - SD.23-Z-C-I, 1970; Januária - SD.23.Z-C-II (MI-2178), 1980 (2ª Edição); São Joaquim - SD.23-Y-D-II e São Francisco - SD.23-Z-C-IV, ambos de 1972.

Esse artigo é produto de estudos desenvolvidos no âmbito do Projeto “Sustentabilidade

da bacia do Rio Pandeiros: Linha Temática: Dinâmica de Vertentes da Bacia do Rio Pandeiros” (FAPEMIG, Relatório Final Projeto “Sustentabilidade da bacia do Rio Pandeiros. BH: Processo, nº APQ-03773-14, 2020)⁶.

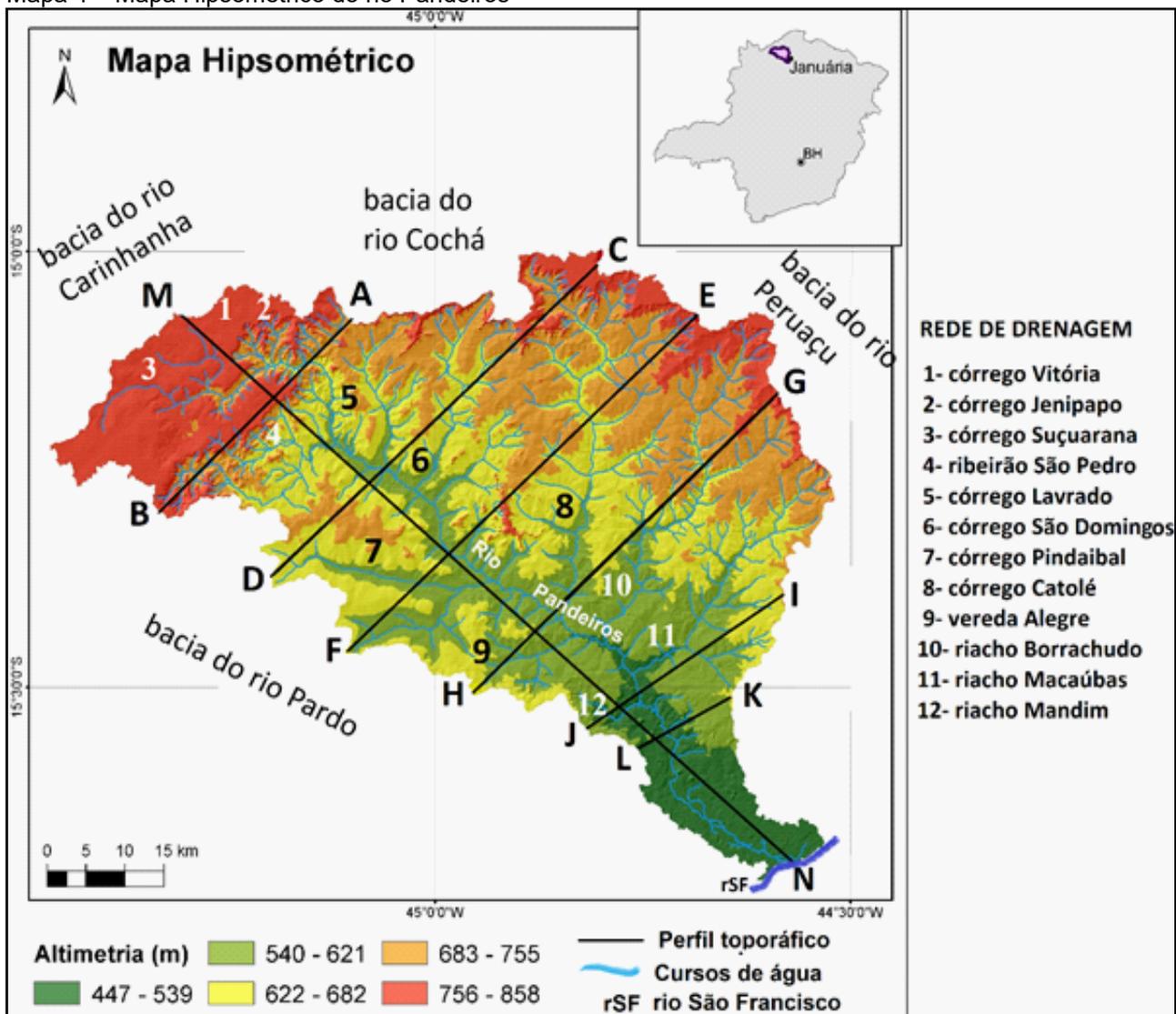
Resultados e Discussão

Eixos de estruturação do relevo

A análise do Mapa Hipsométrico, Mapa 4, mostra a existência de dois eixos de estrutu-

ração do relevo na bacia do Pandeiros: um, longitudinal (M-N) e o outro, formado por perfis transversais (A-B); (C-D); (E-F); (G-H); (I-J); (K-L). O primeiro, de direção NW-SE corresponde ao perfil longitudinal da bacia, das porções mais elevadas (Chapada das Gerais) em direção às mais baixas da foz, na confluência do Pandeiros com o rSF (FIGURA 1). O segundo, aos perfis transversais da bacia (A-B; C-D; E-F; G-H; I-J; L-M), da margem esquerda mais alta, para a margem direita, mais baixa (MAPA 4).

Mapa 4 – Mapa Hipsométrico do rio Pandeiros



Fonte: Elaborado pelos autores, 2022.

Nota: No Mapa Hipsométrico foram plotados o perfil longitudinal (M-N), do limite NW da bacia do rio Pandeiros, ao SE, na confluência com o rio São Francisco (rSF) e os perfis transversais (A-B; C-D; E-F; G-H; I-J; L-M), perpendiculares ao comprimento da bacia. O Mapa mostra ainda os principais afluentes do Pandeiros e as bacias de drenagem vizinhas.

⁶<https://www.igc.ufmg.br/geografia/pos-graduacao-em-geografia/relatorios-e-produtos-tecnicos/>



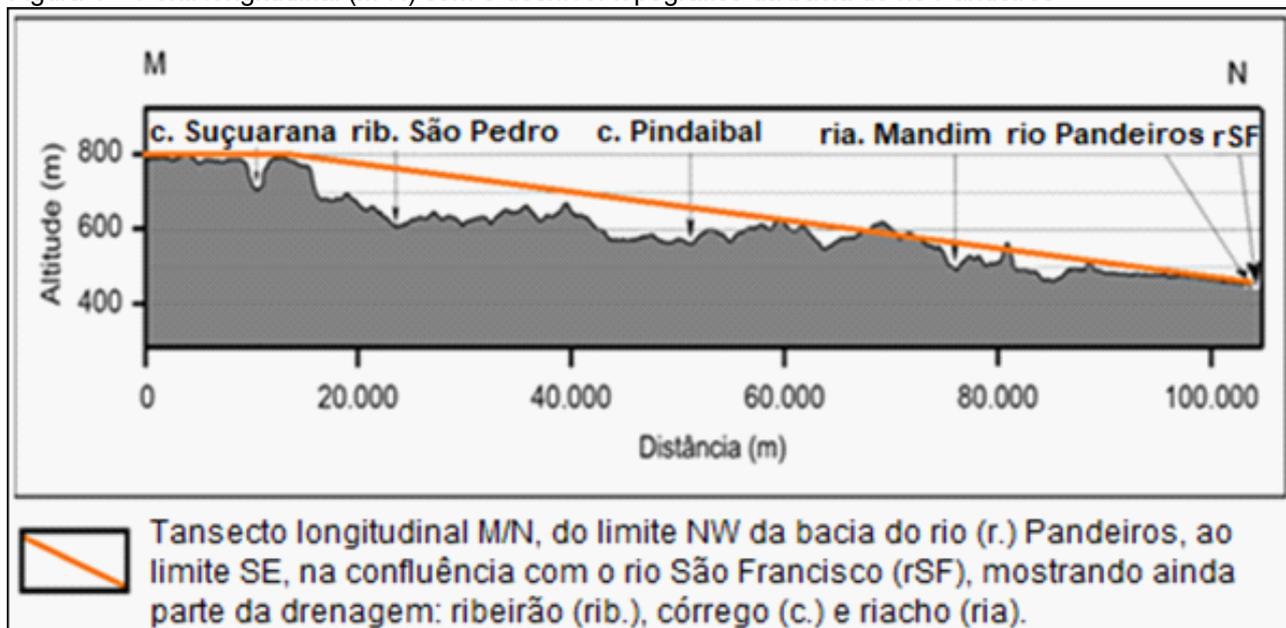
A existência desses dois eixos, o longitudinal e os transversais à bacia, tem efeito prático na distribuição da energia potencial para o trabalho erosivo da água, seja do escoamento superficial, seja do fluvial. Indica também as direções nas quais essa energia é transformada em trabalho erosivo (energia cinética); da mesma maneira, mostra ainda onde ela diminui, levando à deposição do material erodido.

O Perfil Longitudinal

No primeiro eixo M-N, Figura 1, o desnível altimétrico é de cerca de 383 m, em apro-

ximadamente 107 km de comprimento da bacia, distância medida do seu extremo NW (do topo da Chapada, acima das cabeceiras do rio Pandeiros) ao SE (foz do rSF) como mostrado no mapa Hispométrico (MAPA 4). Isso corresponde a um desnível médio de 3,58 m/Km, lembrando que este valor não é regular em toda a bacia, uma vez que ele não reflete a dinâmica de todo o sistema do relevo. Há trechos com rupturas acentuadas de declive, que apresentam valores acima do médio, levando ao aumento de energia hidráulica (FIGURA 1). Em outros, há desníveis menores, tornando o rio mais meandrante, propiciando a formação de lagoas marginais.

Figura 1 – Perfil longitudinal (M-N) com o desnível topográfico da bacia do rio Pandeiros



Fonte: Elaborado pelos autores, a partir do Mapa 4 (Hipsometria), registrando-se que o ponto mais elevado do perfil extrapola os limites da bacia.

O encaixamento do sistema de drenagem do rio Pandeiros provocou o recuo de suas cabeceiras (perfil longitudinal) e o alargamento da bacia em decorrência do avanço dos seus tributários a montante (perfis transversais). O relevo foi sendo modelado durante o processo de encaixamento da drenagem, provocando o recuo a remontante das escarpas da superfície da Chapada das Gerais, deixando para trás, formas reliquias da antiga superfície. Estas podem ser, ainda hoje, identificadas na paisagem pela presença de mesetas e morros isoladas com declives mais acentuados em suas bordas (MAPA 4). O recuo das escarpas teve início, possivelmente, no Eoceno, quando o rSF, que constitui desde então o nível de base do Pandeiros, se consolidou na estrutura próxima da que conhecemos hoje (RIBEIRO; RICCOMINI; LEITE, 2018). A presença dessas formas de relevo residuais reforça a ideia de que a zona das Escarpas, pelo menos em parte da bacia, tenha se mantido como escarpa durante o recuo da Chapada, o que resultou em um aumento progressivo da área da bacia. O processo de abertura promoveu a retirada de grande quantidade de sedimentos proveniente principalmente do intemperismo das camadas das sequências sedimentares dos arenitos avermelhados da Fm. Serra das Araras do Grupo Urucuia, diminuindo sua extensão na área.

Medidas realizadas por Oliveira (2021), mostram que a taxa média de denudação da bacia do Pandeiros, ou seja, o valor médio do que foi retirado pela atuação dos processos erosivos em metros por milhão de ano (m/Ma), obtido através da análise do nuclídeo cosmogênico Be¹⁰, no Laboratório do SUERC, UK, f

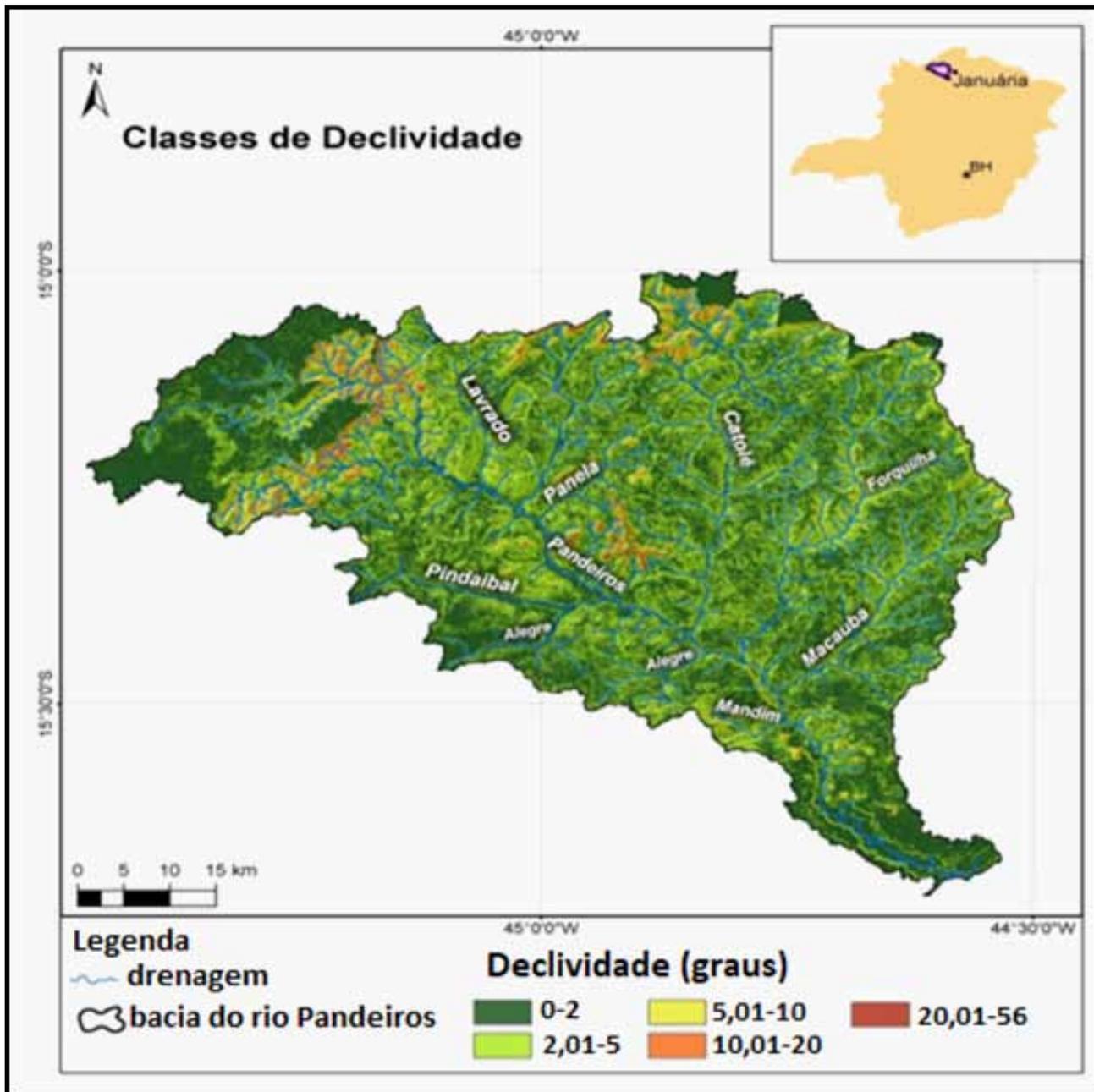
oi de 48,15 m/Myr-1. Isto indica que a área apresenta taxas de denudação relativamente altas quando comparadas com a de outras do estado de Minas Gerais, como as da Serra do Espinhaço Meridional (sEM), onde não ultrapassam 5,56 +- 0,16 m/Ma no Planalto de Diamantina (BARRETO, 2012). Mesmo considerando áreas de intensa atividade antrópica de mineração na sEM, o valor de 22,83+- 1,52 m/Ma, encontrado por Barreto (2012), ainda corresponde à menos da metade do valor médio da bacia do Pandeiros 48,15 m/Ma).

Perfis Transversais

No presente estudo, está sendo dada ênfase à perfis transversais que, segundo Sinha-Roy (2001, p. 127), “refletem a extensão da erosão no vale, que depende de vários fatores, entre eles a sua duração, a resistência das rochas e as atividades tectônicas que causam soerguimento e subsidência dos terrenos”. Os perfis da bacia do Pandeiros encontram-se plotados no Mapa Hipsométrico, Mapa 4, que representa, como ressaltado por Khatun e Pal (2016, p. 2), a “relação de uma área no tocante às suas diferentes elevações” em qualquer lugar da superfície da Terra. Para auxiliar na análise dos perfis transversais da bacia do Pandeiros, foi também utilizado o Mapa de Classe de Declividade da bacia (MAPA 5).



Mapa 5 – Mapa de Classes de Declividade da bacia do rio Pandeiros mostrando as áreas de maior inclinação do terreno



Fonte: Elaborado pelos autores, 2022.

Os Mapas 4 e 5 mostram que, de uma maneira geral, as maiores altitudes estão localizadas na margem esquerda do rio Pan-

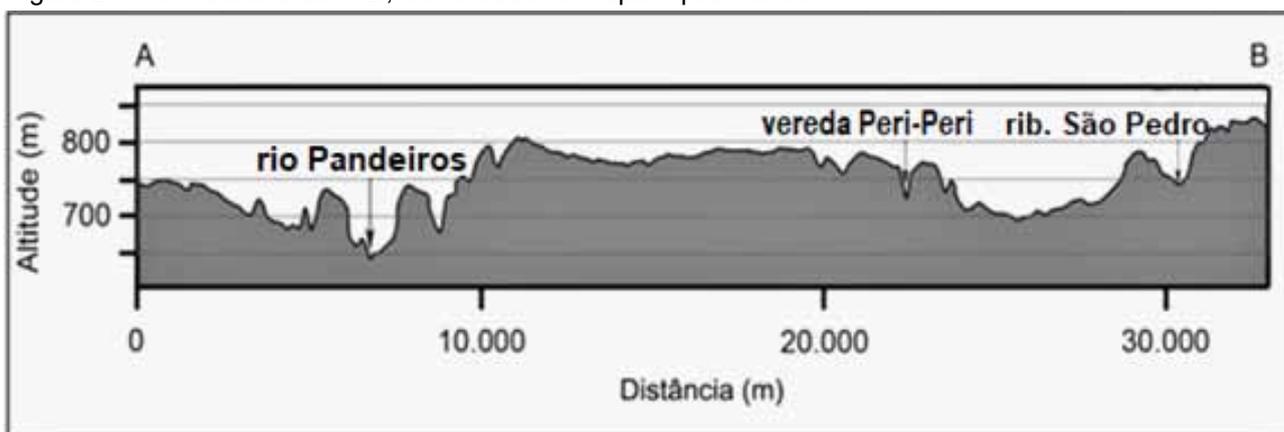
deiros e que, embora as menores altitudes predominem na margem direita, nem sempre estas indicam baixas declividades.

Perfil A-B

O perfil transversal A-B, Figura 2, intercepta duas áreas com características geomorfológicas bem definidas (MAPA 3). A primeira delas, no centro do Perfil 2, correspondente à superfície da Chapada das Gerais, com altitudes entre 840 e 700 m, Fotografia 1, que se estendem até os limites com as bacias dos rios Carinhanha (NW), Cochá (N) e Peruaçu

(NE) (MAPA 4). No Perfil A-B, ela forma o platô elevado, limitado por duas outras áreas topograficamente mais baixas, que constituem os vales do rio Pandeiros e ribeirão São Pedro. Toda a extensão da Chapada tem bordas irregulares em decorrência da erosão provocada pelo recuo dos córregos a montante. Elas formam o limite superior das Escarpas (Domínio Geomorfológico II, Mapa 3), em cuja porção NW, encontram-se localizadas as cabeceiras do rio Pandeiros.

Figura 2 – Perfil transversal A-B, identificado no Mapa Hipsométrico 4



Fonte: Elaborado pelos autores, 2022.

Nota: Mostra duas áreas com relevos individualizados: 1) as mais altas altitudes (que correspondem ao Domínio da Chapada das Gerais) entre os rios Pandeiros e vereda Peri-Peri, e entre esta e o ribeirão (rib.) São Pedro; e 2) as mais baixas, dos vales das nascentes do Pandeiros e de alguns dos seus afluentes.

O rio Pandeiros é denominado como ribeirão em vários mapas (ex. Mapa Topográfico, Folha São Joaquim, IBGE, 1972; Mapa geológico, Folha São Joaquim, CODEMIG; UFMG, 2015). No entanto, tanto local, como regionalmente, ele é conhecido como rio Pandeiros. Formado pelo encontro das águas de três córregos: Genipapo e Vitória à esquerda e do Suçuarana, à direita, passa a ser chamado de ribeirão no mapa da Folha São Joaquim (IBGE, 1972), após receber o riacho da Ema (MAPA 4). Aqui, no entanto, ele já é denominado de rio Pandeiros desde essa confluência.

A Chapada das Gerais, que forma o Domínio Geomorfológico I, Mapa 3, tem uma

superfície plana à ondulada, Fotografia 1, com baixa declividade (1 a 2°), como mostra o Mapa de Declividade (MAPA 5). Em função disso, e do fato de que a erosão fluvial é dificultada pela estrutura horizontalizada das camadas tectonicamente indeformadas das rochas da Fm. Serra das Araras (Grupo Urucuia), ela apresenta baixa densidade de drenagem. Além de incipiente, é pouco encaixada e os baixos índices de declividades, além de elevadas taxas presumidas de infiltração em função do relevo plano e da textura arenosa dos regolitos, fazem com que a área apresente um baixo potencial erosivo.

Fotografia1 – Relevo relativamente plano (1-2°) do topo da Chapada das Gerais, porção mais elevada da bacia do rio Pandeiros



Fonte: AUGUSTIN, C.H.R.R., 2021.

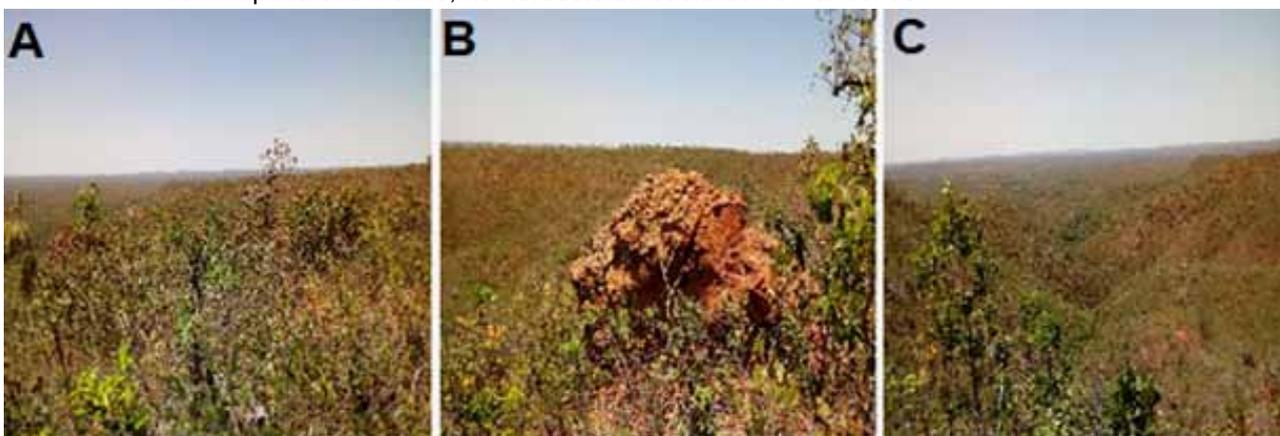
Nota: Destaca-se o Latossolo Vermelho-amarelo predominante e a cobertura vegetal de cerrado degradado, resultante do desmatamento e da queima periódica para fins de uso para pastagem.

Grande parte da Chapada tem regolito relativamente espesso, composto por material proveniente predominantemente de elúvios da intemperização *in situ* das rochas da Fm. Serra das Araras, Mapa 2, e por colúvios localizados, formando Latossolos Vermelho-Amarelos, conforme Dias (2017), com alto teor de areia (AUGUSTIN *et al.*, 2020; LIMA, 2019). Na borda NW da Chapada ainda podem ser encontrados afloramentos residuais

das rochas laterizadas (avermelhadas) da Fm. Serra das Araras (FOTOGRAFIA 2).

A partir dos limites das bordas da Chapada, Mapa 4, aparecem vales encaixados, localizados no Domínio Geomorfológico II (Escapas), que se estendem por todos os limites da bacia do rio Pandeiros, Fotografia 2: a noroeste, com o rio Carinhanha ao norte, com o rio Cochá e a nordeste, com o rio Peruaçu.

Fotografia 2 – Feições morfológicas e afloramento de conglomerados da Formação Serra das Araras na borda da Chapada das Gerais, no noroeste da bacia do rio Pandeiros



Legenda: A) Topo plano da Chapada, com cobertura de cerrado degradado.

B) Afloramentos dos conglomerados laterizados da Formação Serra das Araras, que sustenta a superfície aplainada da Chapada das Gerais.

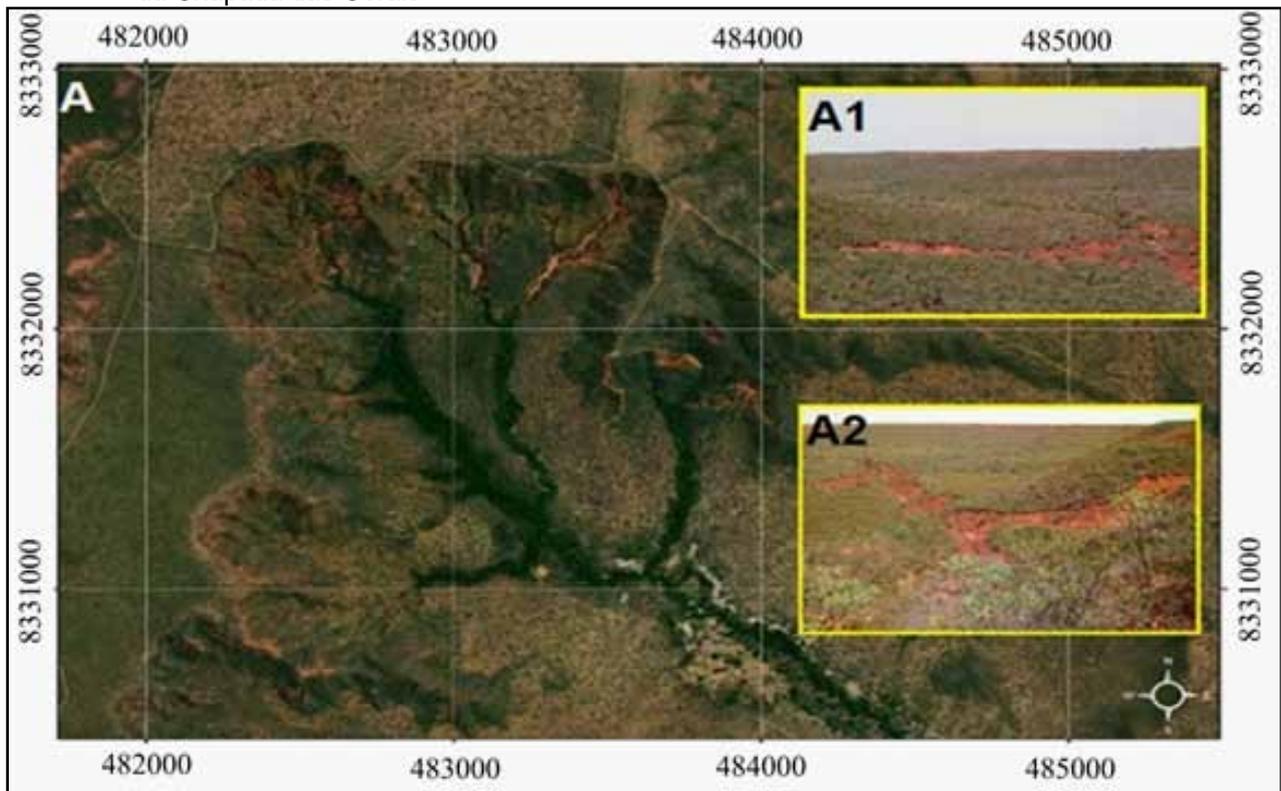
C) Borda abrupta da Chapada, com vale encaixado que corta sua borda em direção a drenagem do rio Pandeiros, sendo possível observar suas paredes abruptas e irregulares, formando a Escarpa NW.

Fonte: AUGUSTIN, C.H.R.R., 2021.

O Perfil A-B, Figura 2, mostra ainda como a Escarpa NW, Mapa 4, é marcada por grande desnível altimétrico causado, na margem esquerda, pela incisão em especial das cabeceiras dos córregos Genipapo e Vitória. No perfil, pode-se ainda identificar a zona de influências das cabeceiras do córrego Lavrado. As rupturas de declive podem atingir a ordem de 80 m ou mais de altura, no contato do topo da Chapada com a base marcada pelo nível do rio Pandeiros (MAPA 4). O mesmo ocorre nas Escarpas norte e nordeste, bem como nos interflúvios que marcam os limites com as bacias dos rios Cochá e Peruaçu, onde as diferenças altimétricas são menores (50 a 60

m). Nessas áreas, as cabeceiras formam semicírculos, denominados na geomorfologia de anfiteatros (FIGURA 3). Por se tratar de fluxos de nascentes, eles tendem a apresentar baixa vazão; no entanto, contam com muita energia em decorrência das declividades acentuadas (10 a 50°), as mais elevadas da bacia (MAPA5). Além disso, a presença de rochas bastante intemperizadas e muita umidade na base do anfiteatro devido à interceptação do nível freático pela erosão, favorecem a atuação de processos erosivos de solapamento basal (*sapping*), gerando sedimentos não coesos que se acumulam na sua parte baixa (FIGURAS 3A, A1 e A2).

Figura 3 – A) Anfiteatros formados pelo avanço das cabeceiras dos afluentes do rio Pandeiro nos terrenos da Chapada das Gerais



Fonte: Adaptado pelos autores com base nas imagens GOOGLE EARTH PRO, 2020.

Nota: Processo de solapamento basal (*sapping*), nas áreas de contato entre a Chapada das Gerais e a Escarpa NW. Detalhes da acumulação desses sedimentos não coesos sendo retrabalhados por processos, como o voçorocamento (A1 e A2).

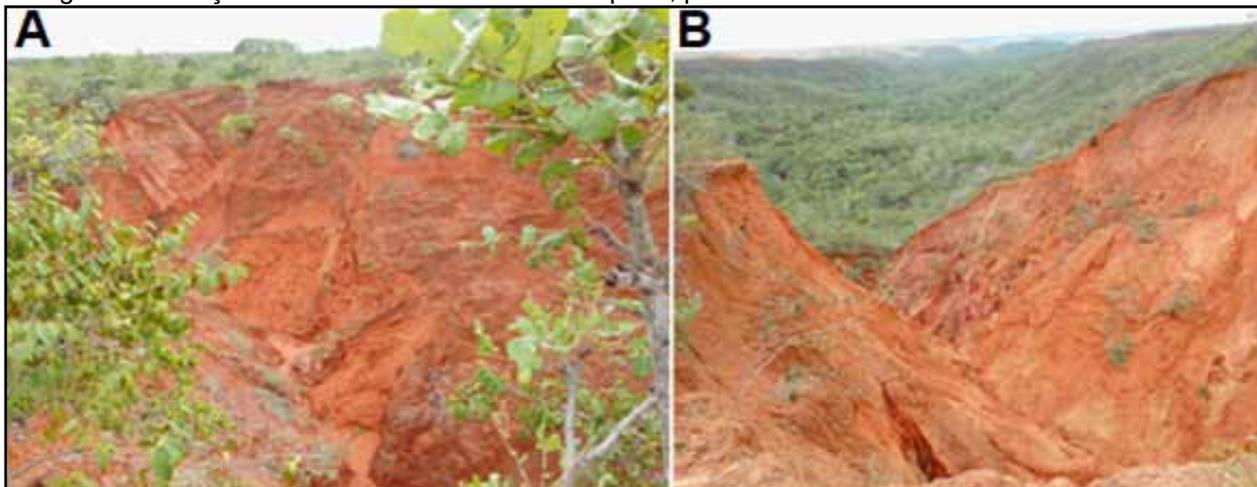


Por causa do afunilamento dos canais na porção mais baixa do anfiteatro, os sedimentos tendem, em condições de equilíbrio dinâmico das sub-bacias, a ser lentamente retirados pela drenagem (FIGURA 3A). No entanto, por se tratar de material já mobilizado, ele é muito susceptível ao deslizamento e ao voçorocamento, o que acaba por acelerar sua retirada, como pode ser observado na figura 3 (A1 e A2).

A ocupação dessas áreas por atividades antrópicas pode, portanto, desencadear vários tipos de processos (voçorocamentos, ravinamentos, enxurradas, erosão em lençol e *pipping*, entre outros, conforme Fotografia

3), acelerando a remobilização do material até à rede de drenagem, acentuando os problemas decorrentes do assoreamento dos canais fluviais e do Pantanal do rio Pandeiros (AUGUSTIN *et al.*, 2020). A retirada da cobertura vegetal e as queimadas têm sido um dos maiores fatores associados à ocorrência dos processos erosivos dispersos, assim como as estradas vicinais em áreas de ruptura de declive, favorecem a erosão concentrada, como os voçorocamentos, em função da ocorrência da associação entre características do relevo, como a declividade acentuada, como demonstrado por Lima, (2019) e Augustin *et al.* (2020).

Fotografia 3 – Voçorocas na área da borda da Chapada, próximas às nascentes do rio Pandeiros



Legenda: A) Cabeceiras de voçoroca na área da Escarpa NW, com deslizamento planar nas paredes.
B) Deslizamento levemente rotacional em voçoroca com ruptura abrupta de declive, típica das áreas de bordas da Chapada.

Fonte: AUGUSTIN, C.H.R.R., 2020.

Nota: Em ambas, nota-se a cor avermelhada do regolito, indicando saída recente de sedimentos e laterização do regolito da Fm. Serra das Araras.

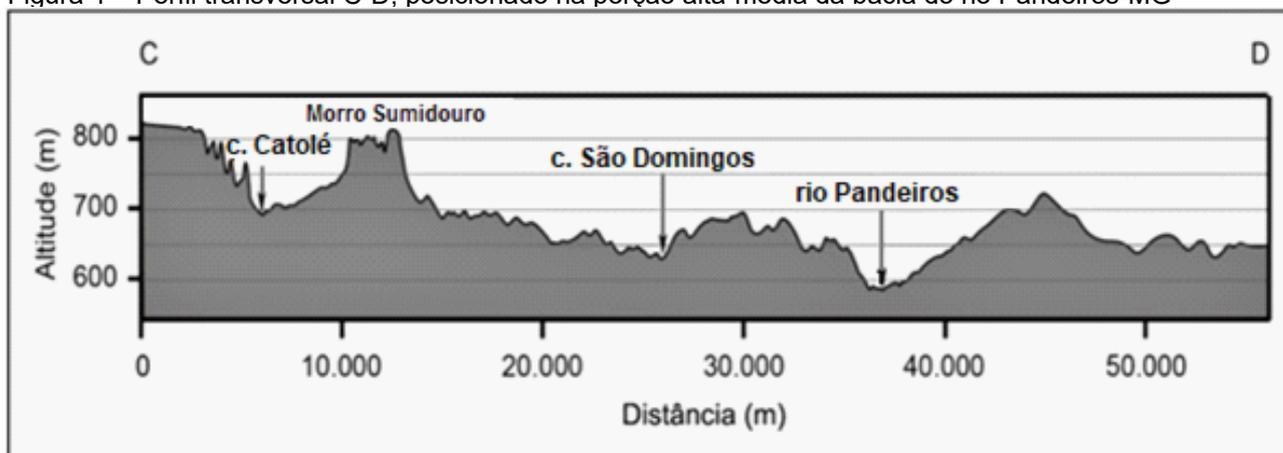
Perfil C – D

O perfil transversal C-D, Figura 4, do Mapa Hipsométrico 4, encontra-se localizado na porção alta para a média do vale do rio Pandeiros. Ao longo do perfil é possível identificar a presença de três conjuntos de terrenos mais elevados (entre 858 e 680 m): 1) na margem esquerda da bacia, o relevo da Chapada das Gerais a NW e seus remanescentes; 2) o da Escarpa N, ocupada pelos interflúvios dos córregos Catolé e da Panela e seus relevos residuais; 3) no lado direito, os interflúvios entre o córrego Pindaibal e rio Pandeiros, apresentando também formas residuais. O primeiro conjunto, da margem esquerda do Pandeiros, é topograficamente o mais eleva-

do, Figura 4, sendo formado por relevo plano a levemente ondulado (0 a 2°), no domínio da porção norte da Chapada das Gerais (MAPA 5). Abaixo da borda da Chapada, encontra-se a Escarpa Norte (N), que abriga várias nascentes, entre elas, as dos córregos São Domingos e da Panela, afluentes da margem esquerda do rio Pandeiros.

A erosão que provocou o recuo da Chapada acentuou as declividades, que podem variar de 10 a 56°, Mapa 5, formando o Domínio das Escarpas, Mapa 3, deixando como testemunho da sua antiga área de ocupação, relevos residuais, como o Morro do Sumidouro, Figuras 4 e 5, de forma tabular, que alcança até 800 m de altitude, margeado por declives acentuados (10 a 20°).

Figura 4 – Perfil transversal C-D, posicionado na porção alta-média da bacia do rio Pandeiros-MG



Fonte: Elaborado pelos autores, 2022.

Nota: Na margem esquerda (Lado C), destaca-se a parte mais elevada da Chapada das Gerais e o Morro do Sumidouro, separado da Chapada pela incisão dos afluentes do córrego (c.) Catolé, formando um relevo tabular residual. Mostra ainda o encaixamento do córrego (c.) São Domingos e do rio Pandeiros.

Figura 5 – O Morro do Sumidouro



Fonte: Elaborada pelos autores a partir de Imagens GOOGLE EARTH PRO, 2022.

Nota: A pontado pela seta amarela, é um relevo residual, localizado entre afluentes do córrego Catolé.

Antes da dissecação fluvial provocada pelo sistema de drenagem criando a zona da Escarpa Norte, o morro fazia parte da Chapada das Gerais.

As formas do relevo residual foram esculpidas em material laterizado e, portanto, avermelhado, das rochas da Fm. Serra das Araras, tendo suas bases assentadas nos arenitos mais esbranquiçados, com baixo teor de ferro, da Fm. Posse. Na margem esquerda da Figura 4, destaca-se ainda a classe de altitudes entre 683 e 775 m, Mapa 4, dos interflúvios dos córregos São Domingos e Panela, este último, com declividades acentuadas (5 a 20°).

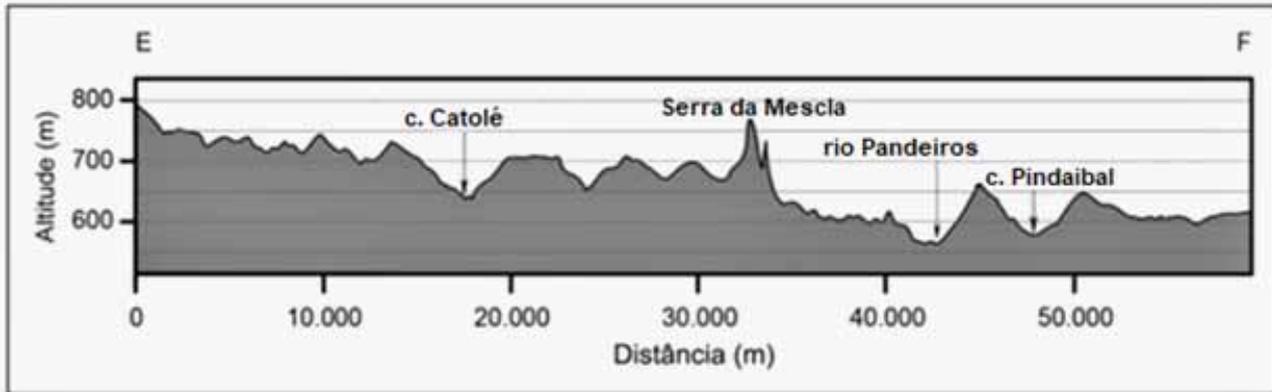
Nas baixas encostas, predominam elevações de 683 a 540 m e declividades de 2 a 5°. As porções mais elevadas são encontradas no interflúvio do córrego Pindaibal e do rio Pandeiros, no domínio das rochas da Fm. Serra das Araras, que ainda conta com a presença de relevo testemunho do antigo nível da Chapada das Gerais (ex. porção mais alta

da margem esquerda), que chegava até esta porção da bacia (FIGURA 5). Diferentemente da margem esquerda, a margem direita tem drenagem menos densa e os rios são mais curtos (MAPA 4). Rios curtos, em geral, tendem a ter um alto potencial erosivo. Contudo, suas vertentes são menos inclinadas do que as da margem esquerda o que, associado ao fato desta margem apresentar altitudes menos elevadas, faz com que a drenagem tenha menos energia erosiva.

Perfil E – F

O perfil transversal E-F, Figura 6, corta a área onde é encontrada a maior amplitude lateral da bacia do rio Pandeiros (em torno de 65 Km).

Figura 6 – Perfil transversal (E-F), na porção média da bacia do rio Pandeiros



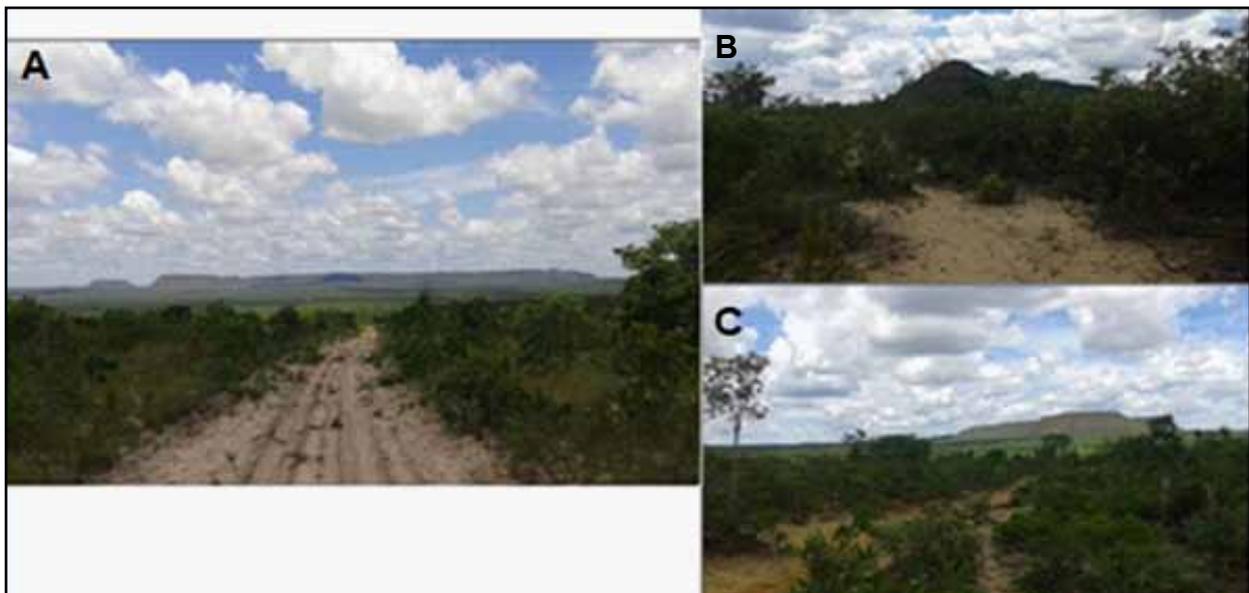
Fonte: Elaborado pelos autores, 2022.

Nota: Destaca-se a topografia mais elevada da margem esquerda do Pandeiros (letra E) e a presença de relevos residuais, como a Serra da Mescla, cuja forma íngreme na figura é resultado do exagero vertical da escala do perfil transversal. Na realidade, ela tem forma tabular. Também se destaca a drenagem, formada pelo rio Pandeiros, mais encaixado, o córrego (c.) Catolé, seu afluente da margem esquerda e o córrego (c.) Pindaibal, da margem direita.

Também é nessa porção, tanto na margem esquerda da bacia, como na margem direita, que são encontrados relevos residuais, testemunhos da presença da antiga superfície

da Chapada das Gerais, que chegava até esta área no passado geológico (FOTOGRAFIA 5; FIGURA 7).

Fotografia 5 – Feições do relevo testemunho da superfície da Chapadas das Gerais na porção média da bacia do Pandeiros



Legenda: (A) Complexo da Serra da Mescla, com destaque para a Serra da Mescla, uma meseta de topo plano e vertentes íngremes. À sua esquerda, forma tabular menor, já separada da serra principal.

(B) Os morros isolados de topo arredondados também compõem o Complexo da Serra.

(C) Outras formas tabulares remanescentes da superfície outrora sustentada por rochas da Formação Serra das Araras, separadas pela drenagem, mas que ainda fazem parte do Complexo da Serra da Mescla, formada predominantemente pela Serra da Mescla.

Fonte: AUGUSTIN, C. H. R. R., 2020.

O mesmo conjunto da Serra Mescla pode ser identificado na imagem da Figura 7, na qual distinguem-se tanto as formas tabulares da meseta da serra, como a presença

de morros isolados, de topo arredondados, resultado do reafeiçoamento das formas em condições de clima mais úmidos.

Figura 7– Conjunto da Serra da Mescla



Fonte: Elaborada pelos autores, com base nas imagens GOOGLE EARTH PRO, 2022.

Nota: Apontadas pelas setas amarelas, são formas tabulares e/ou de morros isolados, de relevo reliquiais, ou seja, remanescentes da superfície das Chapada das Gerais, que, no passado, ocupou esta área.

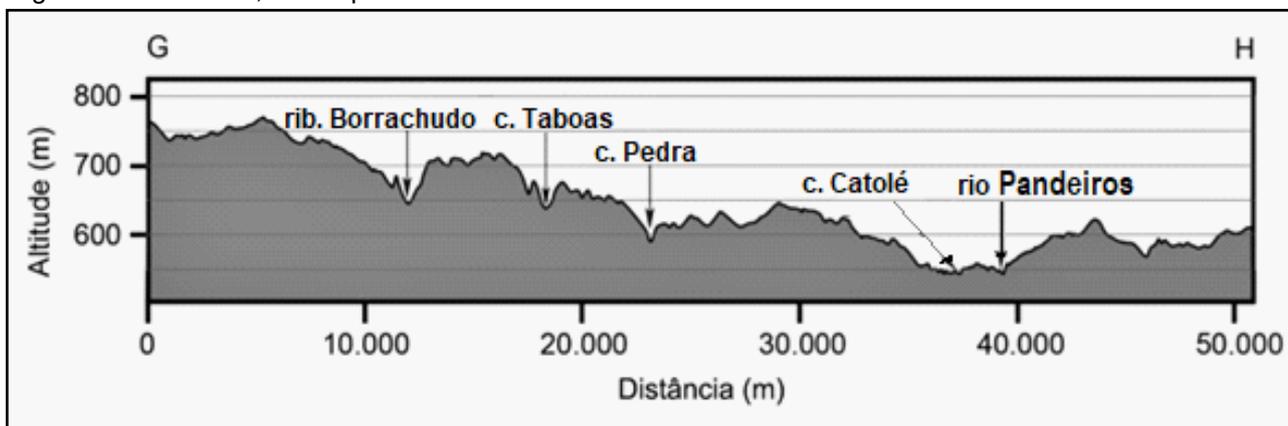
Perfil G – H

No perfil G-H, Figura 8, é possível identificar dois conjuntos de formas de relevo. O da margem esquerda do rio Pandeiros, que é mais elevado, com altitudes que atingem mais de 700 m, corresponde ao relevo residual da borda nordeste da Chapada, modelado nas rochas da Fm. Serra das Araras. O da margem direita, mais baixo, é encontrado predominantemente sobre as rochas da Fm. Posse, com relevos ondulado, mas sobre os quais ainda repousam elúvios espessos de rochas remanescentes da Fm. Serra das Araras (MAPA 2).

A Figura 8 mostra na margem esquerda,

na porção NE da Chapada das Gerais no limite com a bacia do rio Peruaçu, Mapa 4, as altitudes mais elevadas (756-858 m) dessa porção do relevo da bacia, restritas a uma pequena área com substrato de rochas da Fm. Serra das Araras (acima de 780 m). Como no restante da Chapada, o relevo aqui também é plano (0 a 2°), como pode ser verificado no Mapa 4 e Fotografia 1, embora ocorra uma mudança abrupta na área de nascentes do córrego Forquilha, afluente do riacho Borrachudo, na borda da Escarpa NE, onde as declividades estão entre 5 e 10° (MAPA 5).

Figura 8 – Perfil G-H, intercepta áreas do médio-baixo rio Pandeiros



Fonte: Elaborado pelos autores, 2022.

Nota: O relevo da margem esquerda (lado G) é mais elevado, diminuindo em direção à calha do Pandeiros (lado H). O córrego (c.) Pedra drena a área do complexo da Serra da Mescla, enquanto o córrego (c.) Taboas, é afluente do ribeirão (rib.) Borrachudo, na margem esquerda do Pandeiros.

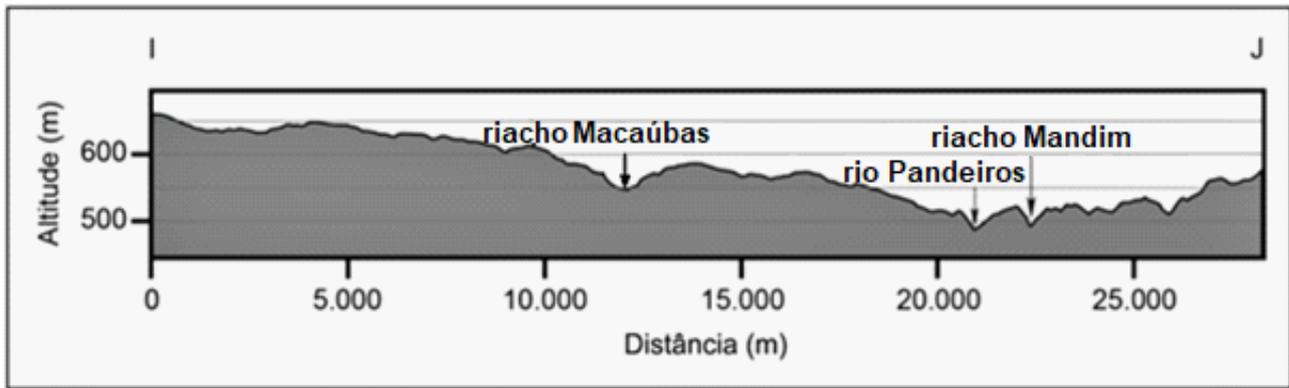
Na margem direita do Pandeiros, Mapa 4, interceptada por este perfil G-H, Figura 8, as altitudes são bem mais baixas do que as da margem esquerda, porém semelhantes às encontradas nas baixas encostas do riacho Borrachudo. As maiores altitudes (682 e 622 m) ocorrem no lado direito do Pandeiros, ao longo do vale da Vereda Alegre. As porções mais baixas, predominantemente entre 539 e 447 m, são encontradas nos fundos do vale do rio Pandeiros, nas confluências dos seus tributários, tanto da margem esquerda (ex: córrego Catolé e riacho Borrachudo), quanto da direita (ex. Vereda Alegre). Essas junções são resultantes do maior aprofundamento e alargamento dos vales, indicando também grande retirada de sedimentos das encostas, acima da capacidade de transporte do sistema de drenagem, o que levou ao assoreamento dos fundos dos canais.

Perfil I – J

O perfil I-J, Figura 9, mostra que as grandes diferenças de extensão, altimetria e declividade entre os terrenos da margem esquerda, mais extensos, altos e inclinados, e os da direita do rio Pandeiros, mais baixos, menos extensos e inclinados, perpassam toda a bacia, acompanhando o eixo longitudinal do rio.

Nesta área é encontrado material do tipo sílex (*chert*), possivelmente da base dos calcários do Grupo Bambuí, mais resistentes ao intemperismo químico e físico, dificultando a incisão vertical do rio Pandeiros e o alargamento do seu canal. Isso cria rupturas de declive (*knickpoints*), levando à formação de cachoeiras e corredeiras, o que favoreceu a construção da Pequena Central Hidrelétrica - PCH neste rio (AUGUSTIN *et al.*, 2020).

Figura 9 – Perfil I-J



Fonte: Elaborado pelos autores, 2022.

Nota: Esta figura indica mudanças significativas do padrão de drenagem nessa porção da bacia, com a presença de relevo mais baixo na margem direita do rio Pandeiros, onde está localizado o riacho Mandim e seus afluentes, enquanto na margem esquerda (riacho Macaúbas), o relevo é mais dissecado e, por isto, com declividade mais acentuada.

O principal afluente da margem esquerda do Pandeiros neste trecho é o riacho Macaúbas, Mapa 4, cujo canal e as baixas encostas encontram-se esculpidos em rochas carbonáticas da Fm. Sete Lagoas, do Grupo Bambuí (MAPA 2). Estas foram expostas justamente pela dissecção da drenagem do Macaúba ao retirar, através da erosão, as rochas do Grupo Urucuia. Os arenitos da Fm. Posse, no entanto, são ainda predominantes nessa sub-bacia, formando o substrato rochoso de quase todas as porções mais altas (entre 682 e 622 m) do seu interflúvio (FIGURA 9). Saindo das zonas de interflúvio, as altitudes se reduzem a valores abaixo dos 540 m, atingindo menos de 480 m nas zonas dos fundos dos vales do Pandeiros e dos riachos Macaúbas e Mandim.

O perfil I-J, Figura 9, mostra ainda que o riacho Mandim e seus afluentes, constituídos de cursos de água curtos, Mapa 3, causam dissecção mais intensa na margem direita do rio Pandeiros do que o riacho Macaúba, na margem esquerda (MAPA 4). As nascentes do Mandim estão localizadas no contato dos arenitos da Fm. Posse, com as rochas

carbonáticas da Fm Sete Lagoas, Mapa 2, estratigráfica e topograficamente mais baixas. Ambas favorecem a infiltração da água de chuva (*runoff*) e seu armazenamento, constituindo, assim, um aquífero local importante (KIANG; SILVA, 2015). Já no médio curso do Mandim, o canal se encontra estabelecido sobre as rochas da Fm. Sete Lagoas, ou seja, sobre rochas carbonáticas (MAPA 2). Isto pode explicar, pelo menos em parte, a forte sazonalidade do seu escoamento, possivelmente já associado ao regime cárstico.

O contato geológico nessa área é também responsável pela ocorrência de uma grande ruptura de relevo, Mapas 4 e 2, fazendo com que as declividades na bacia do Mandim sejam relativamente elevadas em comparação com as do restante da área, atingindo localmente de 10 a 20°, embora predominem aquelas entre 5 e 10° (MAPA 5). A declividade mais alta, associada à ocorrência de rochas residuais lateralizadas, influencia na intensificação dos processos erosivos, levando à ocorrência de voçorocamento, processo que contribui para o assoreamento de fun-

dos de vale e do Pantanal do rio Pandeiros (AUGUSTIN *et al.*, 2020). Na margem direita, bem como na porção do baixo interflúvio do Pandeiros, são encontradas rochas carbonáticas da Fm. Sete Lagoas. Elas formam um semiarco no sentido N-S, que vai da bacia do rio Peruaçu à do rio Pardo (MAPA 2). As rochas calcárias e dolimíticas de cores claras da Fm Sete Lagoas formam o substrato das porções mais baixas do relevo, com altitudes entre 539-477 m (MAPA 4). Já os afloramentos de “calcários calcíticos até cinzentos do tipo calcarenitos, com raros níveis finos de margam calcítica” (CODEMIG; UFMG, Folha São Francisco, 2015) do Membro Lagoa Santa, Mapa 2, formam as porções mais elevadas (660–560 m).

Ao cotejar o Mapa Hipsométrico 4 com

o Geológico 2, é possível observar que as altitudes mais elevadas (682 e 622 m) nesse trecho do transecto I-J, Figura 9, ocorrem na margem esquerda do rio Pandeiros, sobre arenitos da Fm. Posse. É também aí, onde o riacho Borrachudo e o Macaúbas, já erodiram o suficiente para fazerem aflorar os carbonatos da Fm. Sete Lagoas, do Grupo Bambuí. Na margem esquerda, o relevo é predominantemente plano, com baixas declividades (0 a 5°), dominado pelos interflúvios do riacho Macaúbas e seus afluentes (MAPA 5). Os afloramentos de calcário formam paredões abruptos que podem atingir mais de 80 m de altura, em cujas bases ocorrem planícies denominadas de poljes, possivelmente formadas por processos de dissolução do calcário (FOTOGRAFIA 6 A e B).

Fotografia 6 – Feições cársticas no baixo rio Pandeiros



Legenda: (A e B) Paredões de afloramento de rochas carbonáticas formando “ilhas” mais elevadas em meio a depressões (poljes).

Fonte: AUGUSTIN, C.H.R.R., 2021.

Durante os trabalhos de campo realizados, foram encontradas cavernas desenvolvidas no interior desses maciços rochosos, tanto nas margens do rio Pandeiros, como

no Pardo. Embora formem uma extensão considerável do relevo do baixo Pandeiros, estas feições cársticas não foram, até agora, muito estudadas.



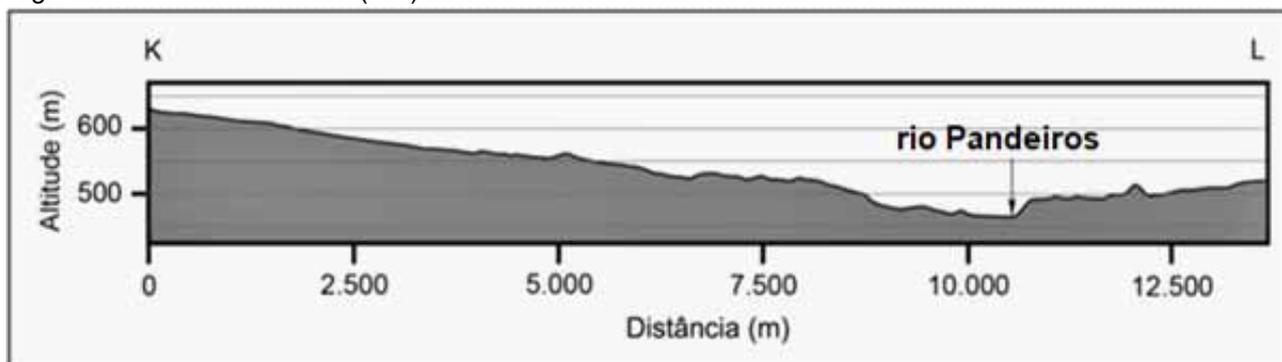
Perfil K – L

O sexto e último perfil transversal da bacia, Figura 10, intercepta o relevo do baixo Pandeiros. A porção mais elevada da área corresponde ao domínio das rochas carbonáticas da Fm. Sete Lagoas (622 e 540 m), nas quais foi elaborado relevo cárstico, Mapa 2, semelhante àquele identificado no perfil anterior e no qual se destacam tanto os poljes (planícies), como os afloramentos marcados por lapiás horizontais e verticais, resultantes da dissolução do calcário pelo escoamento da água de chuva.

Ao observar a Figura 10, nota-se que o

vale do rio Pandeiros tem uma porção mais longa e topograficamente elevada (lado K), que corresponde ao interflúvio do riacho Macaúbas, na margem esquerda do Pandeiro, já no domínio das rochas carbonáticas do Grupo Bambuí (MAPAS 2 e 4). Essa porção foi sendo erodida pelo Pandeiros ao longo do tempo geológico, fazendo com que ela recuasse lateralmente a partir da sua calha. Já o rio Pandeiros encontra-se encaixado na falha norma extensional, enquanto do outro lado das suas margens (lado L), a área é mais baixa e o contato da encosta com a calha do rio é mais íngreme, embora também modelada em rochas do Grupo Bambuí.

Figura 10 – Perfil transversal (K-L) do baixo curso do rio Pandeiros



Fonte: Elaborado pelos autores, 2022.

Nota: Mostrando diferenças altimétricas com as porções mais elevadas do relevo neste trecho, modeladas em rochas carbonáticas, e as menos elevadas, correspondendo ao domínio da planície aluvial, na qual se encontra localizado o Pantanal.

Estas rochas que, hoje, repousam diretamente sobre os granitos gnaisses do Complexo Januária, são recobertas por sedimentos aluviais da larga planície do rSF, que foram, e continuam sendo depositados até hoje (MAPA 2). Na planície aluvial do Pandeiros, Figura 10, com altitudes mais baixas (539 a 447 m) e declividade entre 0 e 2°, Mapa 5, ocorrem diques marginais naturais (*levées*), que são terraços mais altos, depositados nas margens

externas do canal durante enchentes, no caso, aquelas provocadas pela subida do nível do São Francisco, como apontado por Oliveira (2021). É também nesta larga planície, que está localizado o Pantanal do rio Pandeiros, uma área úmida (*wetland*), parcialmente sujeita, assim como toda a zona da planície aluvial, às inundações sazonais do rio Pandeiros e às do rSF (OLIVEIRA, 2021). O denominado Pantanal Mineiro, ocupa uma área que varia

de 20 a 50 Km² dependendo da extensão das cheias, abrigando importantes ecossistemas aquáticos (BETHONICO, 2009a). Além do seu papel na sustentação desses ecossistemas tem, como outras áreas úmidas (*wetlands*) em vários lugares do mundo, a função de conter sedimentos que, de outra maneira, seriam despejados no rSF e acabariam transportados para o mar (OLIVEIRA, 2021). Contribui, ainda, para a captura de CO², diminuindo os efeitos do aquecimento do clima. O Pantanal conta com muitos meandros que, quando desconectados do leito principal do rio Pandeiros, formam um conjunto importante de lagoas marginais. Durante o período de chuvas, elas voltam a ser preenchidas tornando-se parte ativa do leito maior do Pandeiros e do rSF, voltando a ser abandonadas quando os rios voltam ao seu leito normal. O nível do rio Pandeiros é de 459 m (espelho d'água) de altitude ao atingir o rSF, enquanto o nível de base regional deste último, atinge, neste ponto, 457 m. Esses valores, no entanto, podem variar em períodos de chuva, quando os leitos sobem devido às enchentes.

Considerações Finais

A análise geomorfológica da bacia do rio Pandeiros, focada nos desníveis topográficos e inclinação do relevo ao longo dos perfis transversais (e um longitudinal) da bacia, teve como base os mapas Hipsométrico, Mapa 4, e o de Declividade (MAPA 5). Também foram utilizadas informações complementares fornecidas pelos Mapas 2 (Geológico) e 3 (Domínios Geomorfológicos). A análise realizada mostra que a variação das formas de relevo impacta os processos da dinâmica hídrica da bacia,

extrapolando os limites litoestatigráficos do substrato geológico formado pelas rochas do Grupo Urucua e do Bambuí e, de maneira localizada, por rochas granito-gnáissicas do Complexo Januária.

Através do Mapa Hipsométrico 4, foi possível identificar a disposição do relevo ao longo de dois eixos principais do relevo. O primeiro, longitudinal ao canal do rio Pandeiros (M-N), vai do topo da Chapada das Gerais à sua confluência com o rSF, seu nível de base. É o São Francisco que fornece o desnível para o recuo do rio Pandeiros a montante, hoje, em torno de 97 Km, até o início das nascentes do córrego Vitória. Já a bacia tem um comprimento aproximado de 107 Km, apresentando um desnível médio de 3,58 m/Km, medidos com base no mapa Hipsométrico. O segundo eixo, representado por perfis transversais (A-B; C-D; E-F; G-H, I-J; K-L), permitiu observar as variações do relevo resultantes do alargamento lateral da bacia, realizada principalmente pelo recuo, a montante, das cabeceiras dos tributários dos dois lados do rio Pandeiros. Esse eixo evidenciou as grandes diferenças altimétricas, de declividade (com o auxílio do Mapa 5, de Declividade) e de padrão de formas, entre as duas margens do rio, da cabeceira até sua foz. Há um predomínio de feições mais baixas e, em geral, com menor declive, na margem direita, enquanto os grandes interflúvios alongados como os dos córregos São Domingos, Catolé e os riachos Borrachudo e Macaúbas, da margem esquerda, apresentam maiores altitudes e declividades mais acentuadas, em direção não só às suas próprias calhas, como também em direção à do rio Pandeiros.

A análise dos seis perfis topográficos trans-



versais à bacia do rio Pandeiros (A-B; C-D; E-F; G-H; I-J; K-L) possibilitou a identificação e caracterização dos distintos Domínios Geomorfológicos, Mapa 3, apontados na bibliografia sobre a bacia (ver referências na Introdução), mostrando as variações do potencial erosivo e deposicional de cada um deles. Também foi possível observar que nem sempre as maiores altitudes correspondem aos relevos mais declivosos e com maior energia erosiva potencial, seja ela fluvial, ou de encosta (MAPAS 4 e 5). Esse é o caso, por exemplo, do Domínio Geomorfológico da Chapada das Gerais, a parte mais elevada da bacia (acima de 780 m). Ela encontra-se ainda pouco dissecada pela drenagem e com declividade que a classificam como um relevo de plano a levemente ondulado (1-2°). O contrário ocorre na margem direita do riacho Mandim, onde a altitude não é muito elevada, mas as declividades são relativamente altas (acima de 10°). Isto significa que, para uma visão mais precisa do relevo e da energia a ele associada, é importante o uso de mais de uma ferramenta de análise, no presente caso, além do Mapa Hipsométrico 4, também o de Declividade (MAPA 5).

A presença de grandes rupturas de declive, como as encontradas no domínio das Escarpas, que acompanham toda a borda esquerda da bacia do rio Pandeiros, são áreas de grande susceptibilidade à erosão. Ela tende a se tornar especialmente crítica por causa do corte e da queima sazonal da cobertura vegetal nos anfiteatros que abrigam as nascentes, favorecendo a retirada e o transporte de sedimentos, tornando-as áreas preferenciais para ações de

preservação natural, como consta do Relatório Final do Projeto Sustentabilidade da bacia do Rio Pandeiros - MG: CENTRO DE DESENVOLVIMENTO DA TECNOLOGIA NUCLEAR (CDTN); UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS (UFMG), (2020).⁷

Este trabalho mostrou que o uso conjunto dos mapas Geológico 2, de Domínios Geomorfológicos 3, Hipsométrico 4 e de Declividade 5, com o auxílio de perfis transversais e um longitudinal, consegue fornecer dados e informações importantes para ampliar a compreensão da dinâmica geomorfológica de bacias e de rede de drenagem.

Esperamos que os resultados obtidos possam auxiliar na proposição de políticas ambientais para a área, de maneira sustentável, complementando importantes contribuições realizadas por outros autores, apresentados na Introdução deste artigo.

⁷<https://www.igc.ufmg.br/geografia/pos-graduacao-em-geografia/relatorios-e-produtos-tecnicos/>

Referências

- AUGUSTIN, C. H. R. R. **A Preliminary Integrated Survey of the Natural Resources near Alcantarilla, Southeast Spain**. 1979. 349 f. Thesis (Master of Science) – University of Sheffield, UK, 1979.
- AUGUSTIN, C. H. R. R.; MAIA-RODRIGUES, B. H. Geomorphic and geologic influences in a tropical semi-humid climate ecosystem. In: AGU - Fall Meeting Section: Earth and Planetary Surface Processes, 2012, San Francisco. USA. **Proceedings** [...]. San Francisco: AGU, 2012, Identifier: EP31B-0814.
- 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: 29 nov. 2022.
- BANDEIRA, J. V.; SALIM, L. H.; CHAGAS, C. J.; CARMARGOS, C. C.; AUGUSTIN, C. H. R. R.; JARDIM, C. H.; ARANHA, P. R. A.; COSTA, A. M.; SÁ, L. P.; FRANÇA, G. P. Estudos hidrossedimentológicos na bacia hidrográfica do rio Pandeiros, MG, em um contexto multidisciplinar. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE SEDIMENTOS, 13., PARTÍCULAS NAS AMÉRICAS, 1., 2018, Porto Alegre. **Anais** [...]. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2018. p. 1-8.
- BARBOSA, I. S. **Classificação e caracterização dos ambientes de terras úmidas do Refúgio de Vida Silvestre do Rio Pandeiros, a partir do uso de imagens Ikonos**. 2010. 65f. Dissertação (Mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, 2010.
- BARRETO, H. N. Investigação da influência dos processos denudacionais na evolução do relevo da Serra do Espinhaço Meridional, Minas Gerais – Brasil. 2012. 148f. Tese (Doutorado em Evolução Crustal e Recursos Naturais) – Departamento de Geologia. Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto-MG. 2012.
- BETHONICO, M. B. M. **Área de proteção ambiental estadual do Rio Pandeiros-MG: espaço, território e atores**. 2009. 288p. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal Fluminense, RJ, 2009b.
- BETHONICO, M. B. 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, jan./jun. 2009a.
- BETHONICO, M. B. M.; CUNHA, S. B. D. Gestão sustentável de unidades de conservação: o caso da APA estadual do Rio Pandeiros, Minas Gerais. **GEOgraphia**, v. 11, n. 22, p. 104-127, 2009.
- BIERMAN, P. R.; MONTGOMERY, D. R. Key Concepts in Geomorphology. New York (NY): W. H. Freeman and Company Publishers. 2014. 494 p.
- CENTRO DE DESENVOLVIMENTO DA TECNOLOGIA NUCLEAR (CDTN); UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS. Instituto de Geociências (UFMG). **Relatório Final do Projeto Sustentabilidade da Bacia do Rio Pandeiros - MG: dinâmica de vertentes da bacia do Rio Pandeiros**. 2020. Disponível em: <https://www.igc.ufmg.br/geografia/pos-graduacao-em-geografia/relatorios-e-produtos-tecnicos/> . Acesso em: 29 nov. 2022.
- CHAGAS, C. J.; MOREIRA, R. M.; AUGUSTIN, C. H. R. R.; BANDEIRA, J. V.; CARVALHO FILHO, C. A. Reuse of a dam as sediment trap and water reserve. **RBRH**, v. 27, p. 1-11, 2022.
- CHRISTIAN, C. S.; STEWART, G. A. Methodology of Integrated Surveys. In: Aerial Surveys and Integrated Studies. Principles Methods Integrating Aerial Studies. Nat. Res. Potential Develop, 1968, Toulouse. Toulouse: **Proceedings**[...]. Toulouse: UNESCO Conference, 1968, p. 233-280.
- COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO DE MINAS (CODEMIG); UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS. Instituto de Geociências. (UFMG). **Folha Catolé: Mapas Geológicos (SD.23-Z-C-I)**. Belo Horizonte, 2015. Escala 1.100.000. Projeto Fronteiras de Minas. Disponível em: <http://www.portalgeologia.com.br/index.php/mapa/>. Acesso em: 16 out. 2016.
- COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO DE MINAS (CODEMIG); UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS. Instituto de Geociências. (UFMG). **Folha Januária: Mapa Geológico (SD. 23-Z-C-II)**. Belo Horizonte, 2015. Escala 1.100.000. Projeto Fronteiras de Minas. Disponível em: <http://www.portalgeologia.com.br/index.php/mapa/>. Acesso em: 16 out. 2016.
- 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 out. 2016.

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO DE MINAS (CODEMIG); UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS. Instituto de Geociências. (UFMG). **Folha São João da Ponte: Mapa Geológico (SD. 23-Z-C-V)**. Belo Horizonte, 2015. Escala 1.100.000. Projeto Fronteiras de Minas. Disponível em: <http://www.portalgeologia.com.br/index.php/mapa/>. Acesso em: 16 out. 2016.

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO DE MINAS (CODEMIG); UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS. Instituto de Geociências. (UFMG). **Folha São Joaquim: Mapa Geológico (SD. 23-Y-D-III)**. Belo Horizonte, 2015. Escala 1.100.000. Projeto Fronteiras de Minas. Disponível em: <http://www.portalgeologia.com.br/index.php/mapa/>. Acesso em: 21 jul. 2015.

DIAS, L. C. C. **Análise da paisagem da área de proteção ambiental estadual do Rio Pandeiros, MG: subsídios para o manejo e conservação da fauna**. 2017. 86f. Dissertação (Mestrado em Conservação da Fauna) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, São Paulo, 2017.

FONSECA, B. M. **O uso do Sistema de Informações Geográficas na análise morfométrica e morfológica de bacias de drenagem na Serra do Espinhaço Meridional – MG**. 2010. 93f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, 2010.

FONSECA, B. M.; AUGUSTIN, C. H. R. R. Use of GIS to calculate Hack Index as a basis for comparative geomorphologic analysis between two drainage basins: a case study from SE-Brazil. *In*: INTERNATIONAL GEOGRAPHIC UNION REGIONAL GEOGRAPHIC CONFERENCE, 2011, Santiago, Chile. **Proceedings** [...]. Santiago: International Geographic Union, 2011, v. 1. p. 1-12, 2011.

FONSECA, D. S. R. **Avaliação Temporal por NDVI em Ambientes Naturais na Área de Preservação Ambiental do Rio Pandeiros/MG**. Montes Claros, MG: ICA/UFMG, 2012. 39 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Núcleo de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros MG, 2012.

FONSECA, D. S. R.; NASCIMENTO, C. R.; MIRANDA, W. A.; DE FIGUEIREDO, F. P. Diagnóstico do uso do solo e degradação ambiental na bacia hidrográfica do Pandeiros-MG como subsídio para estudos de impacto ambiental. **Revista Eletrônica Georaguaiá**, v. 1, n. 1, p. 1-20, jan/julho 2011.

FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS. (CETEC) **Diagnóstico ambiental do Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: CETEC, 1983. 130p. (Série de Publicações Técnicas/SPT-010)

GARCIA, P. M. B.; AUGUSTIN, C. H. R. R.; CASA-GRANDE, P. B. Geomorphological Index as Support to Urban Planning. **Mercator**, Fortaleza, v. 19, e19003, p. 1-24, 2020.

GASPAR, M. T. P.; CAMPOS, J. E. G. O sistema aquífero Uruçuia. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 37, suplemento 4, p. 1068-1078, dez. de 2007. Disponível em: www.sbgeo.org.br/1068.

GOOGLE. **Google Earth**. Disponível em: <http://earth.google.com/>. Acesso em: 20 jul. 2016; 15 jul. 2017; 16 fev. 2018; 5 jun. 2019; 16 jul. 2020; 15 mar. 2021; 12 out. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Mapa topográfico da Folha: Catolé - SD.23-Z-C-I**. [Rio de Janeiro, RJ]: IBGE, 1970. Escala 1: 100.000.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Mapa topográfico da Folha: Januária - SD.23. Z-C-II (MI-2178)**. 2. ed. [Rio de Janeiro, RJ]: IBGE, 1980. Escala 1: 100.000.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Mapa topográfico das Folhas: São Joaquim - SD.23-Y-D-II**. [Rio de Janeiro, RJ]: IBGE, 1972a. Escala 1: 100.000.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Base Cartográfica Digital**. Infraestrutura de dados espaciais (IDE-SISEMA.) Rio de Janeiro, 2002.

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS APLICADAS (IGA). **Áreas de proteção ambiental no Estado de Minas Gerais**: demarcação e estudos para o pré-zoneamento ecológico, APA Bacia do Rio Pandeiros. Belo Horizonte: IGA, 2006.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Topodata**: banco de dados geomorfológicos do Brasil: banco de dados geomorfológicos do Brasil. 2011. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/index.php>. Acesso em: 16 out. 2022.



INTERNATIONAL GEOGRAPHIC UNION REGIONAL GEOGRAPHIC CONFERENCE, 2011, Santiago, Chile. **Proceedings** [...]. Santiago: International Geographic Union -UGI, 2011, v. 1. p. 1-12, 2011.

MINAS GERAIS. **Lei nº 11.901 de 01 de setembro de 1995**. Declara de Proteção Ambiental as Áreas de Interesse Ecológico Situadas na Bacia Hidrográfica do Rio Pandeiros. Belo Horizonte, MG, 02 setembro de 1995. Disponível em: <https://www.almg.gov.br/legislacao-mineira/LEI/11901/1995/>. Acesso em: 09 de abril de 2023.

MINAS GERAIS. **Decreto n. 43.910 de 05 de novembro de 2004**. Cria o Refúgio de Vida Silvestre do Rio Pandeiros no Município de Januária. Belo Horizonte, Disponível em: <https://www.almg.gov.br/legislacao-mineira/DEC/43910/2004/>. Acesso em: 10 abr. 2013.

KHATUN, S.; PAL, S. Analysis of Regional Hypsometric Integral to Identify Landscape Evolution in Kushkarani River Basin. **Journal of Geography, Environment and Earth Science International**, v. 6, n. 3, p. 1-17, 2016.

KIANG, C. H.; SILVA, F. P. Contribuição ao arcabouço geológico do sistema aquífero Urucuia. São Paulo, UNESP, **Geociências**, v. 34, n. 4, p. 872-882, 2015.

LIMA, A. C. P. **Análise da distribuição espacial de voçorocas em domínio de rochas siliciclásticas: bacia do Rio Pandeiros–MG**. 2019. 83 p. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2019.

LOPES, S. S.; MAGRI, R. A. F. Uso do geoprocessamento no levantamento de feições erosivas e na produção da base cartográfica digital da bacia hidrográfica do Rio Pandeiros – MG. *In*: CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS, 12., 2015, Poços de Caldas, MG. **Anais** [...]. Poços de Caldas: Instituto Federal do Sul de Minas, Campus Muzambinho, 2015. v. 7, n. 1, p. 1-9.

MAIA-RODRIGUES, B. H. **Análise da dinâmica de evolução do relevo e da compartimentação geomorfológicas no contexto das bacias hidrográficas da margem esquerda do rio São Francisco - norte de Minas Gerais**. 2012. 107f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, MG, 2012.

MARTÍNÉZ, M. I. **Estratigrafia e tectônica do Grupo Bambuí no norte do Estado de Minas Gerais**. Dissertação de Mestrado. 2007. 129 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2007.

MARTINS, R. N.; SANTOS, V. K. S.; CORTE, W. C.; RIBEIRO, D. P.; BISHOP, H. Uso de dados SRTM e plataforma SIG na caracterização morfológica da bacia hidrográfica do Rio Pandeiros. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 44, 2015, São Pedro. **Anais** [...] São Pedro, SP: CONBEA, p. 1-4, 2015.

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.2021**. 418p. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG. 2021.

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 - UNICAMP, p. 6253–6262, 2017.

OLIVEIRA, F. M. **Relações solo-vegetação em áreas desenvolvidas sobre o arenito Urucuia na APA do Rio Pandeiros**. 2013. 64f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2013.

PEREIRA, S. B.; PRUSKI, F.; SILVA, D.; RAMOS, M. Estudo do comportamento hidrológico do Rio São Francisco e seus principais afluentes. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 6, p. 615-622, 2007.

REZENDE, C. R. de. **Evidências de arco magmático paleoproterozóico na região do Alto de Januária – Norte de Minas**. 2017. 77p. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2017.

REZENDE, C. R.; OLIVEIRA C. A.; OLIVEIRA, V. P. Evidências diretas e indiretas de arco magmático paleoproterozoico na Região do Alto de Januária – Norte de Minas Gerais. **Geonomos**, v. 26, n. 2, p. 1-22, 2018.

RIBEIRO, A. C.; RICCOMINI, C.; LEITE, J. A. D. Origin of the largest south transcontinental water divide. **Nature Scientific Report**. v.8, n.17144, 2018. nov. 2018.

SCOLFORO, J.R.; CARVALHO, L.M.T. (Ed.). **Mapeamento e inventário da flora e dos reflorestamentos de Minas Gerais**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2006.



SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (CPRM). **Mapa geodiversidade de Minas Gerais**.2010. Escala: 1: 1.000.000. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/14704>. Acesso em:12 abr. 2023

SILVA, P. D. O. **Utilização do isótopo ⁷Be como método de investigação da erosão em escala de vertente**. 2020. 89f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2020.

SINHA-ROY, S. A New approach to the analysis of transverse river valley profiles and applications for morphotectonics: a case study in Rjasthan. **Current Science**, v. 81, n. 1, p. 106-112, July 2001.

TAYLOR, G.; EGGLETON, R. A. **Regolith geology and geomorphology**. Toronto: John Wiley & Sons, 2001. 375 p.

Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo financiamento do Projeto APQ-03773-14 - Sustentabilidade da bacia do Rio Pandeiros-MG: Dinâmica de vertentes da bacia do Rio Pandeiros; ao IGC-UFMG e ao CDTN, pelo apoio de infraestrutura; ao Dr. Jefferson Vianna Bandeira, do CDTN, pela leitura e sugestões ao texto; ao bolsista de IC do curso de graduação de Geologia, Gilberto Mendes da Cunha Júnior, pelo auxílio na elaboração das figuras e mapas do artigo; ao Dr. Cláudio Chagas, do CDTN, pelo auxílio com a geração do mapa geológico no SIG.



Características da drenagem fluvial e de encosta e sua relação com o relevo na bacia do rio Pandeiros – MG

Cristina Helena Ribeiro Rocha Augustin¹, Bráulio Magalhães Fonseca², Diego Alves de Oliveira³, Arnon Costa Pereira de Lima⁴, Paulo Roberto Antunes Aranha⁵, Guilherme Gandra Franco⁶, Jefferson Vianna Bandeira⁷

Resumo

O objetivo principal deste trabalho é analisar como a drenagem fluvial e a de encosta são afetadas pelo relevo e como ele as influencia uma vez que esta relação se encontra intimamente associada à dinâmica ambiental da bacia do rio Pandeiros. Foram utilizados mapeamentos com base em técnicas de geoprocessamento, de imageamento e dados de campo. Os resultados mostram como características da base física, em especial a presença de lineamentos e de paleorelevo, influenciaram a estruturação da drenagem, levando à assimetria da bacia e à distribuição desigual de energia de um lado e outro do vale. Possibilitaram identificar ainda áreas com rupturas de declive onde há um aumento da energia potencial, tanto fluvial, como nas encostas, tornando-as mais susceptíveis à erosão.

Palavras-chave: Dinâmica de encosta e fluvial. Lineamentos. Assimetria de bacia. Paleorelevo, *Knickpoints*.

Abstract

The main objective of this work is to analyze how river and slope drainage are affected by relief and how is influenced by them, since this relationship is closely associated with the environmental dynamics of the Pandeiros River basin. Mappings based on geoprocessing, imaging and field data techniques were used. The results show how relief characteristics especially the presence of lineaments and paleoforms, influenced the drainage structure, leading to asymmetry of the basin and unequal energy distribution on both sides of the valley. They also made it possible to identify areas with breaks of slope where there is an increase in potential energy, both fluvial and on the slopes, making them more susceptible to erosion.

Keywords: Fluvial and slopes dynamic. Lineaments. Basin asymmetry. Paleorelief. *Knickpoints*.

¹Instituto de Geociências. Universidade Federal de Minas Gerais. Professora Titular, PhD. Av. Antônio Carlos, 6.627, Belo Horizonte, MG. E-mail: chaugustin@hotmail.com

²Instituto de Geociências. Universidade Federal de Minas Gerais. PhD. Av. Antônio Carlos, 6.627, Belo Horizonte, MG. E-mail: braulio-magalhaes@gmail.com

³Instituto de Geociências. Universidade Federal de Minas Gerais. PhD. Av. Antônio Carlos, 6.627, Belo Horizonte, MG. Professor do Instituto Federal de Minas Gerais, Campus Ouro Preto, MG - E-mail: diego.oliveira@ifmg.edu.br

⁴Instituto de Geociências. Universidade Federal de Minas Gerais. MSc. Av. Antônio Carlos, 6.627, Belo Horizonte, MG. E-mail: arnonbhmg@gmail.com

⁵Instituto de Geociências. Universidade Federal de Minas Gerais. PhD. Av. Antônio Carlos, 6.627, Belo Horizonte, MG. E-mail: aranha1941@gmail.com

⁶Instituto de Geociências. Universidade Federal de Minas Gerais. Mestrando em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais. Av. Antônio Carlos, 6.627, Belo Horizonte, MG. E-mail: guigandra@ufmg.br

⁷Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear. CDTN. PhD. Av. Antônio Carlos, 6.627, Belo Horizonte, MG. E-mail: jvb@cdtn.br



Introdução

Em regiões tropicais úmidas e subsumidas, como é o caso da bacia do rio Pandeiros, a esculturação das formas de relevo é fundamentalmente decorrente da ação dos sistemas hídricos superficiais e subsuperficiais a qual estas áreas estão, ou foram, submetidas no decorrer do tempo, justificando a denominação de “relevos fluvialmente dominados” (*fluvially-dominated-landscapes*) (GREGORY; WALLING, 1983).

O estudo hidrogeomorfológico da bacia do rio Pandeiros, ora apresentado, inclui tanto a análise da rede fluvial sob a perspectiva das suas características e estruturas, como os de encostas (HORTON, 1945; HOWARD, 1967; KULKARNI, 2015). A importância do sistema hidrogeomorfológico está relacionada à sua capacidade de transporte de materiais detríticos rochosos intemperizados, suas acumulações e organização em formas de relevo que evoluem continuamente (REID; DUNNE 1996, p. 3). Esse sistema constitui, na definição proposta por Sidle e Onda (2004), um conjunto de processos que afetam a distribuição de matéria e energia, com efeitos ambientais no meio natural e nos aspectos do uso e ocupação da terra.

O objetivo principal deste trabalho é compreender como algumas características da drenagem fluvial e de encostas afetam, e são afetadas, pelo relevo e como isto influencia na dinâmica de distribuição de energia e matéria na bacia do rio Pandeiros. A abordagem aqui proposta apresenta um enfoque que, se espera, venha a contribuir para o entendimento da dinâmica natural da bacia, como as

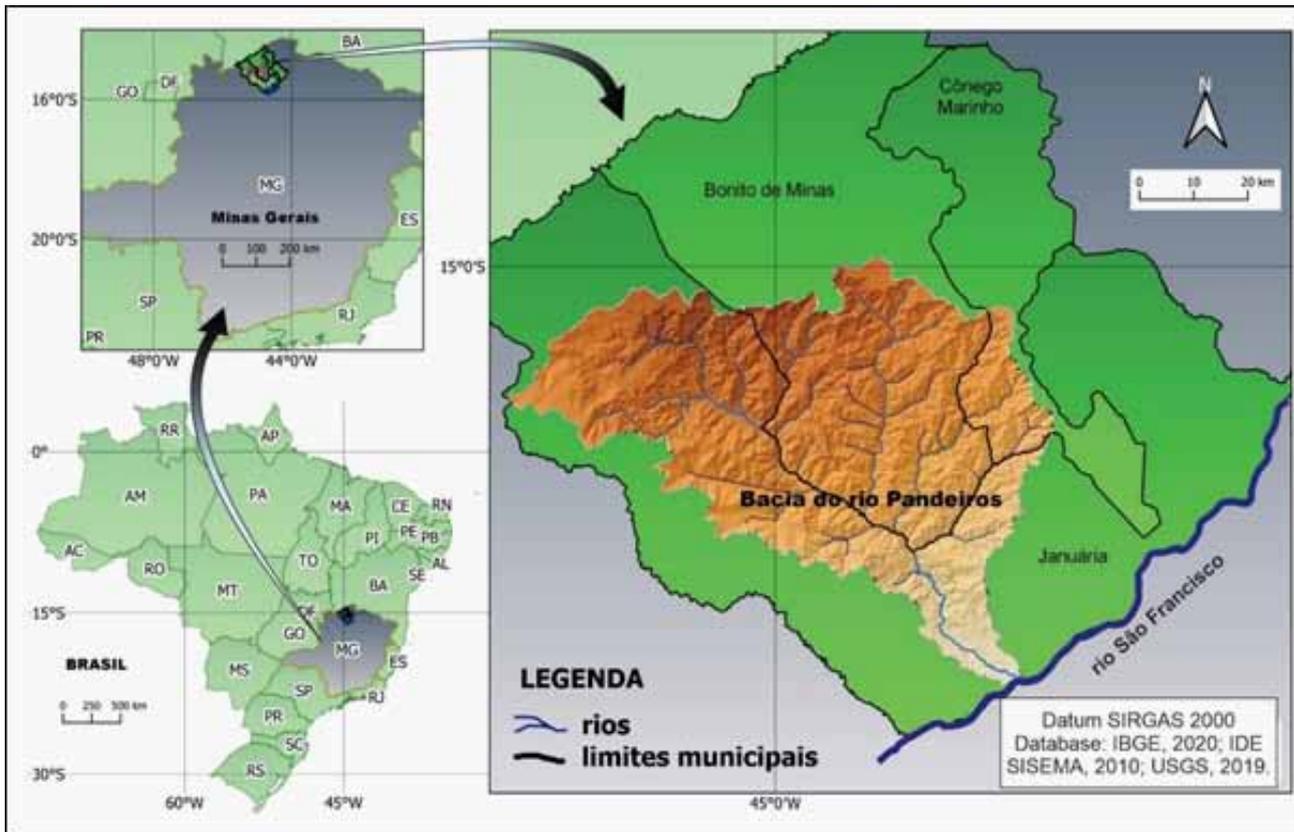
já realizadas por Bandeira *et al.*, 2018, Dias (2017), Fonseca *et al.* (2011), Fonseca *et al.* (2011); Lima *et al.* (2019), Maia-Rodrigues (2012), Martins *et al.* (2015); Oliveira, Augustin e Fonseca (2017), Oliveira (2021) e Silva, P. (2020), entre outras.

Metodologia

Características da área de estudo

A bacia do rio Pandeiros encontra-se localizada no norte do Estado de Minas Gerais, entre as coordenadas geográficas 15°0'00"/15°43'00" S de latitude e 45°28'00"/44°35'03.40" W de longitude (MAPA 1). Ela faz parte da bacia de drenagem do médio rio São Francisco (rSF).

Mapa 1 – Localização da área de estudo, a bacia do rio Pandeiros – MG, e os municípios que dela fazem parte: Cônego Marinho, Bonito de Minas e Januária



Fonte: Adaptado de CHAGAS *et al.*, 2022.

O substrato geológico da bacia do rio Pandeiros, segundo o Mapa 2 (Companhia de Desenvolvimento de Minas Gerais (CODEMIG) e Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), (2015) é formado tendo, na base, as rochas do complexo granítico-gnáissico do embasamento cristalino (Complexo Januária), datadas do Arqueano ao Neoproterozoico. Sobre estas, repousam rochas pelíticas e carbonáticas do Grupo Bambuí, do Proterozoico Superior e, acima, as do Grupo Urucua, do Cretáceo Superior, constituídas por rochas siliciclásticas (sedimentares, ricas em sílica): arenitos, siltitos e conglomerados (SPIGOLON; ALVARENGA, 2002).

A distribuição das rochas predominantemente siliciclásticas com estratificação hori-

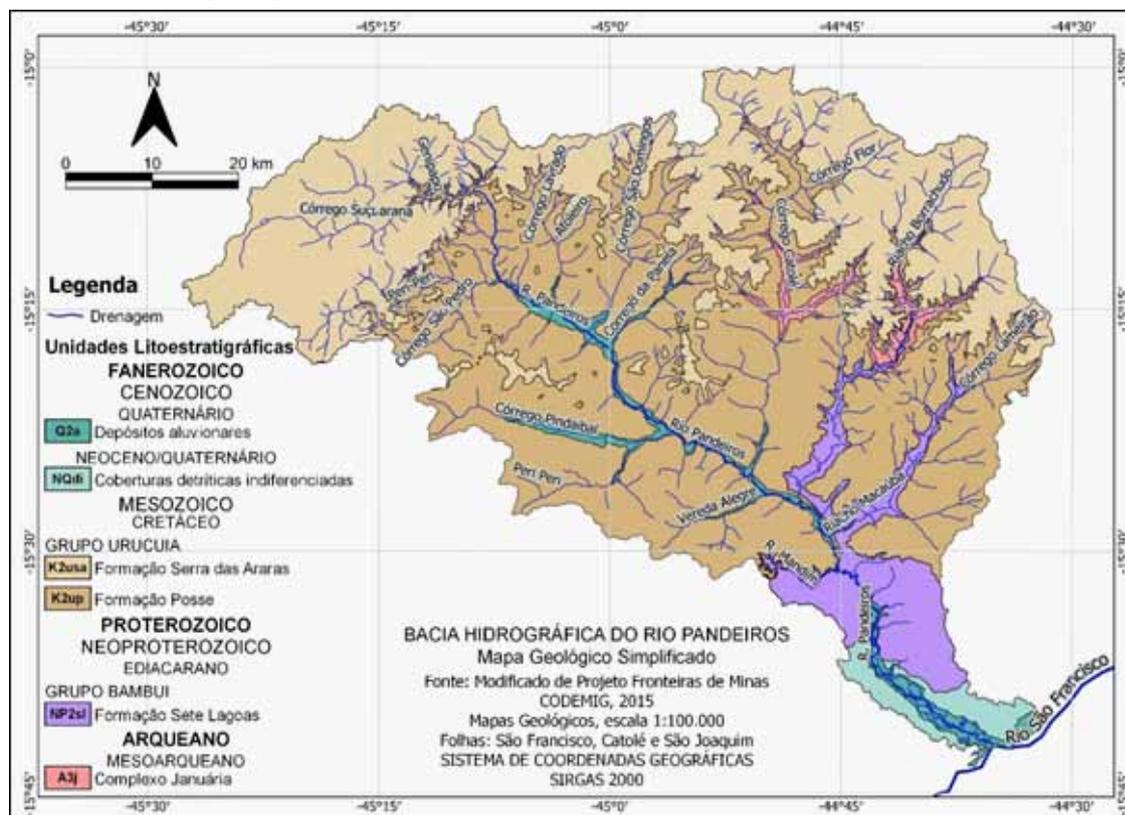
zontalizada a subhorizontalizada do Grupo Urucua na bacia não é homogênea (MAPA 2). Nas porções mais elevadas do relevo, são encontradas rochas da Fm. Serra das Araras que ainda não foram totalmente erodidas pela incisão do sistema fluvial e de encostas do rio Pandeiros. Afloramentos desta formação, caracterizados por tons avermelhados, herança de processos de laterização ocorridos no passado, estão presentes nas bordas da Chapada das Gerais.

No relevo plano a levemente ondulado da Chapada, sobrepondo estas rochas, são encontrados sedimentos detríticos quaternários resultantes da decomposição química e mecânica da rocha original (MAPA 2). Estratigráfica e topograficamente abaixo da

Fm. Serra das Araras, ocorre a Fm. Posse, CODEMIG; UFMG (2015), também composta predominantemente por arenitos de coloração

clara, que podem tornar-se mais escuros em áreas com muita decomposição de matéria orgânica.

Mapa 2 – Mapa geológico simplificado da bacia do rio Pandeiros até o rio São Francisco (rSF)



Fonte: Adaptado de CODEMIG; UFMG, 2015.

A região, localizada em área de transição entre o clima tropical subúmido e o semiárido, apresenta temperatura média anual de 24°C; nos meses mais frios (junho e julho), a temperatura média fica em torno dos 20,4°C e no mês mais quente, outubro, de 25,5°C. A precipitação média anual é em torno dos 1.057,4 mm, conforme Pereira et al. (2007), sendo que do total anual precipitado de chuvas, 91% ocorrem entre outubro e março, enquanto os meses mais secos, com quase ausência de precipitação, ocorrem entre abril e setembro (BETHONICO, 2009). Isto levou Alvares *et al.* (2014) e o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2016, *apud* Silva, 2018, p. 15), a considerarem a área como tendo um clima do tipo semiárido, com índice pluviométrico

anual variando de 900 a 1.200 mm. É importante também chamar a atenção para o caráter sazonal da distribuição da precipitação com verão úmido e inverno seco, é resultante, como destacado por Oliveira (2021), da atuação das Zonas de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e da Zona de Convergência de Umidade (ZCOU). A concentração de chuvas é responsável pelo aumento dos níveis e da vazão dos rios São Francisco e Pandeiros, gerando os pulsos de inundação (OLIVEIRA, 2021). Silva (2018) também aponta a possível influência do El Niño-Oscilação Sul no comportamento das chuvas e de seus efeitos sobre a dinâmica hídrica na bacia.

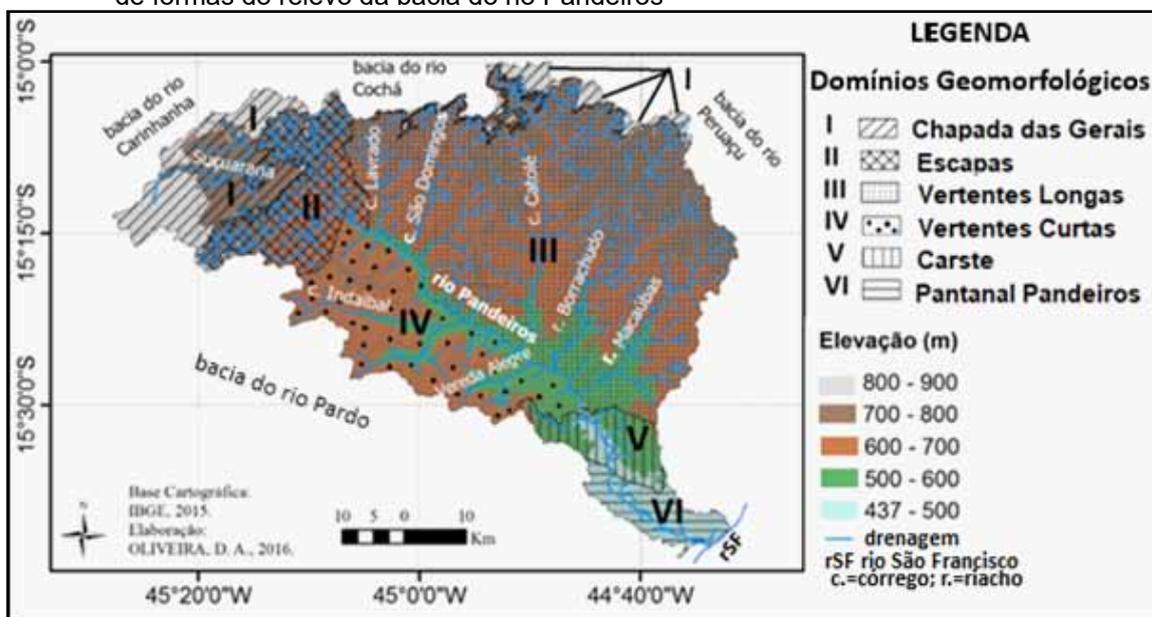
A bacia do rio Pandeiros é coberta por várias fitofisionomias do bioma do Cerrado

lato sensu (l.s.) entre as quais se distingue: campo, cerrado denso, cerrado ralo, cerrado típico sensu stricto (s.s.), vereda, floresta decídua e floresta semidecídua (OLIVEIRA, 2013; SCOLFORO; CARVALHO, 2006). A ocorrência dessas fitofisionomias encontra-se em grande parte condicionada a fatores como o relevo, a litologia e à precipitação e às temperaturas da bacia (AUGUSTIN *et al.*, 2020).

De acordo com Oliveira, Augustin e Fonseca (2017), a bacia conta com seis Domínios Geomorfológicos distintos, produto da evolução e integração entre os elementos dos fatores geológicos, do clima e do próprio relevo ao longo de milhões de anos, desde que o Rio Pandeiros foi capturado pelo rSF (MAPA 3). Cada “Domínio” apresenta características naturais próprias. O Domínio I, da Chapada das Gerais, tem relevo plano a levemente ondulado, correspondendo às áreas mais elevadas da bacia. O Domínio II, das Escarpas, é formado por grandes rupturas de declive, podendo chegar a mais de 80 m de desnível, circundando

a bacia ao longo dos seus limites, noroeste (bacia do rio Carinhanha), norte (bacia do rio Cochá) e nordeste (bacia do rio Peruaçu). O Domínio III, das Vertentes Longas, compreende toda a margem esquerda do rio Pandeiros, caracterizada por interflúvios longos, com declividades mais acentuadas, drenagem mais densa e rios mais extensos do que os da margem direita; o Domínio IV - Vertentes Curtas, localizado na margem direita do Pandeiros, tem declividades menos acentuadas e drenagem menos densa, com rios em geral menos extensos e interflúvios mais curtos do que no domínio anterior; Domínio V - Carste, no qual predominam feições de dissolução das rochas carbonáticas do Grupo Bambuí, destacando-se os poljes, dolinas, uvalas, cavernas e nos afloramentos, colunas e lapiás; Domínio VI - Pantanal do rio Pandeiros, uma área úmida (wetland) localizada em uma depressão no baixo curso do Pandeiros, sujeita às enchentes sazonais, embora conte com uma área permanentemente úmida.

Mapa 3 – Mapeamento dos seis Domínios Geomorfológicos, que correspondem a diferentes padrões de formas do relevo da bacia do rio Pandeiros



Fonte: Adaptado de OLIVEIRA; AUGUSTIN; FONSECA, 2017.



Materiais e Técnicas

Esta pesquisa envolveu as seguintes etapas: 1) definição temática das abordagens e levantamento da bibliografia pertinente à bacia do rio Pandeiros; 2) reconhecimento geológico da bacia do Pandeiros através da análise dos mapas geológicos da CODEMIG (2015) e dos Mapas Topográficos do IBGE, escala 1:100.000, das Folhas: Catolé-SD.23-Z-C-I, 1970; Januária-SD.23.Z-C-II (MI-2178), 1980 (2ª. Edição); São Joaquim-SD.23-Y-D-II e São Francisco- SD.23-Z-C-IV, ambos de 1972; 3), da análise de imagens do software *Google Earth* (2017 a 2022); 4) trabalhos de campo sistemáticos na bacia; 5) elaboração de mapeamentos preliminares, seguindo metodologia descrita por Oliveira, Augustin e Fonseca (2017), com a geração dos seguintes mapas integrados da bacia: (i) Geológico; (ii); Mapa de *Knickpoints*; (iii) de Declividade. e (iv) elaboração de cortes geológicos e geomorfológicos longitudinais e transversais à bacia do rio Pandeiros.

O Mapa Geológico na escala 1: 100.000, foi elaborado a partir da base cartográfica do Mapa Estadual de Geodiversidade de Minas Gerais da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM, 2010), escala de 1: 1.000.000, com o uso de software de SIG, permitindo um recorte da base cartográfica a partir do limite da bacia (OLIVEIRA; AUGUSTIN, FONSECA, 2017). Mais tarde, ele foi reconfigurado, utilizando como base os mapas geológicos da CODEMIG; UFMG (2015), na escala 1: 100.000, das folhas: São Joaquim - SD.23-Y-D-III; Catolé - SD.23-Z-C-I; Januária - SD.23-Z-C-II; São Francisco - SD.23-Z-C-IV e Folha São João da Ponte -

SD.23-Z-C-V, com apoio de observações de campo e análise de imagens *Google Earth Pro* (dezembro/2019). Esses mapas serviram de base para o Mapa de Lineamentos, que é um produto da fotointerpretação, com o uso do GEOCOVER, obtida com o satélite Landsat, 7 ETM+ (R7G4B2), resolução espacial de 30 m (NASA – GEOCOVER, 2000), enquanto o da drenagem da bacia utilizou a rede hidrográfica fornecida pela ANA (2019).

O Mapa de Assimetria foi gerado a partir dos dados cartográficos: IDE-SISEMA-MG (2019). O fator de assimetria da bacia de drenagem (FAB) é de 31,19 e foi calculado segundo proposta de Hare e Gardner (1985) pela seguinte fórmula: $FA=100 \cdot (Ar/At)$, onde Ar é a área da bacia à direita do rio e At é a área total da bacia de drenagem (FONSECA, 2010). Valores do Fator de Assimetria da Bacia (FAB) abaixo de 50 indicam, segundo Hare e Gardner, a ocorrência de basculamento da margem esquerda do rio; valores iguais ou próximos a 50 correspondem à de baixa ou nenhuma atividade tectônica, enquanto acima de 50 seriam decorrentes de basculamento da margem direita.

O Mapa de Declividade teve como base o modelo digital de elevação SRTM, com imagens obtidas no Projeto TopoData (IDE-SISEMA, INPE, 2017) (imagens 15s45, 15s465, 14s45 e 14s465), seguindo metodologia de Fonseca (2010) e Fonseca e Augustin (2011). O Mapa de *Knickpoints* foi gerado segundo metodologia de descrita em Queiroz; Salamuni; Nascimento (2015), com base no RSTM/ Topodata (INPE, 2017).

A área total da bacia, limites, comprimento do rio Pandeiros e da bacia, bem como a quantidade de rios das diversas ordens

hierárquicas (1ª à 5ª ordem), de acordo com classificação de Strahler (1952, 1957, 1964), foram obtidos a partir do pacote de ferramentas *Hydrology* do ArcGIS, com base em dados do Radar de Abertura Sintética (SAR) ALOS PALSAR, da agência Espacial Japonesa JAXA (ALASKA SATELLITE FACILITY – ASF, 2014). Medidas das vertentes e as observações da cobertura vegetal e de outras feições no campo, foram realizadas em Sítios Geomorfológicos (SG), num total de 36, distribuídos por Domínio Geomorfológico, seguindo metodologia descrita por Augustin (1979). Foram, ainda, utilizadas imagens do *Google Earth Pro* (Google ©), de 2017 a 2022, para efetuar medidas de distância, altitude, perfis topográficos e localização de áreas e pontos de amostragem. A identificação da drenagem e outras checagens tiveram como base os mapas topográficos do IBGE, escala 1: 100.000, das Folhas: Catolé - SD.23-Z-C-I, 1970; Januária - SD.23.Z-C-II (MI-2178), 1980 (2ª. Edição); São Joaquim - SD.23-Y-D-II e São Francisco - SD.23-Z-C-IV, ambos de 1972, mantidas as grafias originais dos cursos de água e toponímia. Este estudo faz parte daqueles realizados no âmbito do Projeto Sustentabilidade da Bacia do Rio Pandeiros-MG: Dinâmica de Vertentes da Bacia do Rio Pandeiros”, financiado pela FAPEMIG (CENTRO DE DESENVOLVIMENTO DA TECNOLOGIA NUCLEAR - CDTN; UFMG, 2020).

Resultados e Discussão

Estruturação da bacia de drenagem do rio Pandeiros

As nascentes do rio Pandeiros

Embora no mapa topográfico do IBGE (Folha São Joaquim, esc: 1: 100.000, 1972)

e nos elaborados pela CODEMIG; UFMG (2015), o rio Pandeiros receba a denominação de ribeirão (grifo nosso) ao longo de todo o seu percurso, da nascente até a foz, regionalmente e localmente, ele é conhecido a partir de determinado trecho, como rio Pandeiros. Suas cabeceiras, segundo o Mapa Topográfico do IBGE (Folha São Joaquim, 1972) e o Geológico CODEMIG; UFMG (Folha São Joaquim, 2015), são formadas pela drenagem de três sub-bacias principais: córregos Vitória, Genipapo e Suçuarana. Os três têm suas nascentes localizadas na Chapada das Gerais, Figura 1, n. 1a, à aproximadamente 820 m de altitude, nos domínios das rochas predominantemente areníticas da Fm. Serra das Araras, do Grupo Urucuia (MAPA 2). As sub-bacias dos córregos Vitória e Genipapo são formadas por cursos de água bastante dinâmicos, com várias voçorocas ativas, cuja erosão a remontante avança em direção à Chapada das Gerais. Ao se juntarem, escoarem da Chapada através de um grande desnível topográfico que caracteriza a Escarpa NW da bacia.

Após a confluência das águas dos córregos Vitória/Genipapo, Figura 1, n. 2 e Suçuarana, Figura 1, n. 3, o novo curso de água recebe a denominação de ribeirão Pandeiros (IBGE, 1972). No ponto de confluência do córrego Suçuarana com o ribeirão Pandeiros, o nível deste último encontra-se cerca de 1 m abaixo do primeiro, o que significa que o córrego Suçuarana constitui um afluente e não a nascente principal do rio Pandeiros, como identificado por Bethonico (2009).

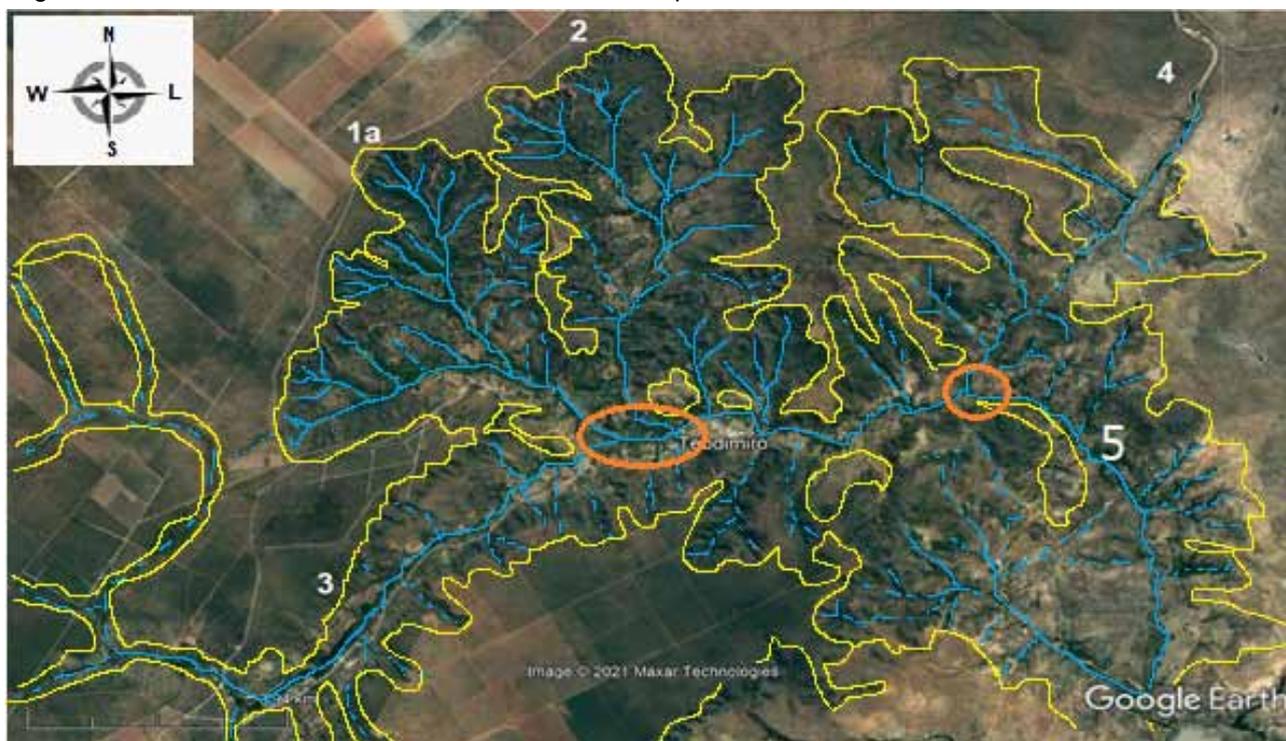
O ribeirão Pandeiros, após receber as águas do riacho da Ema, Figura 1, n. 4, passa a ser denominado de rio Pandeiros (FIGURA



1, n. 5). A sub-bacia do córrego Genipapo mostra sinais de intensa dissecação realizada por seus três principais afluentes (FIGURA 1, n. 2). O pequeno interflúvio que separa essa bacia daquela do córrego Vitória está sendo erodido intensamente por processo de voçorocamento (FIGURA 1, n. 1a e 2). Isso sugere que em um futuro não muito distante, possa

ocorrer uma possível captura da drenagem de uma bacia pela outra. Atualmente, no entanto, o nível mais baixo do ribeirão Pandeiros, faz com que este receba as águas do córrego Genipapo. Entre os córregos que fazem parte das nascentes do rio Pandeiros, o córrego Suçuarana é o mais longo (FIGURA 2, n. 6).

Figura 1 – Cabeceiras do ribeirão Pandeiros, com seus primeiros afluentes



Fonte: Elaborado pelos autores a partir GOOGLE EARTH PRO (©), 2022.

Nota: Os córregos Vitória (1a), Genipapo (2) e Suçuarana (3) erodindo os terrenos da Chapada das Gerais e fazendo recuar a área da Escarpa NW da bacia. Após receber estas drenagens e a do riacho da Ema (4), o ribeirão Pandeiros passa a ser denominado de rio Pandeiros (5). Bordas amarelas, identificam os limites das sub-bacias, cujos cursos de água são marcados em azul. Círculos laranja identificam os pontos de confluência dos córregos Genipapo (2) e Suçuarana (3) com o ribeirão Pandeiros.

Seus afluentes, que correm com direção aproximada de NNW - SSE, têm canais pouco encaixados no topo da Chapada (FIGURA 2, n. 1a, 1a', 3, 4 e 5). Depois que esses afluentes se juntam, tomam direção SW - NE formando o córrego Suçuarana, cujo vale vai se tornando mais encaixado (profundo) à medida que desce a Escarpa NW, como pode ser visto nas (FIGURAS 1 e 2).

Na Figura 2, observa-se a existência de lagoas (identificadas por círculos amarelos) e de canais rasos, semelhantes aos de veredas (1a, 1a', 2 e 5), que parecem ter contribuído, no passado, com fluxo de água para o seu canal principal, como verificado nos trabalhos de campo realizados. É possível que continuem a fazê-lo em períodos de chuvas excepcionais. Tanto as lagoas como os canais,

encontram-se, no entanto, semidestruídos, provavelmente em decorrência do uso da terra para pastagem bovina a montante, o que tende a afetar a cobertura vegetal, levando

ainda à compactação do solo, dificultando a infiltração da água de chuva (MIGUEL; VIEIRA; GREGO, 2009).

Figura 2 – Córrego Suçuarana e sua rede de afluentes



Fonte: Elaborado pelos autores com base no GOOGLE EARTH PRO (GOOGLE ©, 2022).

Nota: Córrego Suçuarana (6), originalmente identificado como sendo a nascente do rio Pandeiros, e sua rede de afluentes (1a, 1a', 2, 3, 4 e 5) alguns dos quais já estão secos (1a; 1a', 2 e 3), incluindo as lagoas que neles ocorriam (marcadas em círculos amarelos) que se conectavam ao sistema de drenagem, conforme verificado em campo. As porções 'quadriculadas' localizadas na Chapada das Gerais, correspondem às áreas ocupadas por pastagem de gado.

Ambos os fatores interferem no suprimento do freático, dificultando sua exsudação nas depressões nos períodos mais secos do ano e contribuindo para a degradação do solo na bacia (FONSECA, D. *et al.*, 2011).

Os tributários da bacia de drenagem do rio Pandeiros

A formação de uma bacia é decorrente do estabelecimento de um rio como canal princi-

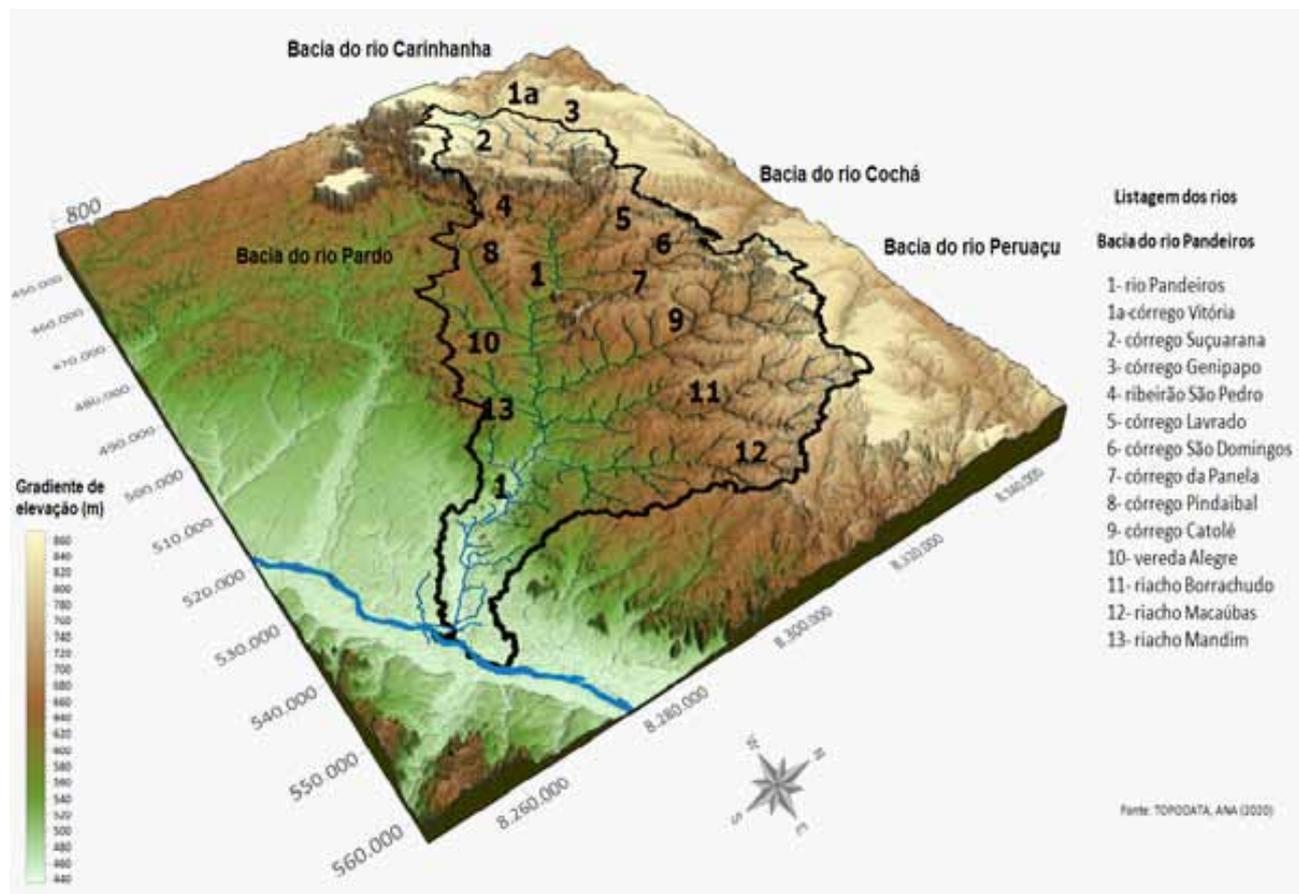
pal, cuja profundidade cria desnível topográfico, gerando uma base (nível de base) para a qual convergem, pelo efeito da gravidade, outros cursos de água e o escoamento superficial da água de chuva (*runoff*) proveniente das vertentes, abrindo um vale, que é separado de outro, por um interflúvio (BABAR, 2005; GOODWIN; TARBOTON, 2004). Conforme o Mapa 4, a abertura do vale do rio Pandeiros e dos seus tributários, como acontece com os vales de um modo geral, foi o resultado da

ação de vários processos de erosão fluvial, entre os quais os de abrasão, atrito, ação hidráulica e solução, ao longo dos eixos da drenagem a remontante (BISHOP, 1995; DIE-TRICH; RENEAU; WILSON, 1987; LEOPOLD; WOLMAN; MILLER, 1964). O aprofundamento dos canais foi, portanto, decorrente da erosão vertical, enquanto o alargamento adveio basicamente da erosão lateral, em ação conjunta com processos de encostas. Em ambos os

casos, a alteração na coesão das rochas do substrato provocada pelo intemperismo, facilita a remoção das mesmas (LANGSTON; TUCKER, 2018).

No percurso de aproximadamente 97 km, até a confluência com rSF, que constitui seu nível de base, o Pandeiros recebe uma extensa rede de tributários, apresentando vazão durante todo o ano (MAPA 4).

Mapa 4 – Bacia hidrográfica do rio Pandeiros, com seus principais afluentes, das nascentes até a foz, em sua confluência com o leito do rio São Francisco (rSF)



Fonte: Elaborado pelos autores, a partir do TOPODATA; ANA, 2020.

Nota: Destaca a ocorrência dos maiores gradientes de elevação nas sub-bacias da margem esquerda da bacia.

Entre seus afluentes da margem direita, destacam-se o ribeirão São Pedro, o córrego Pindaibal, a vereda Alegre e o riacho Mandim. Na margem esquerda, com canais mais longos e drenagem mais densa, ocorrem, entre outros, os córregos: Lavrado, São Domingos, da Panela, Catolé, e os riachos da Ema, Borrachudo e Macaúbas (MAPA 4). Todos esses cursos de água têm o rio Pandeiros como nível de base (*base level* ou *stream gradient*), ou seja, o leito do Pandeiros forma o nível mais abaixo de erosão da bacia, influenciando a percolação de água dos seus tributários e do escoamento das vertentes. Já o rSF constitui o nível de base do rio Pandeiros, no qual deságua. Conforme apresentado no Mapa 4, no trecho do baixo Pandeiros, os afluentes com canais superficiais praticamente desaparecem após a confluência do riacho Mandim por causa da drenagem subterrânea, típica das rochas carbonáticas, como as do Grupo Bambuí.

Influência dos lineamentos na estruturação da bacia do rio Pandeiros

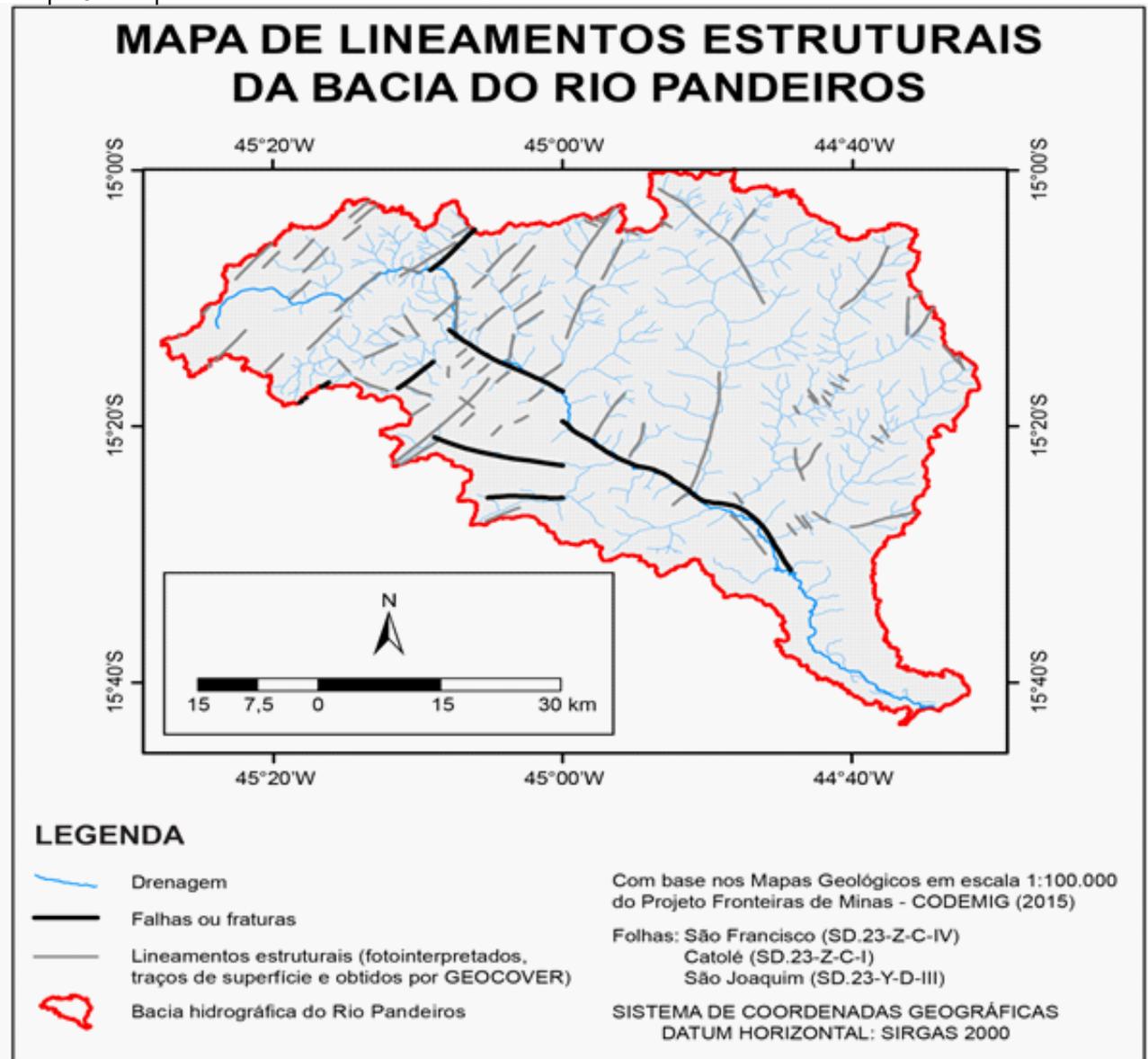
O recuo de interflúvios onde estão localizadas as cabeceiras e a captura das drenagens dos afluentes são normalmente decorrentes da alteração do nível de base do canal principal por condições de mudanças tectônicas, climáticas e litoestruturais, ao longo do tempo (LARUE, 2011; MUDD; FURBISH, 2005; WENDE, 1995). Contudo, como lembrado por Douglass, Ronald e Schmeekle (2009, p. 587), isso pode acontecer

mesmo em condições climáticas e tectônicas de equilíbrio dinâmico, afetando toda a bacia, incluindo a captura de afluentes. Esta situação pode ser desencadeada, por exemplo, pela rede de lineamentos, que é um importante elemento estrutural associado à migração dos cursos de água, sua captura e direção (KNIGHTON, 1981; WENDE, 1995). A evolução da bacia do rio Pandeiros reflete esse fato. Seu desenvolvimento e estruturação ocorreram ao longo do tempo geológico de milhões de anos e tiveram início com a captura de um curso de água (proto-rio Pandeiros) pelo rio São Francisco (AUGUSTIN *et al.*, 2020).

A presença de uma falha normal extensional, com direção NW - SE, no baixo Pandeiros, sugere que este tenha aí se alojado já no início da sua evolução (MAPA 5). Essa falha direcionou o avanço do eixo longitudinal do Pandeiros, fazendo-o recuar a montante a partir do rSF, em direção SE – NW, conforme apresentado no Mapa 4, provocando o recuo da Escarpa NW / N e, conseqüentemente, da Chapada das Gerais.



Mapa 5 – Mapa dos lineamentos identificados na bacia do rio Pandeiros



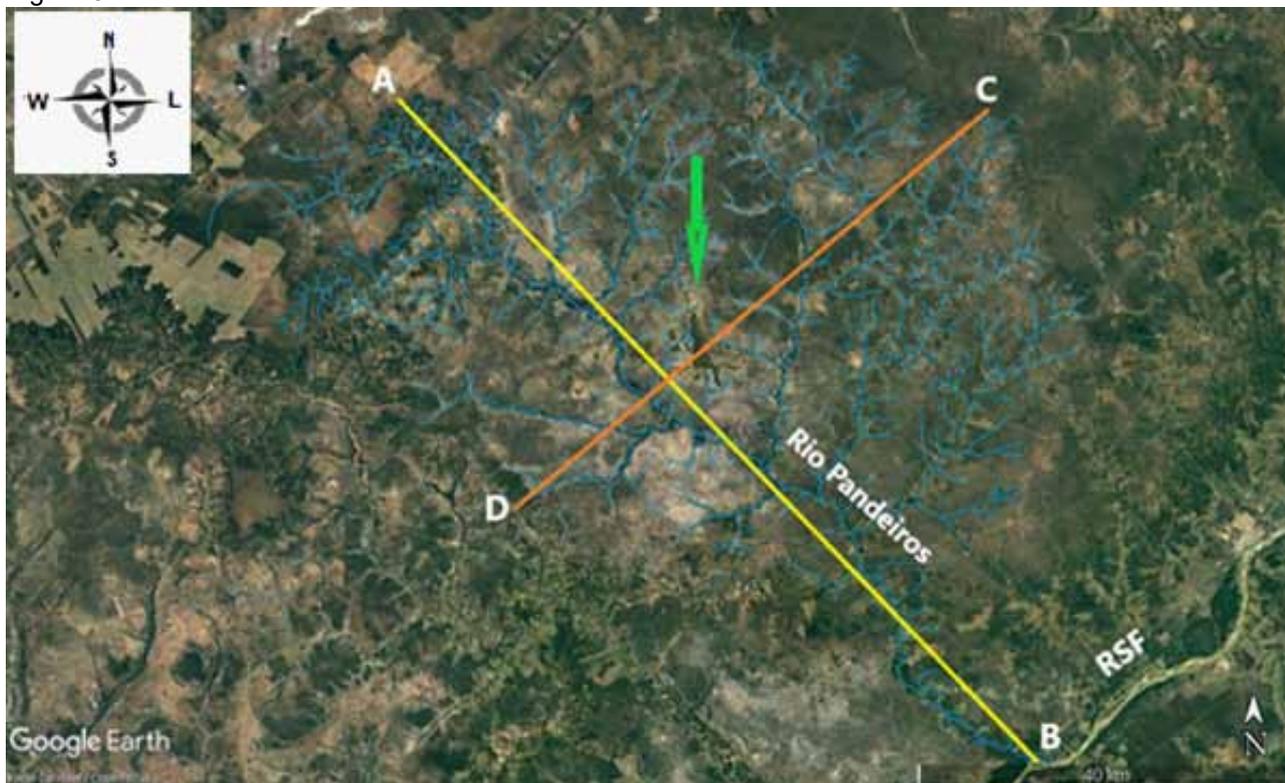
Fonte: Elaborado pelos autores, com base em CODEMIG; UFMG, 2015.

O comprimento da bacia atinge, hoje, cerca de 106,9 Km, enquanto o comprimento do próprio rio é menor, em torno de 97 km (FIGURA 3, letras A e B). Na medida em que erodia seu canal, o Pandeiros removia as rochas intemperizadas do Grupo Urucua e Bambuí, capturando inclusive as drenagens com direção NE-SW / SW-NE, de um lado e outro do canal), ampliando sua largura que

atualmente é de aproximadamente 66 Km em sua porção mais larga (FIGURA 3, letras C e D).

O recuo dos interflúvios deixou relevos reliquias, ou testemunhos, do antigo nível topográfico, como o conjunto da Serra da Mescla, indicado por uma seta verde (FIGURA 3).

Figura 3 – Bacia do rio Pandeiros



Fonte:Elaborado pelos autores a partir de GOOGLE EARTH PRO, 2022.

Nota: Linha amarela: eixo longitudinal (aproximadamente 97 Km) do rio Pandeiros, a partir do seu limite NW (A) até o SE (B), onde deságua no rio São Francisco (RSF). Linha laranja: largura máxima da bacia (aproximadamente 66 Km), resultante do recuo lateral das cabeceiras dos afluentes das margens esquerda (C) e direita (D). Em azul, a drenagem do rio Pandeiros, sem os limites dos interflúvios. Seta verde, aponta o conjunto de relevo reliquiar da Serra da Mescla.

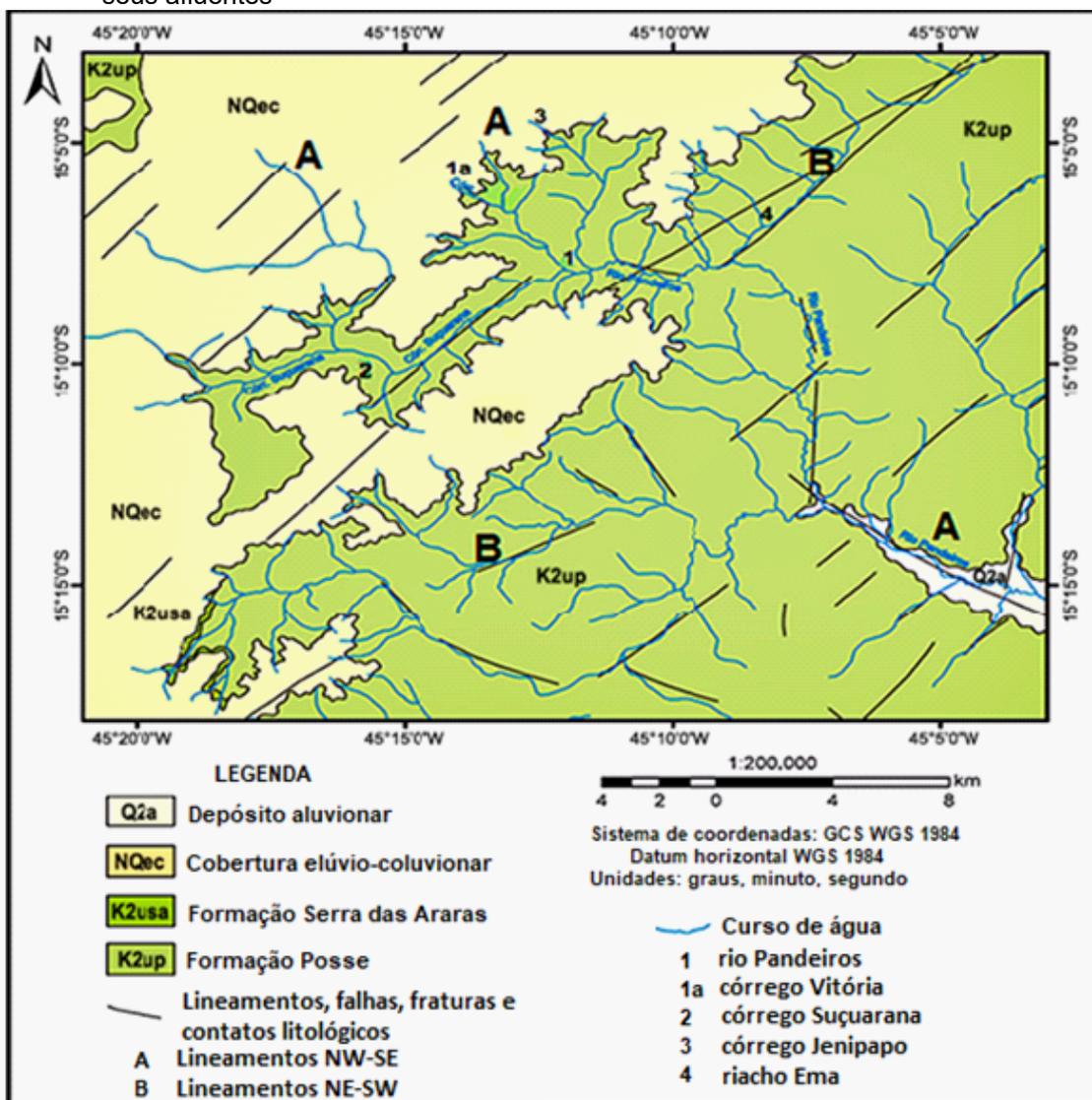
Esses relevos testemunhos encontram-se, nos dias de hoje, distantes dos grandes interflúvios do Domínio das Escarpas NW, N e NE. A presença das formas reliquias planas (mesetas) nas porções médias da bacia indica que houve, ao longo do tempo, migração das cabeceiras do rio Pandeiros de uma posição mais a jusante, para a presente localização.

As duas direções principais dos lineamentos têm até hoje influência na drenagem através da orientação com as direções predominantes NW-SE / SE-NW, marcada pela letra “A”, e NE-SW / SW-NE, pela letra “B” (MAPA 6). Pode-se também observar como os afluentes mais recentes, e com padrão

paralelo das cabeceiras do Pandeiros, que ainda correm com direção predominante SW - NE sobre rochas da Fm. Serra das Araras, mudam para a direção NW - SE, a mesma do Pandeiros, quando nele deságuam. É o que acontece, por exemplo, nas cabeceiras dos córregos Suçuarana, com direção inicial NW-SE / NW- NE e Genipapo, NE – SW, que passam para NW - SE um pouco mais para a jusante, na porção mais antiga da drenagem (MAPA 6).



Mapa 6 – Lineamentos presentes e atuantes nas zonas de recarga e cabeceira do rio Pandeiros e dos seus afluentes



Legenda complementar: (A): Com direção NW – SE, tem-se o córrego Genipapo (3), o córrego Vitória (1a) e o rio Pandeiros (1), como exemplos; (B): Com direção NE - SW, herdada do Lineamento Transbrasiliiano (LTB), em-se a orientação córrego Suçuarana (2) e do riacho Ema 4.

Fonte: Adaptado pelos autores a partir do Mapa Geológico da Folha São Joaquim, esc: 1: 100.000, CODEMIG; UFMG, 2015.

Essas duas direções principais, além da N-S, da drenagem da bacia do Pandeiros, estão associadas aos padrões do Lineamento Transbrasiliiano (LTB), sendo comumente encontradas em outras partes do território brasileiro (BEŇÁK; SILVA, 2017).

Segundo Cacama *et al.* (2015, p. 68), o LTB constitui uma “[...] descontinuidade da

litosfera maior de direção NE-SW com mais de 2.700 km de extensão, que intercepta os terrenos afetados pelo Ciclo Brasileiro localizados entre o Cráton Amazônico e o Cráton São Francisco [...]”. Curto *et al.* (2014, p. 1546) destacam que este lineamento “corresponde ao último episódio tectônico associado à orogénia Brasileira-Pan Africana, no Neoprotero-

zóico” (~ 600 Ma). Conforme Chamani (2011) e Praxedes (2015), ao longo da sua história, o LTB sofreu, no entanto, várias reativações tectônicas, entre elas, eventos sísmicos recentes que interferiram na estruturação das drenagens fluviais (SANTOS, 2017). É o caso da segunda grande orientação NW-SE / SE-NW de alguns cursos de água, incluindo o próprio Pandeiros, conforme apresentado no mapa 4, também identificada em outras áreas do território brasileiro (CHAMANI, 2011; CHAMANI *et al.*, 2011). Ela é normalmente associada à influência dos eventos neotectônicos cenozoicos menores do que 10 km, gerados por reativação das estruturas rúpteis dos padrões de lineamentos no domínio do embasamento (BRÊDA; MELLO; MORAES, 2018).

Outro efeito dos lineamentos identificado

na bacia do rio Pandeiros, é que estes afetam diretamente a morfologia dos canais, influenciando na velocidade do fluxo (FIGURA 4). O canal do Pandeiros tende a tornar-se mais retilíneo quando se encaixa nos lineamentos com direção predominantemente NE - SW, que controlam sua calha, aumentando a velocidade e capacidade erosiva, em uma dinâmica que aqui denominamos de fase “go” (FIGURA 4, linhas azuis).

Nos trechos de menor controle do lineamento, Figura 4, setas amarelas, apesar de manter a direção preferencial NW-SE, o rio encontra-se na fase de “stop”, na qual o canal tende a meandrar, controlado pela horizontalidade das camadas das rochas do Grupo Urucuia, e depositar os sedimentos, criando uma planície aluvial larga, com a presença de lagoas marginais temporárias ou não (FIGURA 4, setas laranja).

Figura 4 –Trechos de menor controle do lineamento do rio Pandeiros



Fonte: Elaborado pelos autores, a partir de GOOGLE EARTH PRO (GOOGLE ©, 2022).

Nota: Trecho de aproximadamente 3.80 km, com altitude média de 553 m, ao longo do canal do rio Pandeiros, mostrando: à esquerda, uma larga planície aluvial na qual se destacam meandros (setas amarelas) e lagoas marginais (setas laranjas), onde o rio tende a depositar os sedimentos, em contraste com o trecho retilíneo (à direita), marcado por linhas azuis, onde o rio está mais encaixado e o transporte de sedimentos é mais eficiente.

A assimetria da bacia do rio Pandeiros

A bacia do rio Pandeiros apresenta assimetria, que pode ser definida como a presença de vertentes mais longas e íngremes de um lado, do que do outro do rio principal (BAIONI, 2007; KNIGHTON, 1981; LONG; STOCK, 1986). Independentemente das causas, diferenças de um lado e outro da bacia, como as observadas (e realçadas por cores diferentes) no Mapa 7 do Pandeiros, são importantes componentes da área drenada, pois estão associadas à dinâmica das encostas e dos fundos de vale, podendo acelerar, ou diminuir, taxas erosivas. Elas constituem ainda uma característica valiosa “na identificação de possíveis elementos neotectônicos em áreas de material superficial pouco consolidado, onde estruturas ativas são cobertas ou mal expostas” (COX; ARSDLE; HARRIS, 2001, p. 624).

Com base nos estudos produzidos pela literatura, Dohrenwend (1978, p. 891) classifica as causas da assimetria dos vales em dois grupos:

1 - diferenças de intensidade da incidência de irradiação solar, o que induziria às variações de intensidade e tipos de processos das vertentes de um lado e outro do rio principal, com grande influência na cobertura vegetal, sendo muito comum em climas temperados e periglaciais (BOELHOUWERS, 1988; KANE, 1978; NAYLOR; GABET, 2007; POULOS, 2012; QUEIROZ; SALAMUNI; NASCIMENTO, 2015);

2 - diferenças produzidas por fatores geológicos, tais como litologia e tectônica, com o basculamento da estrutura do substrato de um

dos lados do vale ou da bacia, inclinando-o e aumentando a declividade da área, ou ainda a elementos fisiográficos (FIRMINO, 2018).

As características climáticas da bacia do Pandeiros, localizada em zona tropical subsumida onde o fator de sombreamento decorrente da latitude praticamente não existe, já permitem descartar o primeiro tipo de fator, associado à geração de assimetria. Para verificar a aplicabilidade do segundo fator, o tectônico, foi calculado o Fator de Assimetria (FAB) para a bacia, tendo sido obtido o valor de 31.19, ou seja, abaixo de 50, conforme item “Materiais e Técnicas”. Este valor indicaria, segundo método proposto por Hare e Garner (1985), uma assimetria associada à atividade tectônica, com a existência de basculamento da margem esquerda do rio.

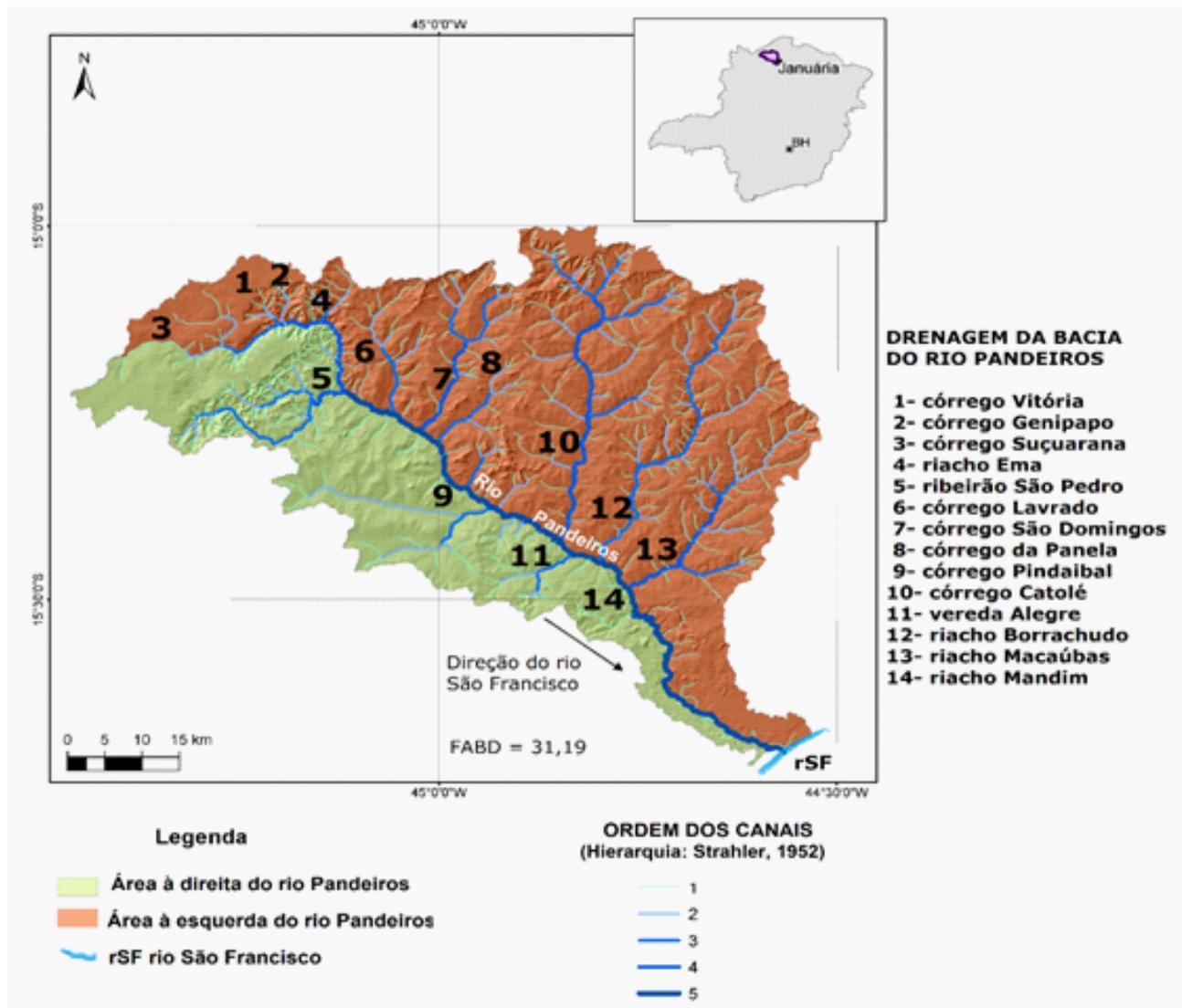
Augustin *et al.*, (2020), no entanto, apontam a ausência de inclinação ou de deslocamento vertical ou horizontal das camadas das rochas sedimentares do Grupo Urucuia, de um lado e outro da bacia. Segundos esses autores, o fato sugere a existência de outras causas envolvidas na assimetria medida (MAPA 7). Esses autores a associam à influência do Alto Estrutural de Januária localizado próximo aos limites norte e nordeste da bacia, como sugerido por Dohrenwend (1978), para outras áreas do mundo. O Alto Estrutural teria não somente impedido, no passado geológico, a deposição das rochas proterozoicas do Bambuí (CODEMIG; UFMG, 2015), como também atuado no sentido de acentuar diferenças morfológicas do relevo (topograficamente mais elevado) já existentes na época da estruturação da bacia. Nesse caso, sua presença do lado esquerdo do canal

do rio gerou rupturas de declive nas porções N e NE da bacia, orientando a evolução das cabeceiras dos rios do canal do rio Pandeiros nestas direções influenciando assim, toda a evolução natural da margem esquerda da bacia.

O recuo da Escarpa Norte e Nordeste, provocada pela erosão das cabeceiras dos tributários da margem esquerda, interferiu

na declividade das vertentes, na velocidade da água dos canais, bem como na produção e transporte de sedimentos, além de outras características. Teve, assim, o efeito de aumentar a extensão da área da bacia, fazendo com que esses tributários se tornassem, em média, mais longos do que os do lado direito causando sua assimetria (MAPA 7).

Mapa 7 – Assimetria da bacia de drenagem do rio Pandeiros



Fonte: Elaborado pelos autores a partir de dados cartográficos de: IDE-SISEMA-MG (2022).

Nota: Lado esquerdo (cor escura) com maior área, declividade média e um número maior de rios mais longo, do que do lado direito (cor mais clara). O fator de Assimetria de Hare e Gardner (FA: 31,19) calculado para a bacia, indica um basculamento do lado esquerdo. No entanto, ausência de deslocamento/inclinação das camadas das rochas do Grupo Urucuia nos dois lados da bacia sugere a influência de outros fatores. Mapa também mostra a hierarquização da drenagem até a 5ª Ordem (classificação de Strahler, 1952).

A diferença do comprimento dos canais entre os dois lados do vale do Pandeiros afeta a quantidade e o tempo da vazão do sistema fluvial, bem como sua capacidade de transporte e a competência dos rios. Isto porque, como demonstrado por Leopold, Wolman e Miller (1964), o aumento da área de drenagem tende a diminuir a inclinação do relevo. Isto explica o predomínio de declividades médias relativamente baixas (2 a 10°) no lado esquerdo da bacia, embora estas sejam mais elevadas do que as do lado direito.

Pelo Mapa 7 é possível, também, identificar a hierarquização da rede de drenagem, classificada com base em Strahler (1952, 1957, 1964). O mapa mostra que há um número maior de cursos de primeira (aqueles que não têm afluentes) e segunda ordem (que têm afluentes de 1ª e de 2ª ordem), o que é de se esperar, pois os de 1ª ordem correspondem aos canais das nascentes, localizados nas cabeceiras, enquanto os de 2ª ordem, se formam mais abaixo na encosta, após receberem os canais de primeira ordem, ou de ordem igual. Já os canais de 3ª ordem (como o córrego São Domingos e o ribeirão São Pedro, por exemplo), tendem a ocorrer nos cursos médios dos rios, a partir da confluência de canais de ordens inferiores ou iguais às deles.

Os canais de 4ª ordem são canais mais estruturados, como é o caso do córrego Catolé, principal afluente do Pandeiros. O canal de 5ª ordem é o que coleta águas de todos os canais de ordem inferiores, ou iguais, sendo o de ordem mais elevada. Ele corresponde, como pode ser visto no Mapa 7, ao rio Pandeiros, que apresenta o sistema mais estruturado, respondendo, assim, pela organização e controle de todo o sistema de drenagem da bacia.

Essa interpretação foi confirmada pelas

medidas obtidas pelo SIG, conforme item “Materiais e Técnicas”, que apontam a presença de 264 canais de primeira ordem, 56 de 2ª ordem, 13 de 3ª ordem, 4 de 4ª e 1 de 5ª ordem (o rio Pandeiros). Essa drenagem é distribuída em cerca de 12.538, 071 Km² da área total da bacia, dando uma densidade média de 0,0446 Km/Km².

A assimetria da bacia também interfere na ordem hierárquica dos canais de drenagem nas duas margens do rio. Enquanto na margem direita, os afluentes não passam da 3ª ordem, os da margem esquerda atingem a 4ª ordem (MAPA 7). Assim, durante o processo de recuo das Escarpas da Chapada das Gerais, discrepâncias topográficas entre as duas margens do rio Pandeiros (encaixado na falha extensional normal apresentada no Mapa 4), teriam gerado maior dissecação dos rios na margem esquerda do que na direita, como observado por Baioni (2007, p. 574) em outros lugares.

Rupturas de declive do relevo seus efeitos na dinâmica hidrogeomorfológica da bacia (Mapa de *Knickpoints* e de Classes de Declividade)

Mudanças abruptas de declividade longitudinal dos canais fluviais são denominadas de *Knickpoints*. Elas podem ter causas variadas, entre elas, aquelas associadas às atividades tectônicas ou às ocorridas em razão de mudanças de litologia, que podem impor resistências diferenciadas à erosão, resultando, quase sempre, em mudanças de níveis locais de base (LARUE, 2011). O Mapa de *Knickpoints* é um mapa que assinala rupturas de declive do terreno, permitindo espacializar essas mudanças. Quando estas rupturas são acentuadas, elas tendem a acelerar os fluxos de água, tanto do

escoamento superficial disperso como concentrado, assim como os fluxos nos canais fluviais, potencializando a erosão e acelerando o transporte de sedimentos. As rupturas de declive podem gerar áreas de corredeiras e, em casos de maior discrepância da inclinação do terreno, a ocorrência de cachoeiras (MUDD; FURBISH, 2005).

No Mapa 8, é possível visualizar algumas interações entre os diversos fatores naturais envolvidos na aceleração, ou não, da erosão na bacia do rio Pandeiros. A associação entre a alocação dos pontos (em preto) e as “zonas” do domínio de cores que vão do verde (baixa ruptura de declive) ao vermelho (alta ruptura de declive) no mapa, possibilitando a identificação de zonas naturais mais suscetíveis à erosão e que, devido ao uso e ocupação inadequados da terra, são submetidas à aceleração destes processos, gerando impactos ambientais negativos (AUGUSTIN *et al.*, 2020).

Na bacia, esses pontos encontram-se espacialmente bem distribuídos, indicando a existência recorrente de fatores de indução dessas rupturas de declive e da frequência de *inputs* de energia que dinamizam e impulsionam o trabalho erosivo da água. A utilização de cores mais avermelhadas, possibilita a identificação de áreas com potencial erosivo mais elevado. Mesmo ocorrendo em áreas de litologia arenítica do Grupo Urucuia, do Cretáceo, elas estão localizadas em zona de transição entre as formações Serra das Araras (superior), laterizada, e Posse, composta predominantemente por arenitos finos e esbranquiçados da base (MAPA 2). De acordo com Augustin *et al.* (2020), a laterização das rochas da Fm. Serra das Araras parece ser um dos fatores que respondem, como um todo, pela maior resistência da Chapada à erosão, o que leva

à criação de uma zona de grandes rupturas, exploradas pelas cabeceiras de drenagem (MAPA 8).

A primeira Zona, Mapa 8, n. 1, acompanha toda a borda noroeste (1a), norte (1b) e nordeste (1c e 1d) da Chapada das Gerais, e corresponde às áreas de nascentes dos tributários do rio Pandeiros, próxima aos limites com as bacias dos rios Carinhanha (NW), Cochá (N) e Peruaçu (NE), constituindo o Domínio Geomorfológico das Escarpas (MAPA 3). Como já identificado neste artigo, as cabeceiras do rio Pandeiros encontram-se localizadas na Escarpa NW, englobando, na margem direita, as drenagens do córrego Suçuarana e do ribeirão São Pedro e, na margem esquerda, as dos córregos Genipapo, Vitória e riacho da Ema (FIGURA 1; MAPA 8).

A segunda Zona de rupturas de declive acentuada, ocorre nos interflúvios do córrego Pindaibal, Mapa 8, n. 2, mostrando que, apesar do canal principal em si, não exibir rupturas longitudinais representativas, seus afluentes apresentam zonas suscetíveis à erosão (LIMA, 2019; LIMA *et al.*, 2019; LOPES; MAGRI, 2015).

A terceira Zona, Mapa 8, n. 3, corresponde aos interflúvios entre os córregos Borrachudo e o Macaúbas. Ela é uma área de contato litológico entre as rochas do Grupo Urucuia (Fm. Posse) e as carbonáticas do Grupo Bambuí (Fm. Sete Lagoas). Nela, destacam-se afloramentos de rochas carbonáticas do Grupo Bambuí, formando paredões abruptos circundados, ou sem-circundados, por planícies aluviais denominadas de poljes, típicas de relevos cársticos, o que favorece o desenvolvimento de rupturas de declive.

Uma quarta Zona, Mapa 8, n. 4, encontra-se localizada atravessando os dois lados do rio

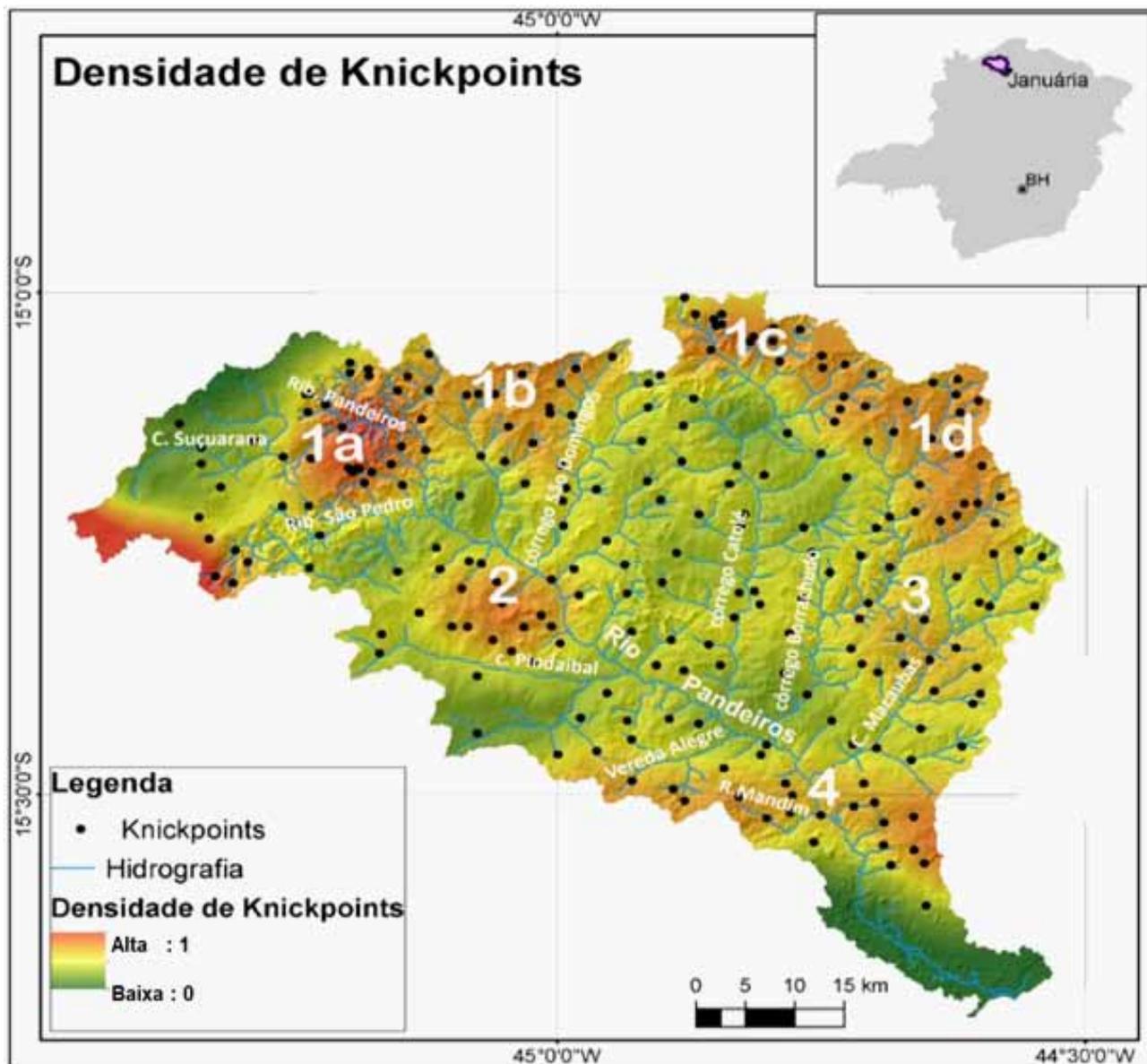


Pandeiros, dos interflúvios do riacho Mandim, no lado direito da bacia, até os do córrego Macaúbas, na margem esquerda, quase marcando o início do Pantanal.

Nos interflúvios do Mandim, foram encontrados remanescentes de rochas laterizadas, da Fm. Serra das Araras, bem como amostras de sílex, sugerindo uma geologia mais complexa para a área do que a já produzida pela

literatura. Essa quarta ruptura de declive atinge diretamente o canal do rio Pandeiros, formando trechos de rápidos e encachoeirados, em um dos quais foi construída a Pequena Central Hidrelétrica - PCH. A Zona 4, como a Zona 3, ocorre em uma área marcante do relevo, devido ao contato dos arenitos do Grupo Urucuia com os carbonatos da Fm. Sete Lagoas, do Grupo Bambuí (MAPA 2).

Mapa 8 – Mapa de Knickpoints da bacia do rio Pandeiros



Fonte: Elaborado pelos autores, a partir do RSTM/TOPODATA (INPE, 2011).

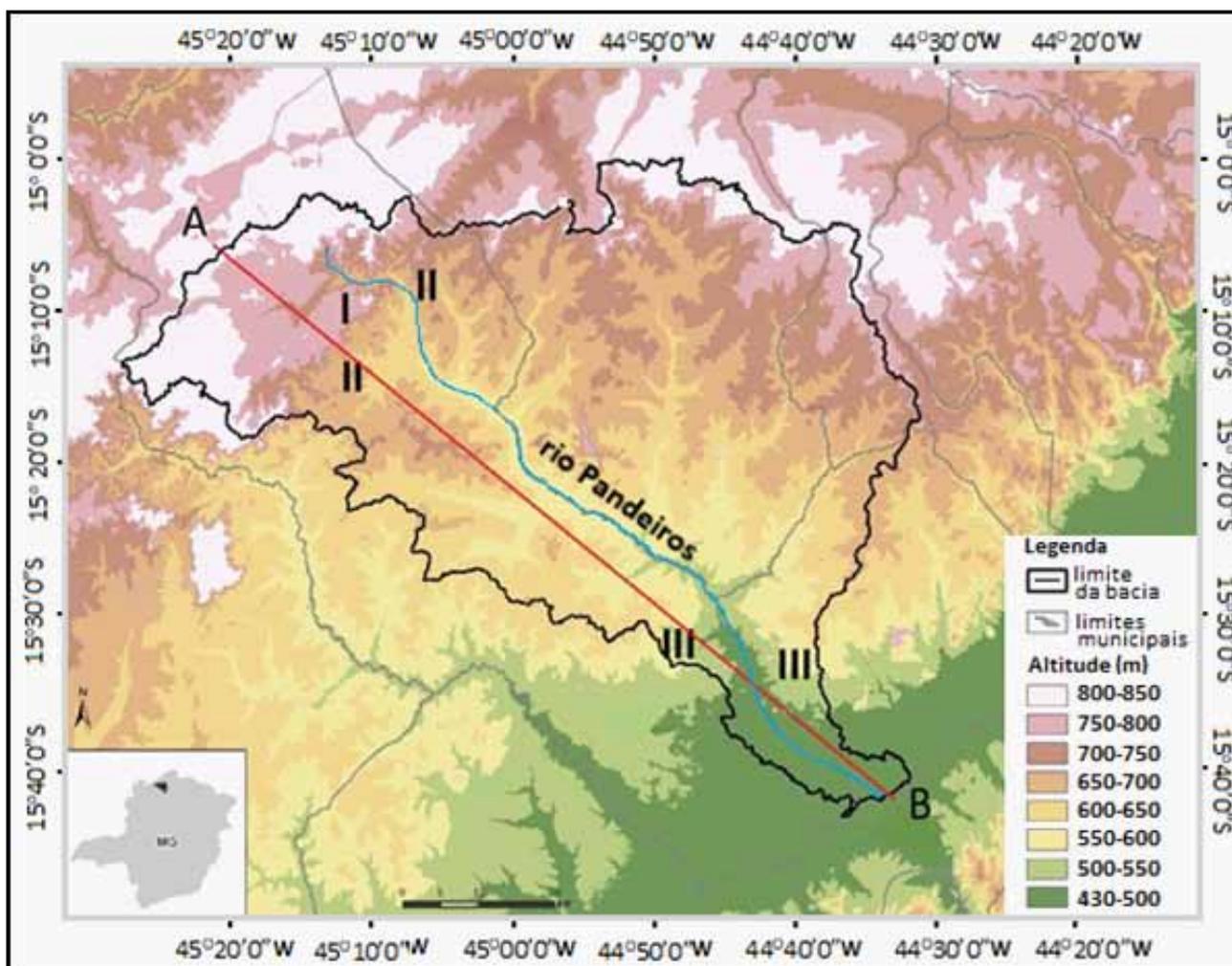
Nota: Mostra a ocorrência de 4 Zonas de rupturas acentuadas de declive: 1 (1a, 1b, 1c e 1d), 2, 3 e 4, indicadas também no Mapa de Classes de Declividade.

O Mapa 9 mostra a distribuição espacial da maior parte das 215 voçorocas da bacia, identificadas por Lima (2019). Como pode ser visto no Mapa 9, elas encontram-se agrupadas em três áreas principais (I, II e III), que coincidem com as das grandes rupturas de declive (GRÁFICO 1). As três grandes rupturas de declive, delimitam os contatos entre quatro grandes patamares topográficos, que formam

degraus que diminuem de altitude e mesmo de declividade em direção à foz, no encontro do Pandeiros com o São Francisco (GRÁFICO 1).

Elas constituem um fator importante na dinâmica hidrogeomorfológica da bacia uma vez que elas favorecem a ocorrência de processos erosivos, contribuindo para o surgimento do voçorocamento, responsável pela formação das voçorocas.

Mapa 9 – Mapa Hipsométrico da bacia da bacia do rio Pandeiros

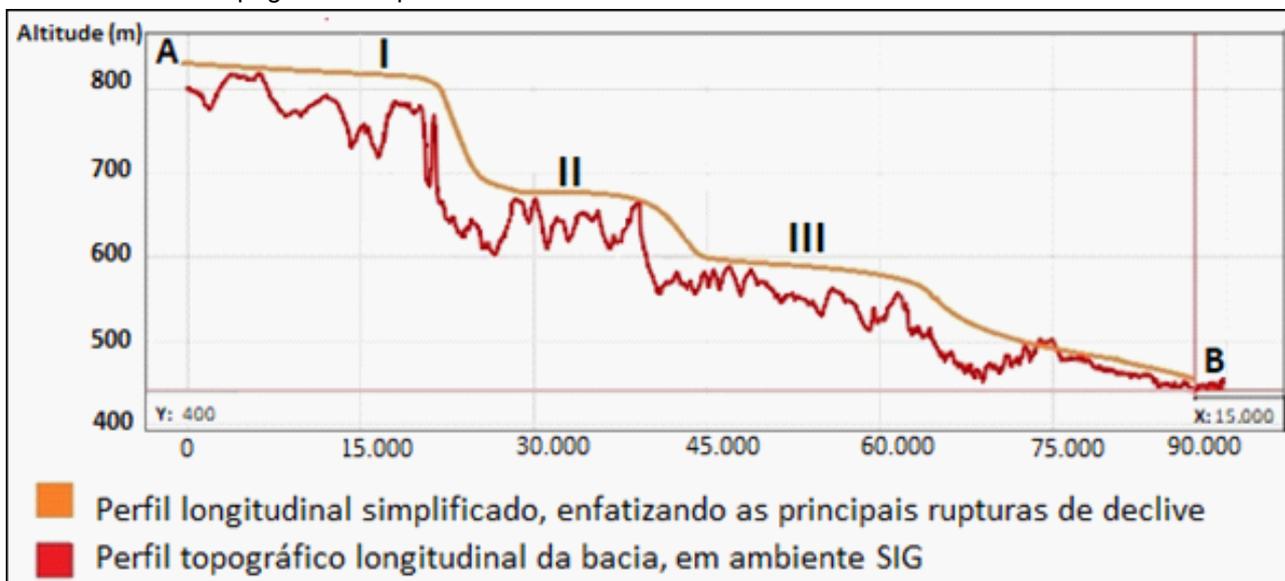


Fonte: LIMA *et al.*, 2019.

Nota: Mostra a localização das voçorocas, que tendem a se aglutinar em três grupos (I, II, III), localizados em grandes rupturas de declive.



Gráfico 1 – Perfil topográfico simplificado da bacia do rio Pandeiros



Fonte: Elaborado pelos autores, a partir de LIMA, 2019.

Nota: Mostra a presença de patamares de relevo (I, II, III, IV) separados uns dos outros por três grandes rupturas de declive no alto, médio e baixo cursos do Pandeiros, criando áreas de intensificação de erosão. Registra-se que o perfil ultrapassa, no patamar I, os limites da bacia.

Conforme o Gráfico 1 e o Mapa 9, as voçorocas tendem, dessa maneira, a se concentrar nas áreas de rupturas de declive entre os patamares de relevo I e II, II e III e entre III e IV, estando associadas ao intenso fornecimento de sedimentos para os canais fluviais (BANDEIRA *et al.*, 2020). Isto explica a dificuldade do canal do rio Pandeiros em ajustar sua vazão com a carga sedimentar, impedindo que o transporte seja igualmente eficiente ao longo de todo o perfil longitudinal, levando ao aumento da sedimentação. Mesmo que de uma maneira geral as declividades médias de um lado e outro da bacia sejam relativamente baixas, isto não impede que, localmente, ocorram áreas de maior declividade influenciando a erosão e o transporte do material intemperizado ou anteriormente depositado (em trânsito). Esse é o caso da área ocupada pelo complexo da Serra da Mescla, com mesetas e morros residuais

formados no domínio das rochas areníticas sedimentares do Grupo Urucuia, conforme Augustin *et al.* (2020), com declividades entre 10 e 59° e, ainda, em alguns interflúvios do ribeirão Pandeiros, dos córregos Genipapo, Lavrado, Catolé (sobre rochas do complexo granito-gnáissico) e do riacho Macaúbas (rochas pelíticas e carbonáticas do Grupo Bambuí).

É importante salientar que toda as quatro zonas identificadas no Mapa 8 e da distribuição espacial das voçorocas apresentadas no Mapa 9, são caracterizadas por rupturas acentuadas de declive conforme o Gráfico 1, ou seja, são áreas de aceleração erosiva da água de escoamento fluvial e de encosta, causada pelo desnível topográfico, com influência nos processos superficiais, em especial de voçorocamentos, devendo receber atenção especial em qualquer planejamento territorial da bacia.

Considerações Finais

Este artigo apresenta uma análise dos aspectos hidrogeomorfológicos no modelo da bacia do rio Pandeiros, bem como na influência do próprio relevo nas características da dinâmica da bacia. Os resultados indicam como a evolução das nascentes do rio Pandeiros, denominado, neste trecho, de ribeirão Pandeiros, ocorre, causam o recuo da Escarpa Noroeste, área de intensa produção de sedimentos, com grandes e abruptas rupturas de declive, gerando muita energia erosiva potencial. O ribeirão Pandeiros adquire a denominação de rio, ao receber as águas do riacho da Ema, seu afluente da margem esquerda.

O Mapa de Lineamento apontou a influência deste tipo de estrutura geológica nas direções predominantemente NW-SE / SE-NW e NE-SW / SW/NE da drenagem da bacia (MAPA 5). As primeiras são encontradas na drenagem do tipo paralela, presente em parte considerável da região da Chapada das Gerais, formada sobre rochas da Fm. Serra das Araras do Grupo Urucuia, do Cretáceo Superior, e por sua cobertura detrítica quaternária. Esta é a direção herdada do Lineamento Transbrasiliano (LTB), do Neoproterozoico, predominante no país. Já o rio Pandeiros e parte dos seus tributários, apresentam direções NW-SE / SE-NW e N - S, atribuídas às reativações tectônicas do LTB no Cenozoico. Os lineamentos também influenciaram a evolução da bacia, a partir do encaixamento pré-territo da calha do rio Pandeiros em uma falha com direção SE-NW, que orientou a migração das cabeceiras a montante, fazendo recuar a

escarpa formada pela Chapada das Gerais.

Nesse recuo relevos reliquiais tabulares (mesetas) foram deixados, sendo encontrados, ainda hoje, nas porções do médio e baixo Pandeiros, como o complexo da Serra da Mescla. A análise da rede de drenagem aponta para a influência dos lineamentos na organização do sistema fluvial da bacia e do seu entorno. No processo de incisão do vale em direção a remontante, este foi capturando drenagens de ordens hierárquicas inferiores (1^a, 2^a, 3^a e 4^a ordem) tornando-se um rio de quinta ordem e o principal da bacia.

O Mapa de Assimetria da bacia revela que o lado esquerdo do rio Pandeiros é geomorfologicamente diferente do lado direito (MAPA 7). O lado esquerdo é formado por interflúvios topograficamente mais elevados, longos, cortados por um maior número de tributários com canais mais longos. O direito, constitui uma área topograficamente mais baixa, com número menor de tributários e canais mais curtos. Este fato tem efeito sobre a declividade da bacia, pois na medida em que o lado esquerdo ganhou área com o recuo das cabeceiras, sua declividade média diminuiu. Na falta de evidências de basculamentos das rochas, ou de índices diferenciados de incidência de irradiação solar em função da baixa latitude da área, o que poderia causar o efeito de sombreamento em qualquer um dos lados, é possível inferir que esta diferença resulta da influência do paleorelevo formado pelo “Alto Estrutural de Januária” e do sistema de lineamentos, em especial a falha extensional do baixo rio Pandeiros, ao longo da estruturação da rede de drenagem na bacia.



O Mapa de *Knickpoints* permitiu inferir a localização das áreas da bacia do Pandeiros mais suscetíveis à erosão tanto fluvial, como de encostas (MAPA 8). Essas características estão associadas à ocorrência de alta energia potencial, que pode ser transformada em cinética nos períodos de chuva, acelerando a produção e transporte de sedimentos. Embora possam ser causadas por processos naturais da evolução do relevo da bacia do Pandeiro, as ações antrópicas decorrentes do uso e ocupação muitas vezes inadequados da terra, potencializam esses processos, acelerando-os em várias porções da bacia, como verificado em campo.

O aprofundamento da análise dos aspectos hidrogeomorfológicos da bacia do rio Pandeiros, permitiu uma melhor compreensão da dinâmica fluvial e de encostas, facilitando o entendimento da interação entre vários fatores naturais, bem como a espacialização dos resultados, servindo de base para ações do poder público e da iniciativa privada no sentido de corrigir e minimizar os impactos gerados por estes processos.

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Base Hidrográfica Unifiliar**: catálogo de metadados. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/srv/search>. Acesso em : 16 out. 2016.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, Jan. 2014.

ALASKA SATELLITE FACILITY. Distributed Active Archive Center. ©JAXA/METI 2007. 2014. DOI: <https://doi.org/10.5067/Z97HFCNKR6VA>. Disponível em: [\[palsar-rtc/alos-palsar-radiometric-terrain-correction/\]\(https://asf.alaska.edu/data-sets/derived-data-sets/alos-palsar-rtc/alos-palsar-radiometric-terrain-correction/\). Acesso em: 10 nov. 2017.](https://asf.alaska.edu/data-sets/derived-data-sets/alos-</p></div><div data-bbox=)

AUGUSTIN, C. H. R. R. **A Preliminary Integrated Survey of the Natural Resources near Alcantarilla, Southeast Spain**. 1979. 349 f. Thesis (Master of Science) – University of Sheffield, UK, 1979.

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: 29 nov. 2022

BABAR, M. D. Hydrogeomorphology: fundamentals, applications and techniques. New Delhi: New India Pub. Agency. 2005.

BAIONI, D. Drainage basin asymmetry and erosion processes relationship through a new representation of two geomorphic indices in the Conca River (northern Apennines). **Ital. J. Geosci.**, v. 126, n. 3, p. 573-579, 2007.

BANDEIRA, J. V.; SALIM, L. H.; CHAGAS, C. J.; CAMARGOS, C. C.; AUGUSTIN, C. H. R. R.; JARDIM, C. H.; ARANHA, P. R. A.; COSTA, A. M.; SÁ, L. P.; FRANÇA, G. P. Estudos hidrossedimentológicos na bacia hidrográfica do rio Pandeiros, MG, em um contexto multidisciplinar. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE SEDIMENTOS, 13., PARTÍCULAS NAS AMÉRICAS, 1., 2018, Porto Alegre. **Anais [...]**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2018. p. 1- 8.

BANDEIRA, J. V.; SALIM, L. H.; CHAGAS, C. J.; CAMARGOS, C. C.; FRANÇA, G. P. de; SÁ, L. P. Aspectos hidráulicos e o transporte de sedimentos ao longo do rio Pandeiros, MG, até o Pantanal Mineiro, junto à sua foz. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE SEDIMENTOS, 14., 2020, Campinas, SP. **Anais [...]**. Campinas: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2020. p. 1-9.

BEŇÁK, V. H.; SILVA, T. M. **Análise de lineamentos de drenagem a partir do tratamento de bases topográficas em escala 1: 50.000**: região serrana do estado do Rio de Janeiro. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 27.; EXPOSICARTA, 26., 2017, Rio

- de Janeiro, RJ. **Anais [...]**. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Cartografia, p. 1258-1262, 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.
- BISHOP, P. Drainage rearrangement by river capture, beheading and diversion. **Progress in Physical Geography**, v. 19, n. 4, p. 449-473, 1995.
- BOELHOUWERS, J. An interpretation of valley asymmetry in the Natal Drakensberg, South Africa. *South African Journal of Science*, v. 84. p. 913-916, 1988.
- BRÊDA, T. C.; MELLO, C. L.; MORAES, A. Significado tectônico de padrões de lineamentos na porção emersa das bacias marginais do sudeste do Brasil e áreas de embasamento adjacentes. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 41, n. 3, p. 305-318, 2018.
- CACAMA, M. S. J. B.; SÁ, E. F. J. de; SILVA, F. C. A. da; LINS, F. A. P. L. Assinatura estrutural e geofísica da Porção Norte (fronteira Ceará-Piauí) do Lineamento Transbrasiliiano: reativação na Bacia do Parnaíba. **Revista do Instituto de Geociências**, v. 15, n. 3-4, p. 67-81, 2015.
- CENTRO DE DESENVOLVIMENTO DA TECNOLOGIA NUCLEAR (CDTN); UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS. Instituto de Geociências (UFMG). **Relatório Final do Projeto Sustentabilidade da Bacia do Rio Pandeiros-MG: dinâmica de vertentes da bacia do Rio Pandeiros**. 2020. Disponível em: <https://www.igc.ufmg.br/geografia/pos-graduacao-em-geografia/relatorios-e-produtos-tecnicos/>. Acesso em: 29 nov. 2022.
- CHAGAS, C. J.; MOREIRA, R. M.; AUGUSTIN, C. H. R. R.; BANDEIRA, J. V.; CARVALHO FILHO, C. A. Reuse of a dam as sediment trap and water reserve. **RBRH**, v. 27, p. 1-11, 2022.
- CHAMANI, M. A. C. **Tectônica intraplaca e deformação sinsedimentar induzida por abalos sísmicos: o Lineamento Transbrasiliiano e estruturas relacionadas na Província Parnaíba, Brasil**. Dissertação 2011. 207 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.
- CHAMANI, M. A. C.; RICCOMINI, C.; AGUIAR M. P.; GROHMANN, C. H. Tectônica sinsedimentar fanerozóica associada ao Lineamento Transbrasiliiano no Brasil Central. *In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS*, 13.; INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON TECTONICS, 7., 2011, Campinas. **Anais [...]** Campinas: Tec. Art Editora, p. 450-452, 2011.
- COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO DE MINAS (CODEMIG); UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS. Instituto de Geociências. (UFMG). **Folha Catolé: Mapas Geológicos (SD.23-Z-C-I)**. Belo Horizonte, 2015a. Escala 1.100.000. Projeto Fronteiras de Minas. Disponível em: <http://www.portalgeologia.com.br/index.php/mapa/>. Acesso em: 16 out. 2016.
- COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO DE MINAS (CODEMIG); UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS. Instituto de Geociências. (UFMG). **Folha Januária: Mapa Geológico (SD.23-Z-C-II)**. Belo Horizonte, 2015b. Escala 1.100.000. Projeto Fronteiras de Minas. Disponível em: <http://www.portalgeologia.com.br/index.php/mapa/>. Acesso em: 16 out. 2016.
- 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, 2015c. Escala 1.100.000. Projeto Fronteiras de Minas. Disponível em: <http://www.portalgeologia.com.br/index.php/mapa/>. Acesso em: 16 out. 2016.
- COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO DE MINAS (CODEMIG); UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS. Instituto de Geociências. (UFMG). **Folha São João da Ponte: Mapa Geológico (SD.23-Z-C-V)**. Belo Horizonte, 2015d. Escala 1.100.000. Projeto Fronteiras de Minas. Disponível em: <http://www.portalgeologia.com.br/index.php/mapa/>. Acesso em: 16 out. 2016.
- COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO DE MINAS (CODEMIG); UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS. Instituto de Geociências. (UFMG). **Folha São Joaquim: Mapa Geológico (SD.23-Y-D-III)**. Belo Horizonte, 2015e. Escala 1.100.000. Projeto Fronteiras de Minas. Disponível em: <http://www.portalgeologia.com.br/index.php/mapa/>. Acesso em: 21 jul. 2015.
- COX, R.T.; ARSDALE, R. B. VAN; HARRIS, J. B. Identification of possible quaternary deformation in the northeastern Mississippi Embayment using quantitative geomorphic analysis of drainage-basin asymmetry. **Geological Society of America Bulletin**, v. 113, n. 5, p. 615-624, 2001.
- CURTO, J. B.; VIDOTTI, R. M.; FUCK, R. A.; BLAKELY, R. J.; ALVARENGA, C. J. S.; DANTAS, E. L. The tectonic evolution of the Transbrasiliiano Lineament in northern Paraná Basin, Brazil, as inferred from aro-



magnetic data. **J. Geophys. Res. Solid Earth**, v. 119, p. 1544-1562, 2014.

DIAS, L. C. C. **Análise da paisagem da Área de Proteção Ambiental Estadual do Rio Pandeiros, MG: subsídios para o manejo e conservação da fauna.** 2017. 86 f. Dissertação (Mestrado em Conservação da Fauna) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2017.

DIETRICH, W. E.; RENEAU, S. L.; WILSON, C. J. Overview: Zero-order basins” and problems of drainage density transport and hillslope morphology. *In: EROSION AND SEDIMENTATION IN THE PACIFIC RIM: INTERNATIONAL SYMPOSIUM HELD AT OREGON STATE UNIVERSITY, CORVALLIS, 1987, Oregon. Proceedings* [...]. Oregon: IAHS, 1987. p. 27-37.

DOHRENWEND, J. C. Systematic valley asymmetry in the central California Coast Ranges: **Geological Society of America Bulletin**, v. 89, p. 891-900, June. 1978.

DOUGLASS, J.; RONALD, I. N. M.; SCHMEECKLE, D. M. W. A criteria-based methodology for determining the mechanism of transverse drainage development, with application to the southwestern United States. **Geological Society of America Bulletin**, v. 121; n. 3/4; p. 586-598, mar/apr. 2009.

FIRMINO, I. G. Índices indicativos de basculamento tectônico: a relação entre a assimetria de vales para rios encaixados. *In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOLOGIA - SINAGEO*, 12., 2018, Crato, CE. **Anais** [...]. Crato: UBG, 2018. 5p.

FONSECA, B. M. **O uso do Sistema de Informações Geográficas na análise morfométrica e morfológica de bacias de drenagem na Serra do Espinhaço Meridional-MG.** 2010. 93 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

FONSECA, B. M.; AUGUSTIN, C. H. R. R. Use of GIS to calculate Hack Index as a basis for comparative geomorphologic analysis between two drainage basins: a case study from SE-Brazil. *In: INTERNATIONAL GEOGRAPHIC UNION REGIONAL GEOGRAPHIC CONFERENCE*, 2011, Santiago, Chile. **Proceedings** [...]. Santiago: International Geographic Union, 2011, v. 1. p. 1-12, 2011.

FONSECA, D. S. R.; NASCIMENTO, C. R.; MIRANDA, W. A; FIGUEIREDO, F. P. Diagnóstico do uso do solo e degradação ambiental na bacia hidrográfica do Pandeiros-MG como subsídio para estudos de impacto ambiental. **Revista Eletrônica Geoaraguaia**. Barra do Garças, MT, v 1, n. 1, p. 1-20 jan/julh. 2011.

GOODWIN, C. N.; TARBOTON, D. G. Drainage Basin. *In: ENCYCLOPEDIA of Geomorphology*. London: Routledge, 2004. v.1: A-I, p. 272-277.

GOOGLE. **Google Earth**. Disponível em: <http://earth.google.com/>. Acesso em: 20 jul. 2016; 15 jul. 2017; 16 fev. 2018; 5 jun. 2019; 16 jul. 2020, 15 mar. 2021; 12 out. 2022.

GREGORY, K. J.; WALLING, D. E. **Drainage basin, form and processes**. London: Edward Arnold, 1983.

HARE, P. W.; GARDNER, T. W. Geomorphic Indicators of Vertical Neotectonism along Converging Plate Margins, Nicoya Peninsula, Costa Rica. *In: MORISAWA, M.; HACK, J.T. (Ed.). TECTONIC GEOMORPHOLOGY: ANNUAL BINGHAMTON GEOMORPHOLOGY SYMPOSIUM*, 15., 1985, Binghamton. **Proceedings** [...]. Boston: Allen and Unwin, 1985. p. 123-134.

HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: a hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geological Society of America Bulletin**, v. 56, n. 3, p. 275-370, 1945.

HOWARD, A. D. Drainage analysis in geologic interpretation: a summary. **AAPG Bulletin**, v. 51, p. 2246-2259, 1967.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Mapa topográfico da Folha: Catolé - SD.23-Z-C-I**. [Rio de Janeiro, RJ]: IBGE, 1970. Escala 1: 100.000.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Mapa topográfico da Folha: Januária - SD.23. Z-C-II (MI-2178)**. 2. ed. [Rio de Janeiro, RJ]: IBGE, 1980. Escala 1: 100.000.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Mapa topográfico das Folhas: São Joaquim - SD.23-Y-D-II**. [Rio de Janeiro, RJ]: IBGE, 1972a. Escala 1: 100.000.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Mapa topográfico da Folha São Francisco - SD.23-Z-C-IV**. [Rio de Janeiro, RJ]: IBGE, 1972b. Escala 1: 100.000.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (Brasil). **Topodata**: Banco de dados Geomorfométricos do Brasil. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/index.php>. Acesso em: 18 mar. 2017.

KANE, P. Origins of Valley Asymmetry at Sarah Canyon, California. **Yearbook of the Association of Coastal Geographers**, v. 40, p. 103-115, 1978.

- KNIGHTON, A. D. Asymmetry of river channel cross-sections: part I. quantitative indices. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 6, Issue 6, p. 581-588, nov./dec.1981.
- KULKARNI, M. D. The basic concept to study morphometric analysis of river drainage basin: a review. **International Journal of Science and Research**, v. 4, Issue 7, p. 2277- 2280, 2015.
- LANGSTON, A. L.; TUCKER, G. E. Lateral bedrock erosion in landscape evolution models. **Earth Surf. Dynam.**, v. 6, p. 1-27, 2018.
- LARUE, J. P. Longitudinal profiles and knickzones: the example of the rivers of the Cher basin in the northern French Massif Central. **Proceedings of the Geologists' Association**, v. 122, p. 125-142, 2011.
- LEOPOLD, L. B.; WOLMAN, M. G.; MILLER, J.P. **Fluvial processes in geomorphology**. San Francisco: W.H. Freeman and Company, 1964.
- LIMA, A. C. P.; AUGUSTIN, C. H. R. R.; OLIVEIRA, 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.). **O livro geografia física e as mudanças globais**. Fortaleza: Editora UFC, 2019. p. 1-12
- 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.
- LONG, D.; STOKE, M. S. Valley asymmetry: evidence for periglacial activity in the central north sea. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 1, n. 1, p. 525-532, 1986.
- LOPES, S. S.; MAGRI, R. A. F. Uso do geoprocessamento no levantamento de feições erosivas e na produção da base cartográfica digital da bacia hidrográfica do Rio Pandeiros – MG. *In*: CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS, 12., 2015, Poços de Caldas, MG. **Anais [...]**. Poços de Caldas: Instituto Federal do Sul de Minas, Campus Muzambinho, 2015. v. 7, n. 1, p. 1-9.
- MAIA-RODRIGUES, B. H. **Análise da dinâmica de evolução do relevo e da compartimentação geomorfológicas no contexto das bacias hidrográficas da margem esquerda do rio São Francisco - norte de Minas Gerais**. 2012. 107 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.
- MARTINS, R. N.; SANTOS, V. K. S.; CORTE, W. C.; RIBEIRO, D. P.; BISHOP, H. Uso de dados SRTM e plataforma SIG na caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Pandeiros. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 44., 2015, São Pedro, SP. **Anais [...]**. São Pedro, SP: CONBEA, 2015. p.1-4.
- MIGUEL, F. R. M.; VIEIRA, S. R.; GREGO, C. R. Variabilidade espacial da infiltração de água em solo sob pastagem em função da intensidade de pisoteio. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v. 44, n. 11, p. 1513-1519, nov. 2009.
- MUDD, S. M.; FURBISH, D.J. Lateral migration of hillcrests in response to channel incision in soil-mantled landscapes. **Journal of Geophysical Research Earth Surface**, v. 110. 2005.
- NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). **Mosaico GeoCover 2000**. Disponível em: <https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid>. Acesso em: 05 mar. 2020.
- NAYLOR, S.; GABET, E. J. Valley asymmetry and glacial versus nonglacial erosion in the Bitterroot Range, Montana, USA. **Geology**, v. 35, n. 4, p. 375–378, 2007.
- 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.
- OLIVEIRA, D. A. **Wetland como unidade hidrogeomorfológica na transição entre o cerrado e o semiárido mineiro: análise da dinâmica do Pantanal da bacia de drenagem do Rio Pandeiros - MG**. 2021. 418 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2021.
- OLIVEIRA, F. M. **Relações solo-vegetação em áreas desenvolvidas sobre o arenito Uruçuia na APA do Rio Pandeiros**. 2013. 65 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2013.
- 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, 2007.
- POULOS, M. J.; PIERCE, J. L.; FLORES, A. N.; BANNER, S. G. Hillslope asymmetry maps reveal widespread, multi-scale organization. **Geophysical Research Letters**, v. 39, p. 1-6, 2012.
- PRAXEDES, I. F. **Lineamento transbrasileiro, contribuição aerogeofísica, tectônica e geocronológica no setor nordeste da Faixa Brasília**. 2015. 104 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2015.
- QUEIROZ, G. L.; SALAMUNI, E.; NASCIMENTO, E. R. Knickpoint finder: a software tool that improves neotectonic analysis. **Computers & Geosciences**, v. 76, p. 80-87, 2015.
- REID, L. M.; DUNNE, T. **Rapid evaluation of sediment budgets**. Reiskirchen, Germany: Catena Verlag, 1996. 174p.
- SANTOS, C. H. O. **Expressão do lineamento transbrasileiro na porção sul da Bacia do Parnaíba**. 2017. 93 f. Dissertação (Mestrado em Geodinâmica e Geofísica) – Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.
- SCOLFORO, J.R.; CARVALHO, L.M.T. (ed.). **Mapeamento e inventário da flora e dos reflorestamentos de Minas Gerais**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2006.
- SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (CPRM). **Mapa Estadual de Geodiversidade de Minas Gerais**. 2010. Escala de 1: 1.000.000.
- SIDLE, S. C.; ONDA, Y. Hydrogeomorphology: overview of an emerging science. **Hydrol. Process.** v. 18, p. 597-602, 2004.
- SISTEMA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS (Minas Gerais). **Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – IDE SISEMA**. Belo Horizonte, 2019. Disponível em: idesisema.meioambiente.mg.gov.br. Acesso em: 16 out. 2022.
- SILVA, C. G. **Caracterização física e ambiental da bacia hidrográfica do Rio Pandeiros-MG em eventos de El Niño-Oscilação Sul**. 2018. 59 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola e Ambiental) – Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2018.
- SILVA, P. D. O. **Utilização do isótopo ^{7}Be como método de investigação da erosão em escala de vertente**. 2020. 89 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2020.
- SPIGOLON, A. L. D.; ALVARENGA, C. J. S. de. Fácies e elementos arquiteturais resultantes de mudanças climáticas em um ambiente desértico: Grupo Urucuaia (Neocretáceo), Bacia Sanfranciscana. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 32, n. 4, p. 579-586, dez. 2002.
- STRAHLER, A. N. Hypsometric (area-altitude): analysis of erosional topography. **Geological Society of America Bulletin**, v. 63, n. 11, p. 1117-1142, nov. 1952.
- STRAHLER, A. N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. **Transactions of the American Geophysical Union**, New Haven, v. 38, p. 913-920, 1957.
- STRAHLER, A. N. Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. In: CHOW, V.T. (Ed.). **Handbook of applied hydrology**. New York: McGraw Hill Book Company, 1964. p. 4-11.
- UNITED STATES. Geological Survey (USGS). **SRTM - Shuttle Radar Topography Mission**. 2018. Disponível em: <https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-digital-elevation-shuttle-radar-topography-mission-srtm-1>. Acesso em: 16 out. 2022.
- WENDE, R. Drainage and valley asymmetry in the Tertiary Hills of Lower Bavaria, Germany. **Geomorphology**, v. 14, n. 3, p. 255-265, 1995.

Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo financiamento do Projeto APQ-03773-14 - Sustentabilidade da bacia do Rio Pandeiros-MG: Dinâmica de vertentes da bacia do Rio Pandeiros; ao IGC-UFMG e ao CDTN, pelo apoio de infraestrutura; ao bolsista de IC do curso de graduação de Geologia, Gilberto Mendes da Cunha Júnior, pelo auxílio na elaboração das figuras e mapas do artigo; ao Dr. Cláudio Chagas, do CDTN, pelo auxílio na geração do mapa geológico no SIG.



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).

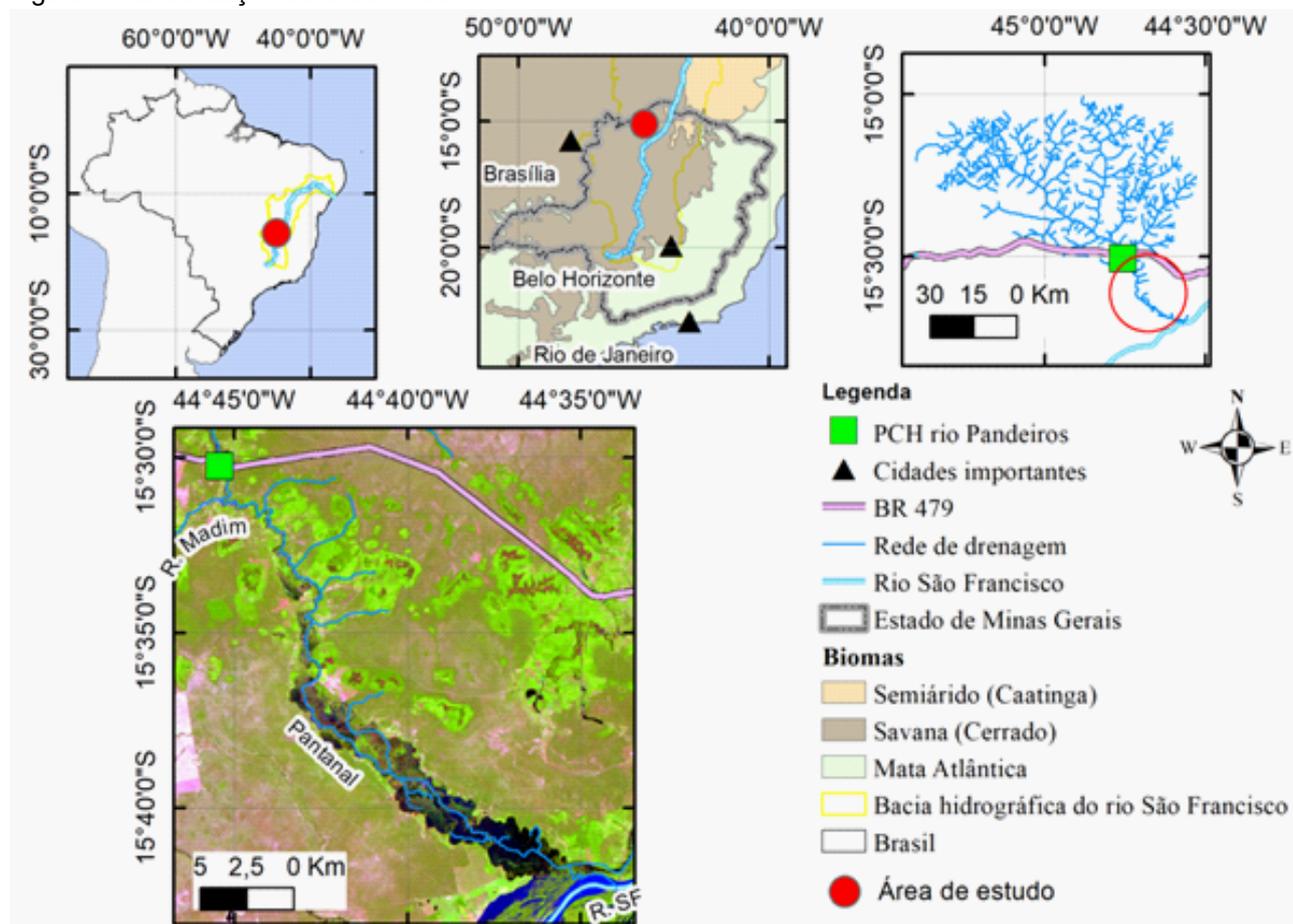
O objetivo deste trabalho é analisar a dinâmica entre o relevo e os processos hidrogeomorfológicos que ocorrem no Pantanal do rio Pandeiros, a partir do uso de técnicas de sensoriamento remoto, principalmente, durante os períodos de inundação.

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 inundação 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 inundação 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

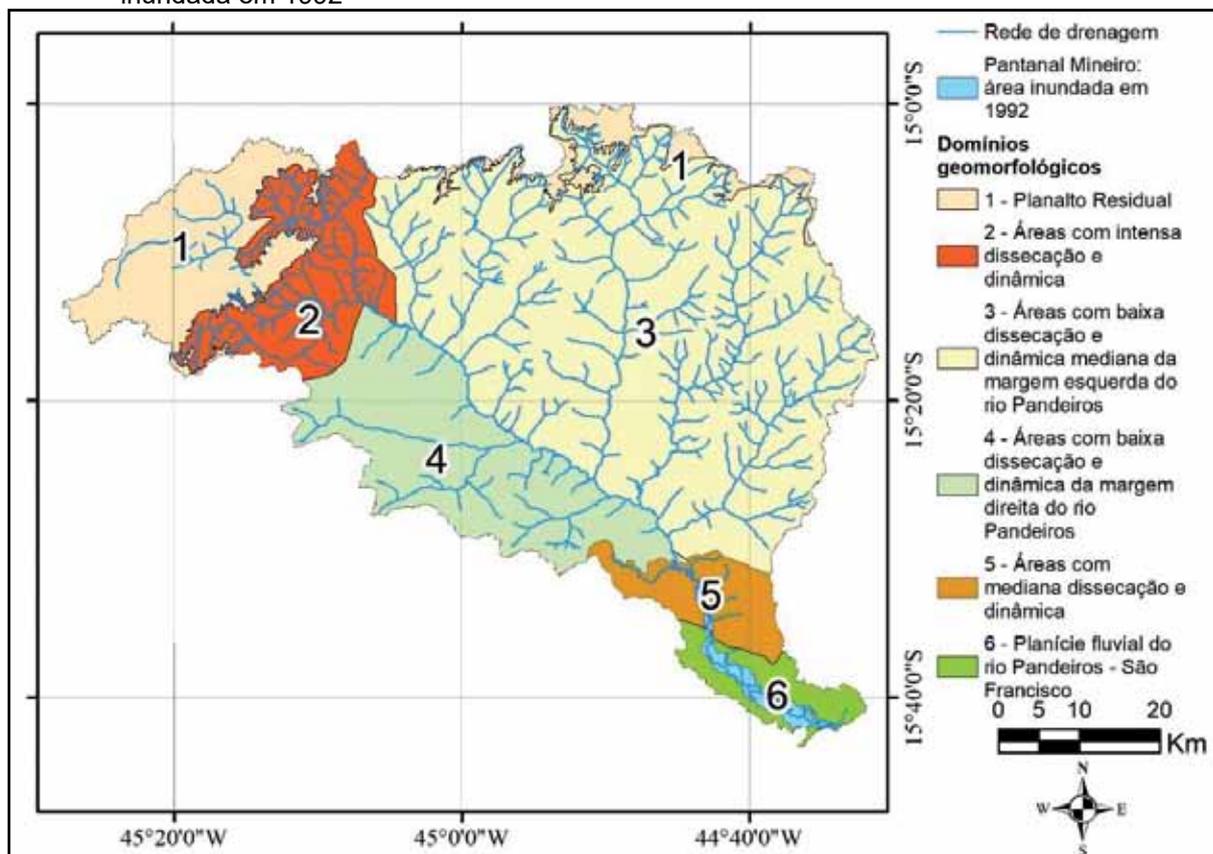
Formação Sete Lagoas, compostas principalmente por calcarenitos, calcilutitos e raros ritmitossílticos. A base do Grupo Urucuaia é representada pela Formação Posse, na qual predominam arenitos finos. Já as coberturas do Neógeno são formadas por areias e cascalhos, provenientes de depósitos aluvionares 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).

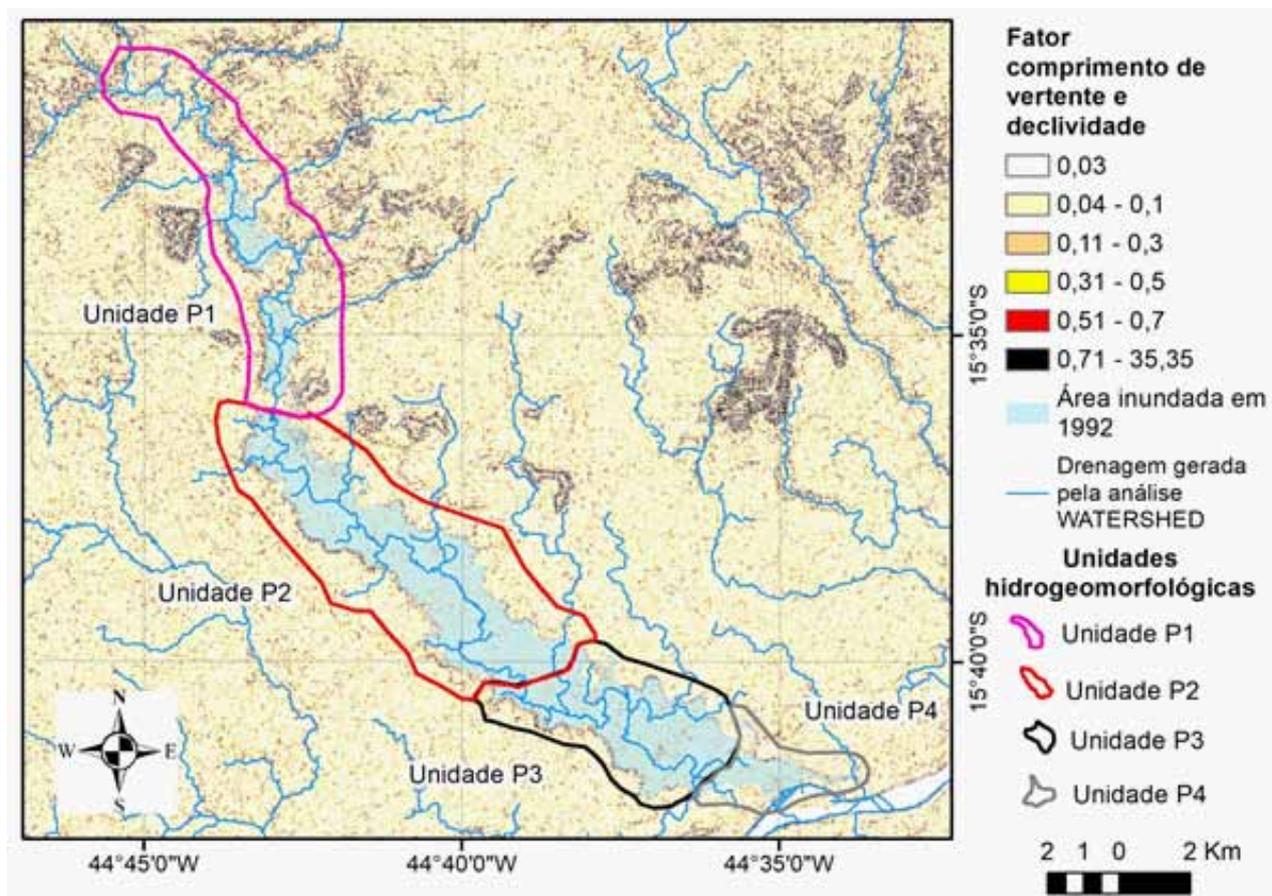
Resultados e Discussões

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.

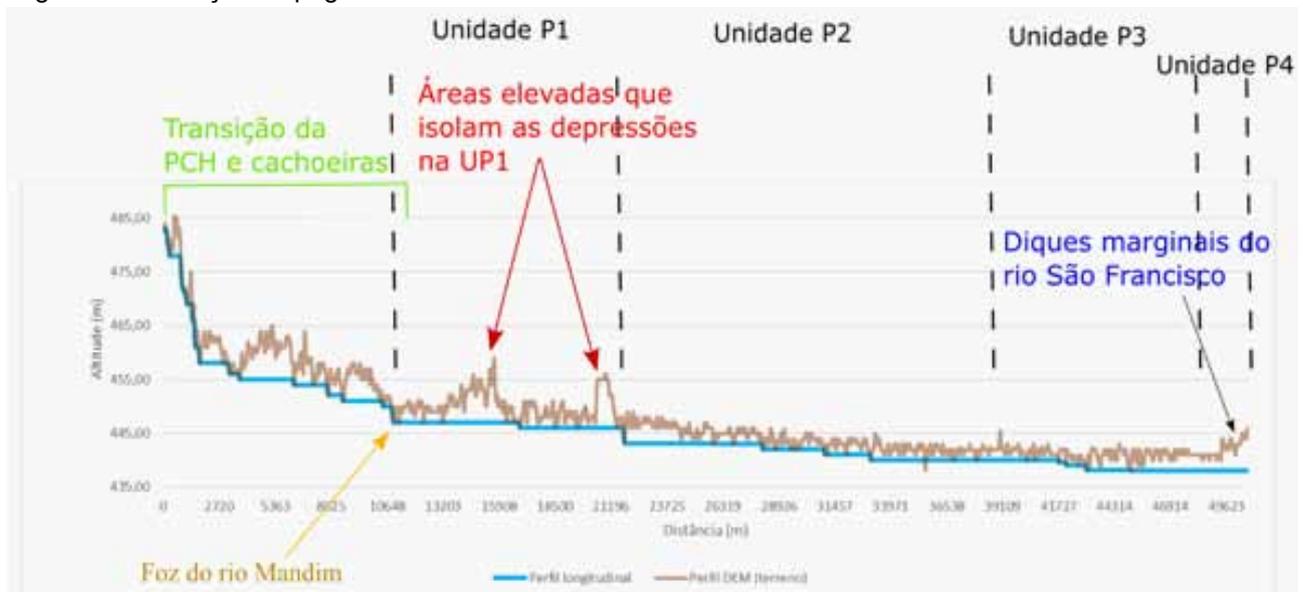
O perfil longitudinal do rio Pandeiros na área do Pantanal do rio Pandeiros

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).

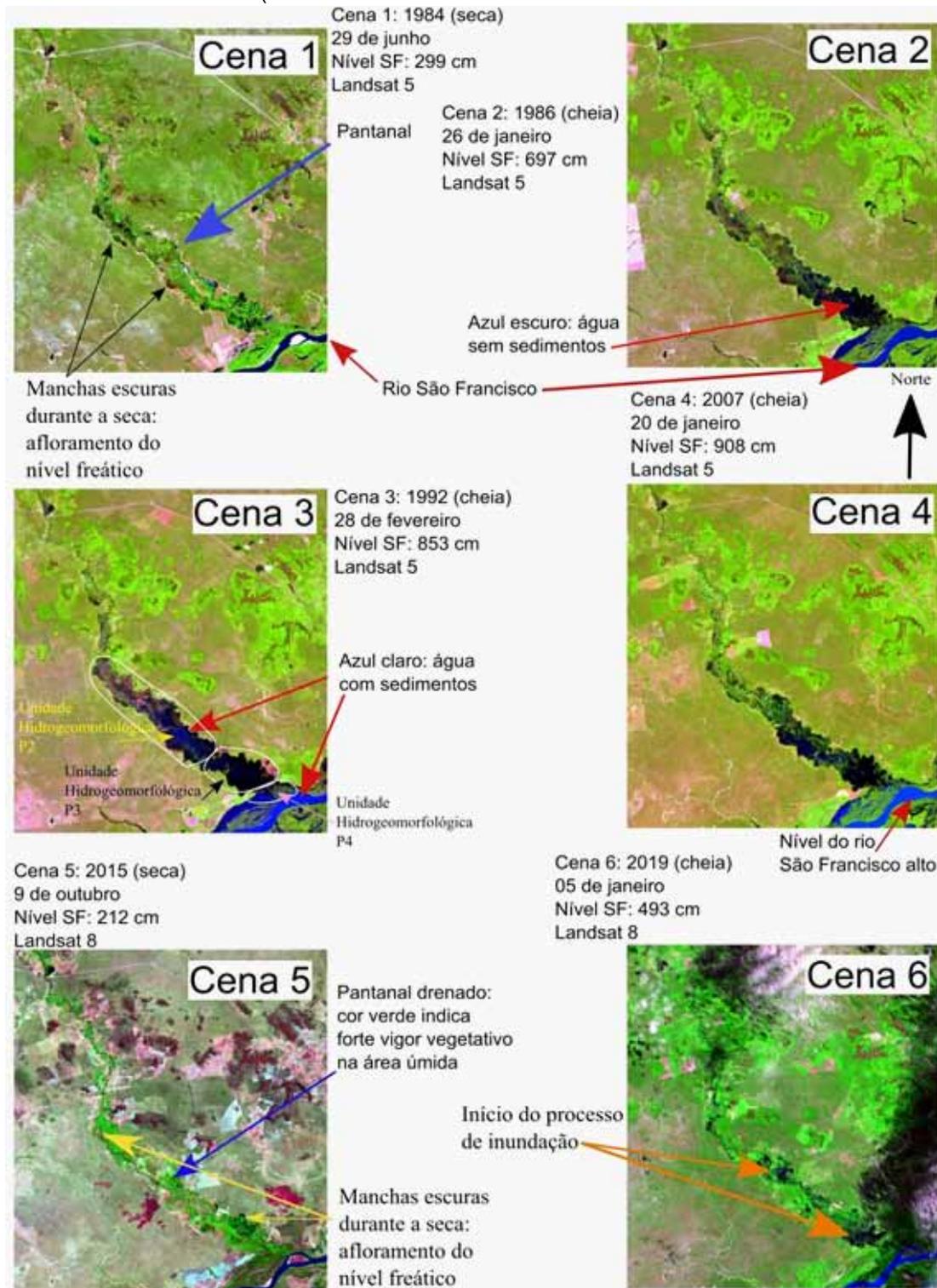
Dinâmica hidrogeomorfológica do Pantanal do rio Pandeiros

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.

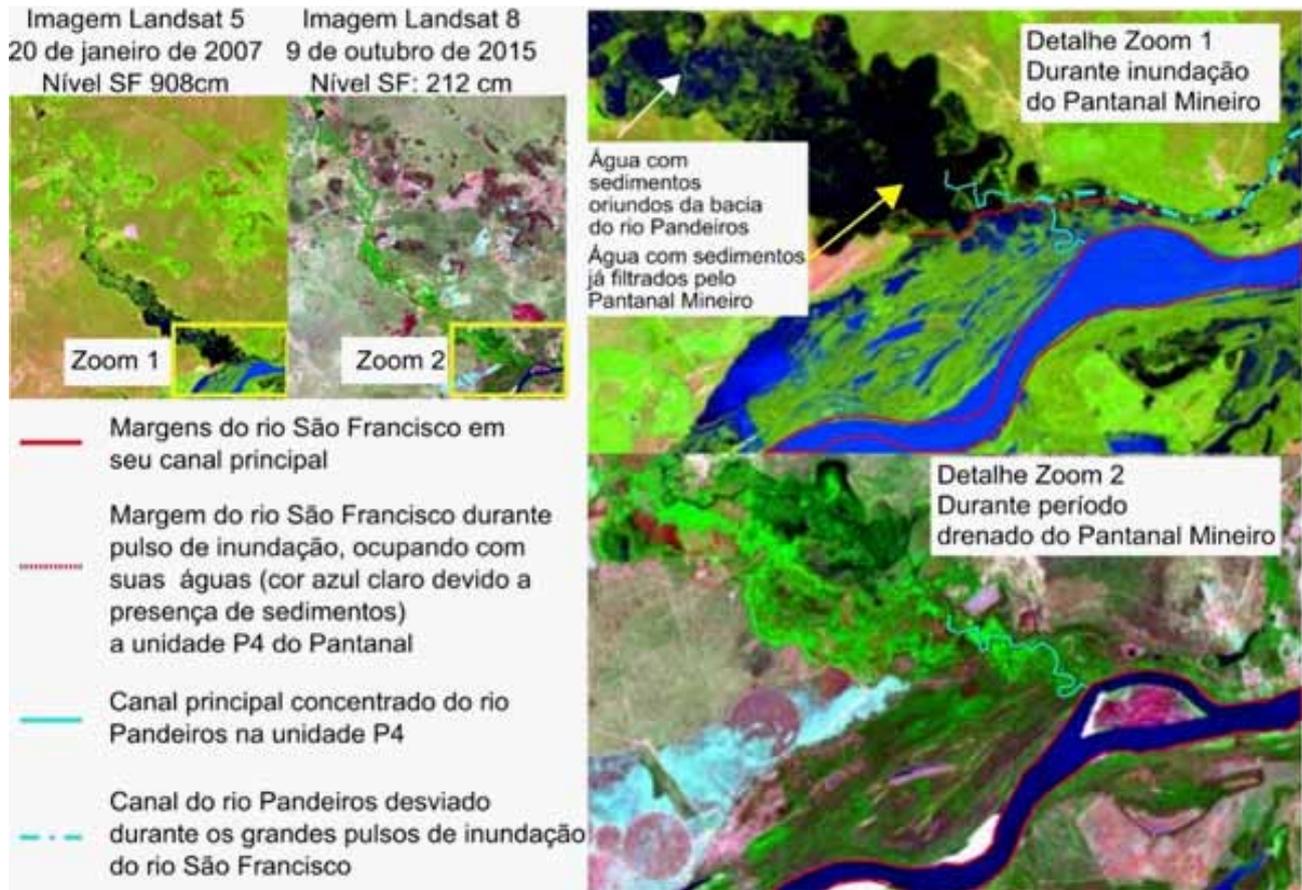
Cotejando esses dois eventos com o mostrado na Cena 2, Figura 3, registrada em 26 de janeiro de 1986, quando o nível do rio São Francisco alcançou 697 cm na mesma estação fluviométrica na qual foram aferidos todos os níveis deste trabalho, é possível observar que não há grande variação lateral na área 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 prestado 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).

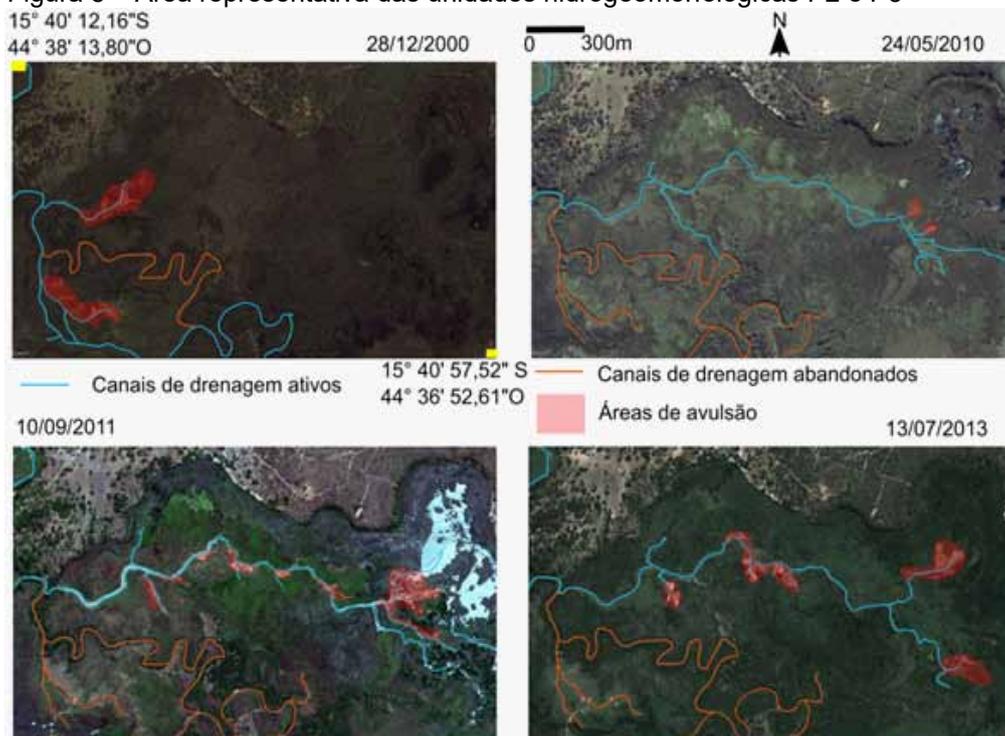
Deve-se ressaltar, portanto, que o excesso de material transportado pode, especialmente em sistemas cíclicos pequenos como o do Pantanal do rio Pandeiros, provocar o assoreamento da área úmida, com grande impacto ambiental, direto e indireto, sobre toda área, chegando a atingir o canal, e o seu entorno,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



Variação espacial e temporal das chuvas na região da bacia do rio Pandeiros, norte do estado de Minas Gerais – Brasil

Carlos Henrique Jardim¹, Felipe Pereira de Moura²

Resumo

O presente artigo analisa aspectos da variabilidade das chuvas na região do rio Pandeiros, norte do estado de Minas Gerais-Brasil, em área de transição de clima tropical semiúmido para tropical semiárido. Foram utilizados dados mensais e anuais de chuva de estações meteorológicas automáticas da rede oficial do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), no período entre 1961-2016. Além de consulta ao material bibliográfico, foram aplicadas técnicas básicas de estatística, de análise climatológica e recursos de geoprocessamento para elaboração das cartas de classes de chuva ou pluviosidade. Os resultados mostraram relação dos totais de chuva com fatores dinâmicos ligados à ação das massas de ar e influência local da altitude e topografia.

Palavras-chave: chuva, variabilidade, topografia, clima tropical.

Abstract

This article analyzes aspects of rainfall variability in the Pandeiros River region, north of the state of Minas Gerais, Brazil, in an area of transition from semi-humid tropical climate to semi-arid tropical climate. Monthly and annual rainfall data from automatic meteorological stations of the official network of the National Institute of Meteorology (INMET) in the period between 1961-2016 were used. In addition to consulting the bibliographic material, basic statistical techniques, climatological analysis and geoprocessing resources for the elaboration of the maps of classes of rain or rainfall. The results showed a relationship between total rainfall and dynamic factors linked to the action of air masses and local influence of altitude and topography.

Keywords: rain, variability, topography, tropical climate.

¹Prof. Associado. Depto. Geografia – Instituto de Geociências – Universidade Federal de Minas Gerais. dxhenrique@gmail.com (carloshj@ufmg.br).

²Bacharel e Licenciado em Geografia, Mestre em Geografia Física. Secretaria de Estado de Educação de Minas Gerais. Governo do Estado de Minas Gerais. felipegeografia@hotmail.com.



Introdução

A importância de pesquisas relacionadas ao meio ambiente, dentro do qual a climatologia se coloca como uma das formas de compreender a realidade, é importante na medida em que propicia elementos para se atuar sobre o ambiente e em formas de utilizá-lo com menor impacto possível (DREW, 1989; CONTI, 2001; MONTEIRO, 2003a). Cidades, empreendimentos agropecuários, aproveitamento de recursos hídricos, planos de manejo em unidades de conservação etc., constam dentre as atividades ligadas à sociedade humana que utilizam esse tipo de conhecimento.

Entretanto, assim como em outras áreas do conhecimento humano, a climatologia possui características próprias e uma delas é o fato de se constituir em um sistema natural, aberto, dinâmico, complexo e adaptativo, de acordo com Monteiro (1975), relacionando-se com outros sistemas e subsistemas naturais e antrópicos e em permanente estado de modificação, ou seja, é possível conhecer o estado inicial do sistema, mas não o seu estado final, impossibilitando a previsão de médio e longo prazo. Isso significa, também, que não é possível desvincular a dinâmica atmosférica de macro e mesoescala dos controles em superfície em microescala ao caracterizar a variação de seus atributos ou elementos (temperatura, chuva, umidade do ar, vento, etc.), e muito menos definir espaços climáticos, no qual vários fatores ou controles atuam como forçantes (altitude, latitude, continentalidade, correntes oceânicas, etc.), imprimindo varia-

ções na dinâmica desses elementos, muitas vezes sob mesmo domínio de atuação das massas de ar.

Considerando essa perspectiva, os componentes de entrada de matéria e energia no sistema (radiação solar e umidade atmosférica, principalmente), os fatores que influenciam na sua distribuição (relevo, uso do solo, massas de ar, correntes oceânicas, etc.) e o resultado final ou produto dessas interações (disponibilidade calorífica e higrométrica do ar nos diferentes ambientes terrestres, recarga hídrica do solo, processos erosivos, etc.), evidenciam-se uma série de impactos ambientais. Esse modelo de representação da realidade foi utilizado por Monteiro (1975; 2003b) e aplicado inicialmente para caracterizar os climas urbanos, embora se ajuste para todo o complexo sistema climático.

Outra especificidade desse sistema refere-se à ordem de grandeza espacial e temporal, ou seja, a delimitação de uma área na superfície terrestre e do intervalo temporal a ser adotado, dependente das características do objeto de estudo (JARDIM, 2012; 2017; RIBEIRO, 1993; MONTEIRO, 1978; 1999; 2000). A título de exemplo, um fenômeno climático como as “ilhas de calor” em áreas urbanas exigiria um desdobramento espacial da dimensão da própria cidade ou inferior (da realidade local de uma metrópole em direção aos microclimas) com duração horário-diária. Por outro lado, a variabilidade interanual das chuvas, objeto deste artigo, deve recorrer ao intervalo de vários anos ou décadas sobre um espaço regional (reunião de várias realidades locais).

E mais do que definir a escala de abran-

gência espacial, deve-se atentar para a articulação entre os diferentes níveis escalares, uma vez que a gênese ou origem de fenômenos e eventos climáticos em escalas inferiores guardam relação direta com aqueles em escalas superiores, o que conduz à adoção de metodologias diferenciadas para compreensão de cada nível escalar desse sistema (RIBEIRO, 1993; JARDIM, 2017). O objeto de estudo trabalhado no decorrer deste artigo constitui-se numa parte importante da pesquisa desenvolvida na região da bacia do rio Pandeiros no norte - noroeste do estado de Minas Gerais financiado pela Fapemig “Projeto APQ-03773-14 Sustentabilidade da Bacia do Rio Pandeiros”, desenvolvido pelo Centro de Desenvolvimento de Tecnologia Nuclear (CDTN) e Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), cuja necessidade em se compreender as variações espaciais e temporais de chuva assume importância destacada, considerando sua proximidade em relação ao semiárido nordestino, a natureza variável desse elemento e os impactos decorrentes sobre sistemas naturais e antrópicos (remanescentes florestais, agricultura, áreas urbanas, etc.).

No tocante à realidade da área estudada, a chuva constitui-se em importante atributo climático descrevendo variações (incluindo desvios e valores extremos) mensais, estacionais e interanuais, assinalando excedentes e déficits em seu total nas diferentes regiões ao longo dos anos (CAVALCANTI *et al.*, 2009; JARDIM; MOURA, 2018).

Dessa forma, o objetivo do presente artigo foi trazer resultados adicionais de pesquisa iniciada em 2014, sintetizados por Silva *et*

al. (2017) e Jardim e Moura (2018), sobre a dinâmica climática na região do rio Pandeiros, no norte-noroeste do estado de Minas Gerais, focando de forma mais detalhada na variabilidade das chuvas. Paralelamente, além do aspecto relacionado à divulgação, este artigo procurou sistematizar a informação coletada sobre a dinâmica local e regional das chuvas, além de contribuir com pesquisas acerca do clima dessa região, ainda disponível de forma pontual e fragmentada.

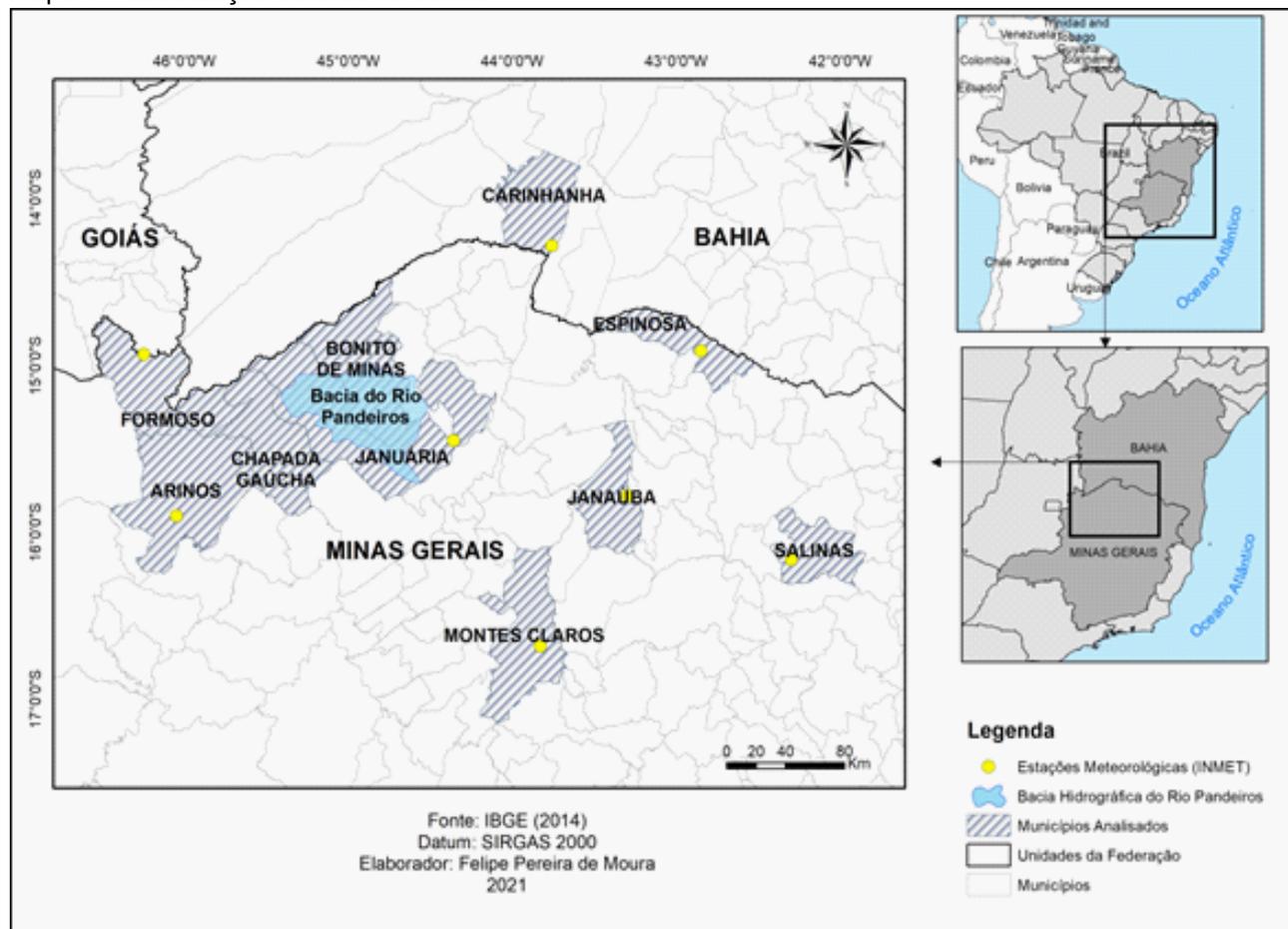
Materiais e métodos

Caracterização da área de estudo

A área de estudo situa-se entre os paralelos 14° e 17°Sul e meridianos 42° e 46° Oeste, no norte-noroeste do estado de Minas Gerais (MAPA 1). Embora a pesquisa inclua a bacia do rio Pandeiros (área de 3940 km²), abrangendo os municípios de Januária e Bonito de Minas, houve necessidade de utilizar estações meteorológicas da região, fora dos limites da bacia do rio Pandeiros, uma vez que grande parte dos processos climáticos que governam esse espaço tem origem fora da referida área, assumindo amplitude regional estreitamente ligada à dinâmica das massas de ar ou sistemas atmosféricos (JARDIM; MOURA, 2018).



Mapa 1 – Localização da área de estudo



Fonte: Elaborado por Felipe Pereira de Moura, baseado na Base cartográfica IBGE, 2014.

Nota: Destaque para a bacia do rio Pandeiros e de municípios situados na região norte-noroeste do estado de Minas Gerais, sede de estações meteorológicas da rede oficial do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

O município de Januária, segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2017b), possui área de 6.661,7 km², população de 65.463 habitantes e economia voltada para o setor de serviços (secundariamente, inclui-se a indústria e agropecuária). O município de Bonito de Minas possui área de 3905 km², 10.797 habitantes e economia baseada na produção de artesanato e agricultura.

A região situa-se no limite entre domínios climáticos e de vegetação representativos do

tropical semiúmido e tropical semiárido (FOTOGRAFIA 1). O primeiro inclui componentes do Brasil Central, sobre áreas planálticas com vegetação de cerrado, volume anual de chuvas superior a 1100 mm sazonalmente distribuídos e concentrados entre os meses de outubro a março, segundo o Departamento Nacional de Meteorologia (DNMET, 1992). As localidades abrangidas por essas condições incluem os municípios de Montes Claros, Arinos e Formoso.

Fotografia 1 – Aspectos ambientais presentes na área de estudo



Legenda: Mata ciliar no baixo vale do rio Pandeiros, no município de Januária:

- 1A) Vegetação de cerrado típico na área planáltica do alto vale do rio Pandeiros, município de Chapada Gaúcha;
- 1B) Área rural com elementos de vegetação natural e manejada de pastagens;
- 1C) Presença de voçorocas;
- 1D) Contato entre a área planáltica e setores rebaixados da vertente entre o alto e o médio vale do rio Pandeiros.

Fotos: JARDIM, C.H.

As localidades geneticamente ligadas ao semiárido nordestino (caso dos municípios de Carinhanha, Espinosa e Salinas), estão instaladas em setores deprimidos das bacias do São Francisco e Jequitinhonha, experimentando redução dos totais de chuva e relativa irregularidade em sua distribuição ao longo do ano.

Conforme Nimer (1989), a área assinala transição do clima “Tropical Quente Semi-úmido” com 04-05 meses de seca, para o “Tropical Quente Semiárido”, com 06 meses

de seca, verificando-se paulatina redução dos totais de chuvas de ≤ 1300 mm para ≤ 800 mm na faixa de transição para o semiárido nordestino.

As médias anuais de chuva e temperatura, de acordo com dados das Normais Climatológicas 1961-1990 (DNMET, 1992), indicam para o município de Januária total anual de 826,5 mm (concentrados entre outubro e março), mês mais chuvoso em dezembro (174,1 mm) e mais seco em junho (1,5 mm); indicam também a temperatura média anual de 24,4°C

com mês mais quente em outubro (26,1°C) e mais frio em julho (21,2°C). O relevo é plano-ondulado, com baixo grau de entalhamento dos vales e chapadões nas áreas de cabeceiras a oeste da foz do rio Pandeiros. As altitudes variam entre 400 m a 900 m.

Coleta e análise de dados

Inicialmente foram consultados dados das Normais Climatológicas referente ao período de 1961-1990 (DNMET) (1992) e as Normais Climatológicas Provisórias 1980-2010 (INMET, 2022a), tanto na caracterização da área de estudo quanto para se obter um perfil de representação geral do clima na região.

Posteriormente, utilizaram-se dados das séries anuais para o período entre 1964-2016 obtidas das estações meteorológicas automáticas e convencionais (INMET), acessando o Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) no site dessa instituição (INMET, 2022b). Os dados acessados correspondem às estações meteorológicas situadas nos municípios de Arinos, Espinosa, Formoso, Janaúba, Januária, Montes Claros e Salinas no estado de Minas Gerais e Carinhanha no estado da Bahia, com o objetivo de analisar a variabilidade mensal e anual das chuvas.

A consistência dos dados foi verificada eliminando-se os anos com mais de dois meses sem registro de qualquer valor de chuva. Nos anos com um ou dois meses sem dados substituiu-se o valor ausente pela média simples aritmética daquele mês, obtida da série temporal disponível, incluindo os valores de 0,0 mm eventualmente registrados para aquele dado mês. Lembrando que 0,0 mm

é um efetivo, que não deve ser confundido com ausência de dado. Esses dados foram tabulados e trabalhados através de procedimentos estatísticos básicos, utilizando-se do software Microsoft Excel (versão 2010).

Com os dados obtidos foram elaborados tabelas e gráficos referentes ao acumulado de precipitação, cujos dados foram utilizados na construção das cartas de classes de chuva ou pluviosidade, com base nas médias anuais e valores trimestrais (dez., jan., fev.; mar., abr., mai.; set., out., nov.). O trimestre de junho-julho-agosto não foi incluído, uma vez que se trata do período de estiagem na região (com totais de chuva próximas a 0,0 mm). O valor das classes dos totais de chuva adotado no mapeamento não contempla os valores de chuva no trimestre seco, muito inferiores a 50 mm, ou seja, uma única classe abrangeria espacialmente toda a área de estudo.

Na elaboração dos mapas de distribuição da precipitação na região norte-noroeste do estado de Minas Gerais utilizou-se o software ArcGis em sua versão 10.5. Esse software se caracteriza como um sistema de informação geográfica que possibilita a criação, gerenciamento, compartilhamento e análise de dados espaciais, através de uma infraestrutura que possibilita a busca de informações geográficas e a criação de mapas.

Os valores médios de precipitação anual e mensal foram obtidos através das séries históricas de precipitação e georreferenciados com base na localização das estações meteorológicas. Foi utilizada a técnica de interpolação Inverso da Distância Ponderada – IDP, também denominada Inverse Distance Weighted (IDW). A sobreposição das camadas

médias com os limites municipais teve como intuito uma melhor visualização da região para o observador, sem que esses limites fizessem parte do processo de cálculo da interpolação.

A interpolação é um processo matemático que permite estimar valores de uma variável específica com base em dados pontuais para uma área sem dados, gerando uma superfície contínua que represente sua distribuição (FARIAS *et al.*, 2017). A escolha do método seguiu duas etapas.

Primeiramente foi analisada a bibliografia relacionada ao tema verificando-se em alguns trabalhos a relevância do uso do método IDP frente aos demais, como a Krigagem e Curvatura mínima, cuja comparação, de acordo com Farias *et al.* (2017) a partir de dados de precipitação na região do litoral sul do estado do Rio de Janeiro, observaram que o IDP apresentava os menores erros no processo de validação. Resultado também compartilhado por Magalhães *et al.* (2013) em pesquisa similar no norte do estado do Espírito Santo, comparando os métodos de Krigagem, IDP, Curvatura Mínima e Tendência, com menor erro e índice de concordância próximo a 1.

A segunda etapa consistiu na execução do processo de interpolação, utilizando os interpoladores IDP, Krigagem e Kernel, para comparar os resultados e validar a escolha. Neste processo, o IDP ofereceu melhor desempenho e um resultado visual mais apurado, em relativa conformação com o relevo e com as análises realizadas. Conforme Amorim (2009, p.2) “o IDP é um estimador determinístico de valores não amostrais a partir de uma combinação linear de valores de pontos conhecidos, ponderados por uma

função da distância”. Neste método, é considerado que pontos próximos dos locais que não tem amostra são mais representativos em comparação aos pontos mais afastados, levando a ponderação a mudar em razão da distância linear das amostras em relação aos pontos não amostrados.

Conforme Vargas *et al.* (2018, p.40), a ferramenta IDP “prediz um valor para algum local não medido utilizando-se os valores amostrados à sua volta, que terão maior peso do que os valores mais distantes, ou seja, cada ponto possui uma influência no novo ponto, que diminui na medida em que a distância aumenta”. A finalidade desse procedimento com a elaboração das cartas de classes de chuva foi produzir informações espaciais indicativas da natureza e organização do objeto de estudo.

Esses dados foram analisados de forma comparativa, considerando informações climáticas da região obtida de referências bibliográficas, Nimer (1989); Cavalcanti *et al.* (2009); Jardim (2019); Jardim e Moura (2018, 2019); Borsato (2016); Silva *et al.* (2017); Silva e Jardim (2019a, 2019b), com base na relação entre a dinâmica das massas de ar com as características do relevo (altitude, topografia, orientação dos vales dos rios principais, etc.) e uso do solo.

Resultados e discussões

Inicialmente, a análise comparativa das médias das séries históricas dos dados de chuva para o período de 1964-2016 dos oito municípios selecionados, ocorreu a partir de dados das Normais Climatológicas 1961-1990,



DNMET (1992) e das Normais Climatológicas Provisórias 1981-2010, INMET (2022a), o que permitiu a identificação de variações importantes entre as localidades no tocante às características desse atributo.

Os municípios com os maiores valores de médias observadas na Tabela 1 e Gráfico 1 foram Formoso, Arinos e Montes Claros que, de acordo com trabalhos de Sant'Anna Neto (2005), utilizando mapeamento da distribuição das chuvas na região sudeste do país, destacam maiores totais de chuva sobre essa

região em razão da localização e maior intensidade de atuação da Zona de Convergência de Umidade e da Zona de Convergência do Atlântico Sul ³(ZCOU e ZCAS), com orientação noroeste-sudeste, bem como pela recorrência, de acordo com Cavalcanti *et al.* (2009) de formação de Linhas de Instabilidade (LI), associadas à perturbações dinâmicas pelo avanço Sistemas Frontais (SF) e aquecimento diferencial oceano-continente.

Tabela 1 – Totais de chuva (mm): mediana e média (1964-2016), dados das Normais Climatológicas (1961-1990) e Normais Climatológicas Provisórias (1981-2010)

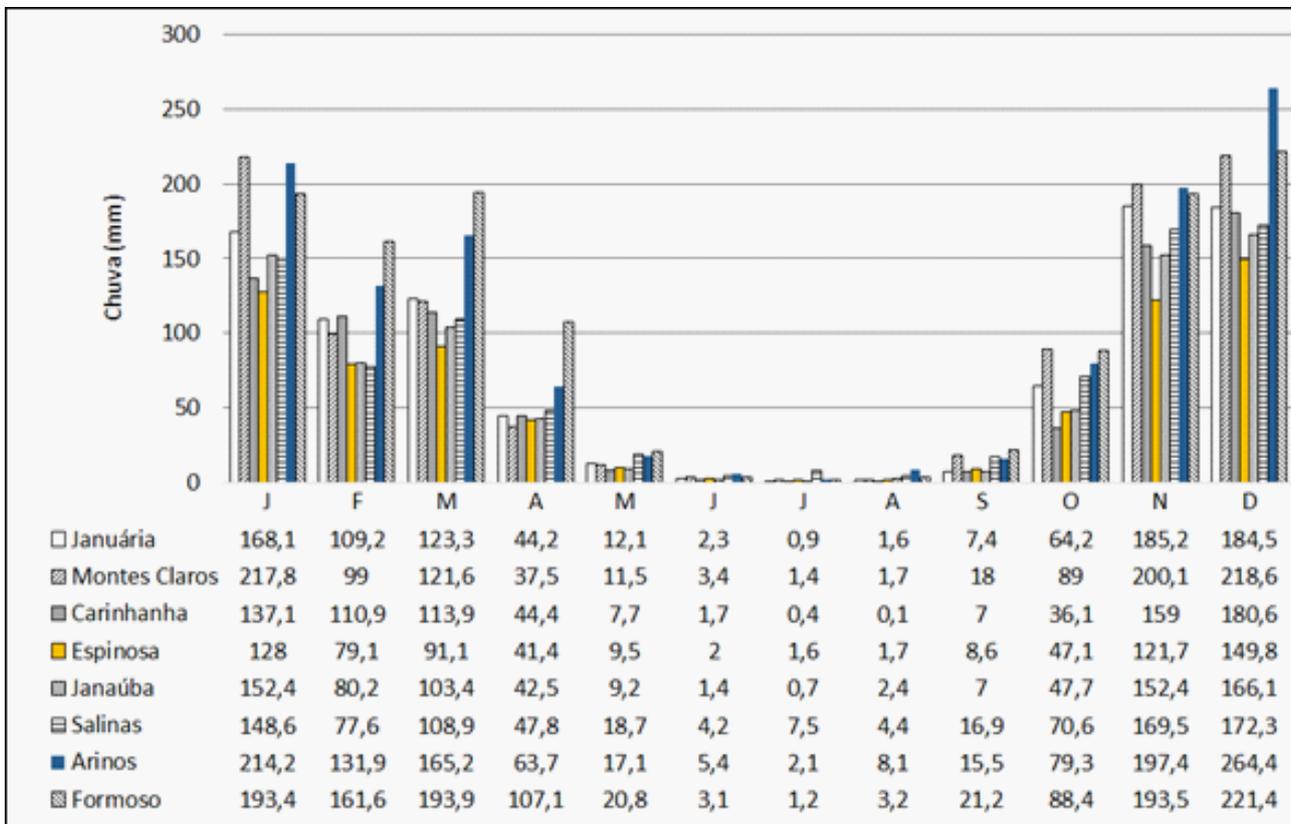
	Mediana (1964-2016)	Média (1964-2016)	Normal Climatológica (1961-1990)	Normal Climatológica Provisória (1981-2010)
Januária	778,2	903,0	826,5	948,3
Montes Claros	833,7	1019,6	1086,4	1086,4
Carinhanha	672,5	798,9	813,7	757,6
Espinosa	540,0	681,7	745,0	739,6
Janaúba	601,3	765,3	-	780,7
Salinas	700,3	847,1	846,1	877,2
Arinos	1079,8	1164,5	1275,2	1180,6
Formoso	1120,3	1208,7	1176,0	1225,7

Fonte: Elaborado pelos autores, 2019.

³Este termo refere-se a um conjunto de massas de ar caracterizadas por instabilidade atmosférica, com nebulosidade variável e chuvas, incluindo a Convecção Tropical (CV), Sistemas Convectivos e Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM) e Linhas de Instabilidade (LI), organizados dinamicamente pelo Sistema Frontal do Atlântico (SFA), posicionada no centro no Atlântico Sul em latitude subtropical. O termo "massa de ar" refere-se a volumes turbilhonares de ar de dimensões variáveis de ordem subcontinental (centenas de milhares a alguns milhões de km²) e podem ser classificadas de acordo com suas características dinâmicas ligadas geneticamente a áreas de alta pressão anticiclônicas (movimento descendente, estável e nebulosidade escassa) e baixa pressão ou ciclônicas (movimento ascendente, instável e nebulosidade variável). A área de origem da massa de ar também é outro fator importante para sua classificação, podendo ser de origem equatoriais (formam-se em latitudes equatoriais), tropicais (formam-se entre os trópicos de Câncer e Capricórnio) e extratropicais (formam-se em latitudes médias temperadas, subpolares e polares). Para informações detalhadas há vários manuais de climatologia e meteorologia disponíveis, dentre os quais pode-se destacar Ayoade (1991), Cuadrat e Pita (2004) e Barry e Chorley (2013).



Gráfico 1 – Totais médios mensais de chuva (mm) para o período de 1961-2016



Fonte: Elaborado pelos autores, 2019.

Nimer (1989) destaca a influência das Linhas de Instabilidade (LI) com maior intensidade no decorrer do verão, em função, principalmente, do aquecimento do continente e consequente redução dos valores de pressão atmosférica e do movimento ondulatório ao longo da frente polar no seu contato com o ar quente da zona tropical. A atuação desses sistemas desencadearia chuvas e ventos vindos de oeste a noroeste, produzindo chuvas sobre os estados do Mato Grosso, Goiás e Minas Gerais.

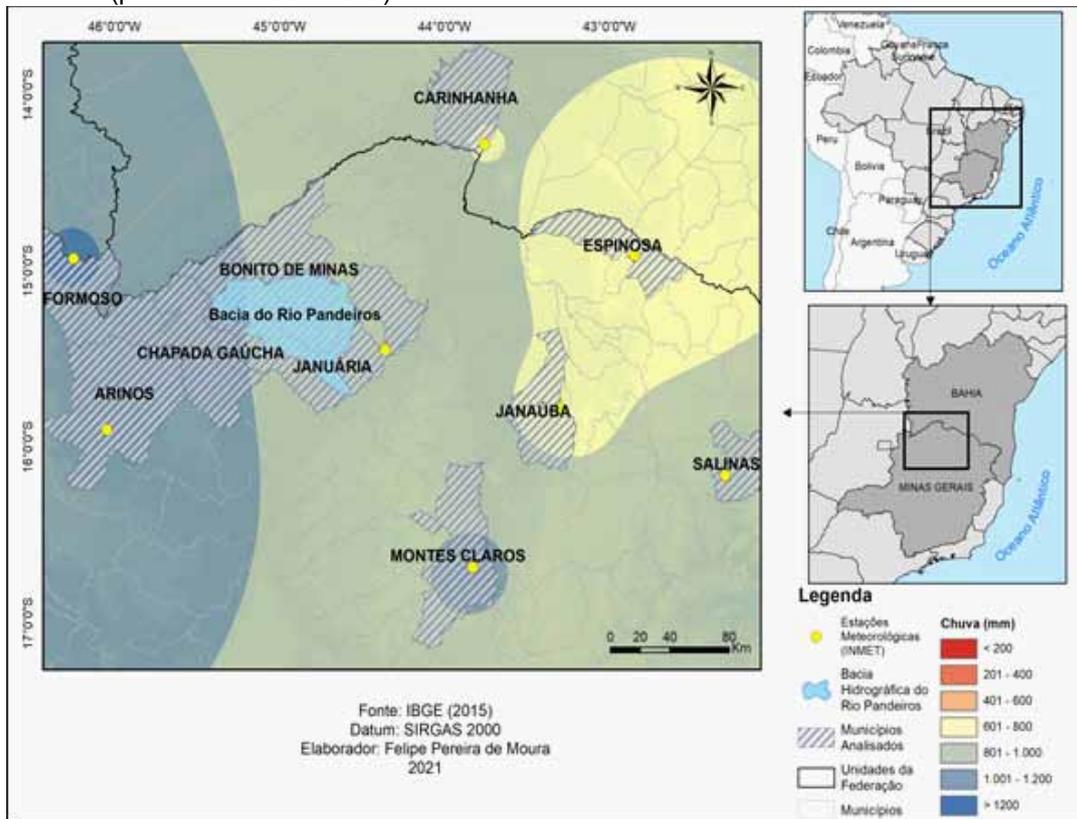
As características da Massa Equatorial

Atlântica (mEa), quente e estável, com origem no ramo descendente do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) em paralelo à Zona de Convergência Intertropical⁴ (ZCIT), contribui para a estabilidade do ar, atenuando a convecção do ar e formação de nebulosidade, o que reduz o impacto das chuvas nas demais localidades, principalmente em Januária, Carinhanha, Espinosa, Janaúba e Salinas, como pode ser verificado nos dados dos totais anuais, Tabela 1, mensais, Gráfico 1, assim como na espacialização das chuvas (MAPAS 2 a 5).

⁴O Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) constitui-se em um centro de ação anticlinal de alta pressão, com movimento turbilhonar descendente do ar, posicionado no Atlântico Sul em latitude subtropical ($\pm 30^\circ$ Sul). A partir desse centro de ação de circulação primária (macroescala), tem origem várias massas de ar que forma a circulação secundária (mesoescala): a porção que forma os ventos Alísios do hemisfério sul e norte convergem ao longo do equador térmico formando a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), de natureza instável com temperatura elevadas, nebulosidade e chuvas; outra porção se movimento paralela a ZCIT origina a Massa Equatorial do Atlântico (mEa) estável e quente; outra porção avança para latitudes tropicais e forma a Massa Tropical do Atlântico (mTa), também quente e estável; outra parcela da ASAS, em contato com a Massa Polar do Atlântico (mPa) forma o Sistema Frontal do Atlântico, com movimento ascendente, instável, nebulosidade, chuvas e temperaturas em declínio, antecipando a entrada da mPa de origem em latitude subpolar.

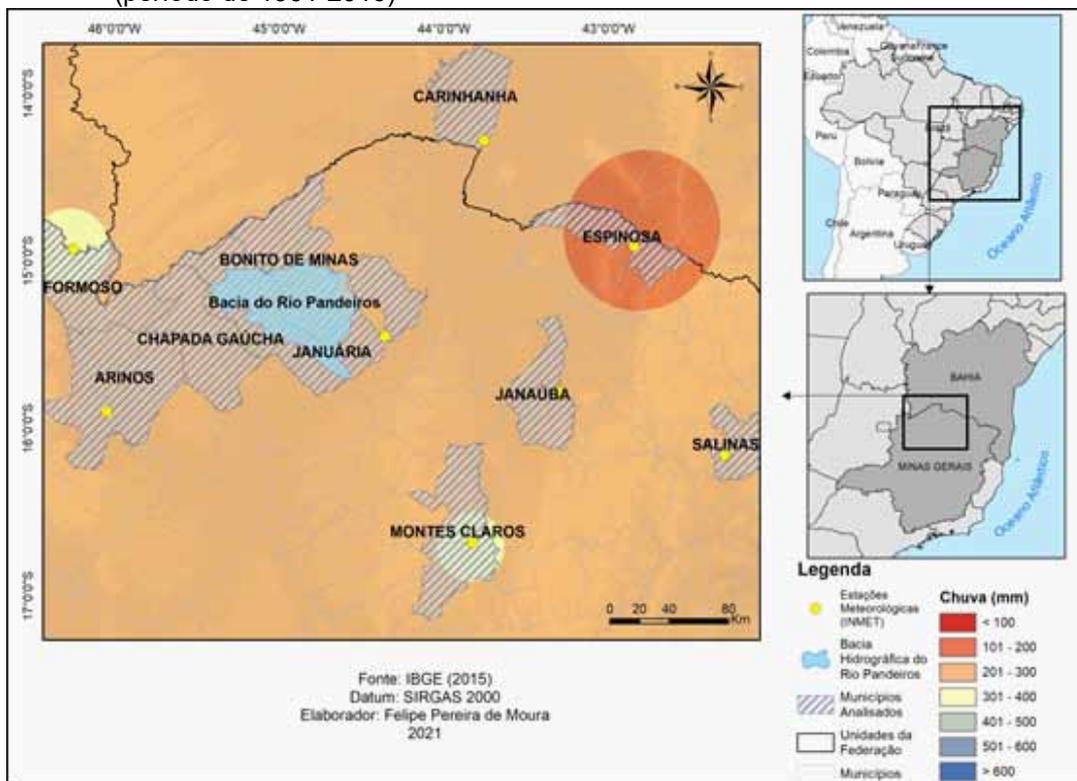


Mapa 3 – Variação média dos totais de chuva para o trimestre de setembro, outubro e novembro (período de 1961-2016)



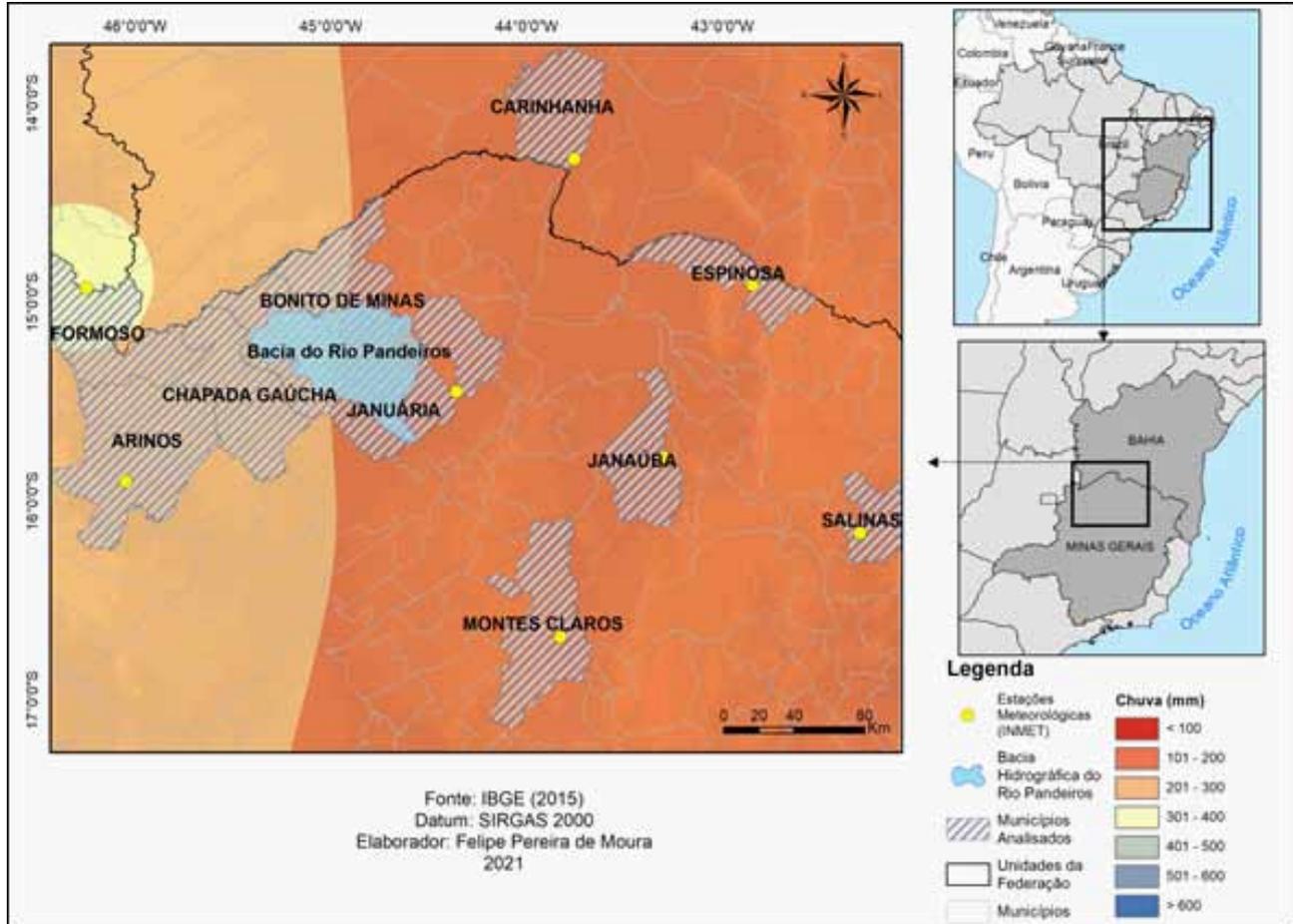
Fonte: Base cartográfica do IBGE (2014). Elaborado por Felipe Pereira de Moura.

Mapa 4 – Variação média dos totais de chuva para o trimestre de dezembro, janeiro e fevereiro (período de 1961-2016)



Fonte: Elaborado por Felipe Pereira de Moura, baseado na Base cartográfica IBGE, 2014.

Mapa 5 – Variação média dos totais de chuva para o trimestre de março, abril e maio (período de 1961-2016)



Fonte: Elaborado por Felipe Pereira de Moura, baseado na Base cartográfica IBGE, 2014.

De acordo com Borsato (2016), a atuação dessa massa de ar (mEa), extensão dos Alísios de Sudeste e geneticamente ligado ao fluxo descendente de ar quente e estável do ASAS, está associada ao período de seca no nordeste, norte de Minas Gerais e porção nordeste da região centro-oeste brasileira. A mEa acompanha os ventos de leste no setor que converge para o equador através dos Alísios, mas sem se integrar a faixa de instabilidade da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT).

No caso do município de Montes Claros, em função da sua localização geográfica ao sul da área de estudo, Mapas 2 a 4, a produção de chuvas associada à influência

de sistemas frontais (de origem subpolar) é maior do que nas demais localidades. Esses sistemas se descaracterizam (fase de dissipação da frente fria) na medida em que avançam para latitudes mais próximas ao equador. A partir daí a Massa Equatorial do Atlântico (mEa) assume importância crescente em termos de frequência, influenciando o Nordeste do Brasil e o norte do estado de Minas Gerais com condições de tempo quente e estável.

Essas condições, de acordo com informações de Cavalcanti *et al.* (2009), são substituídas por condições de tempo instáveis pela atuação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e instabilidades locais



associadas à Convecção Tropical (CV) decorrentes do forte aquecimento da superfície continental, além de distúrbios secundários como os Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM), Linhas de Instabilidade (LI) e influência das Ondas de Leste que acompanham a ZCIT.

Montes Claros, assim como Janaúria, também está situado em área de relevo deprimido no vale do rio São Francisco, o que contribui para elevação da temperatura e aumento do potencial evaporativo do ar, com repercussões negativas no volume de precipitação, inferiores às médias de Formoso e Arinos (TABELA 1).

Espinosa e Janaúba, Mapas 2 a 5, mostram menores valores de precipitação para o período de 1964-2016. O município de Espinosa faz fronteira com o sudoeste do estado da Bahia, sendo cortado pela Serra do Espinhaço, situando-se na vertente oeste. Carinhanha também apresenta um dos menores valores de precipitação anual, com média de 798,9 mm, localizada à sudoeste do estado da Bahia na divisa com o norte de Minas Gerais.

As referidas localidades compartilham aspectos comuns em termos de ambiente, instaladas em diferentes patamares no interior do vale do rio São Francisco, ladeada por dois grandes divisores, tendo a leste a Serra do Espinhaço, que separa o São Francisco das bacias hidrográficas que drenam para o Atlântico, e a oeste o Chapadão Ocidental da Bahia, separando a bacia do São Francisco da bacia Araguaia-Tocantins. De forma geral, os vales dos rios constituem-se

em áreas de menor altitude com maior grau de confinamento do ar, o que desfavorece a dissipação de calor, além de favorecer a circulação induzida pelo relevo (canalização, estagnação e formação de ventos anabáticos e catabáticos), criando ou reforçando núcleos locais de alta pressão e sombras de chuva.

Kayano e Andreoli (2009) argumentam que os Sistemas Frontais, de ampla penetração continental, são importantes fenômenos geradores de precipitação durante o período úmido, entre a primavera e verão no sul do nordeste brasileiro, atingindo máxima precipitação entre novembro a março com pico em dezembro no sul do Nordeste, que interagem com a convecção local, justificando o valor das classes de pluviosidade em Montes Claros, geneticamente mais próximos daqueles na localidades com maiores valores de chuva (MAPAS 4 e 5). A interação dos SF com a mEc, LI e distúrbios secundários (CCM e CV), definem uma faixa de nebulosidade entre as latitudes 15°S e 20°S, disposta de noroeste para sudeste, originando a Zona de Convergência do Atlântico Sul ou ZCAS (KAYANO e ANDREOLI, 2009).

Os totais de chuva nos municípios de Janaúria e Salinas apresentaram valores intermediários em relação ao conjunto dos dados, com médias de precipitação de 903,0 mm e 847,1 mm, respectivamente, justificando sua posição em área de transição climática. De acordo com o Diagnóstico Ambiental da Bacia do Rio Jequitinhonha, elaborado pelo IBGE (2017a), o município de Salinas possui características climáticas semelhantes

aos dos municípios semiáridos do vale do Jequitinhonha.

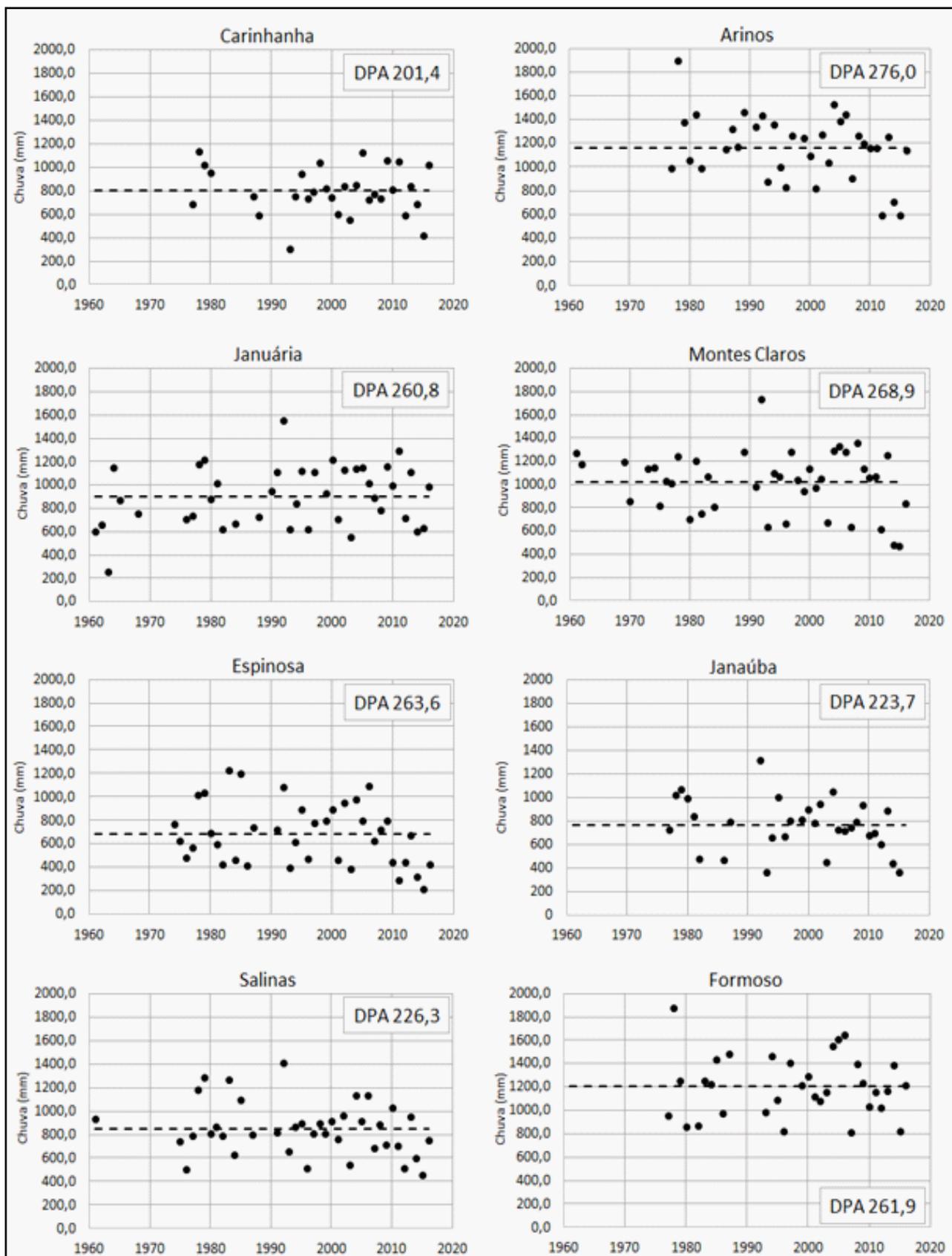
Segundo Nimer (1989), nas regiões norte-nordeste do estado de Minas Gerais, englobando parte do sudeste brasileiro na divisa com o estado da Bahia, abrange o que o autor denomina de “semiárido brando”, onde se observa a participação de linhas de instabilidade como principal sistema de produção de chuvas, considerando a baixa frequência dos Sistemas Frontais. Monteiro (1969) menciona a designação de “Frente Polar Reflexa” para as LI relacionadas a perturbações dinâmicas induzidas pelo avanço dos Sistemas Frontais de sul.

O conjunto dos dados destacam características pluviométricas típicas de regime tropical, com concentração de chuva em determinado período, neste caso o trimestre de novembro-dezembro-janeiro, alternado por período seco nos meses de junho-julho-agosto.

A dispersão temporal dos dados de chuva é fator indicativo da variabilidade das chuvas (JARDIM e MOURA, 2018). De acordo com o Gráfico 2, os dois casos mais extremos estão representados pelas localidades de Carinhanha-BA, com menor valor de desvio padrão amostral (201,4), e Arinos-MG com maior valor (276,0), indicativos, respectivamente, de menor e maior variabilidade climática. Essa constatação, de acordo com os autores supracitados, é significativa para os sistemas antrópicos (abastecimento urbano e agropecuária), dependentes do insumo de água no sistema.



Gráfico 2 – Gráficos de dispersão com respectivos valores dos totais anuais de chuva (ponto), valores de Desvio Padrão Amostral (DPA) e média aritmética (linha tracejada) para cada uma das localidades da área de estudo



Fonte: Elaborado por Carlos Henrique Jardim.



Fatores atmosféricos atuantes na região, relacionados à dinâmica das massas de ar, destacam-se como causa principal das irregularidades na distribuição das chuvas durante o ano. De acordo com Silva *et al.* (2017), a ação das massas de ar está sujeita a variações em sua trajetória, frequência e intensidade de atuação e abrangência espacial ao longo do tempo.

O período seco registra ação dominante do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) e de seu desdobramento em Massa Tropical Atlântica (mTa) e Massa Equatorial do Atlântico (mEa). Caracterizado pela subsidência do ar e aumento da pressão atmosférica em superfície, cuja ação atenua ou bloqueia a participação de sistemas atmosféricos ligados à instabilidade atmosférica (núcleos de baixa pressão) e desencadeamento de chuvas, repercutindo muitas vezes em drástica redução dos totais de chuva como ocorreu em 2014 no episódio conhecido como “crise hídrica”, conforme Jardim (2015) e Marengo *et al.* (2015), afetando principalmente o sudeste brasileiro, região economicamente dinâmica e, portanto, dependente do recurso hídrico.

A gênese das chuvas no Nordeste e Centro-Sul do Brasil, conforme destaca Tarifa (1994) está ligada à dinâmica das massas de ar e, portanto, por mecanismos essencialmente dinâmicos, caracterizados por irregularidades e desvios em relação às médias.

Ainda no tocante à variabilidade das chuvas dessa região, de acordo com Silva *et al.* (2017), por meio de análise estatística e classificação de dados por meio da técnica de “Diagrama de Caixa” (“Box Plot”), aplicada às séries de chuva de Belo Horizonte,

Sete Lagoas e Januária (os dados são separados pelo valor da mediana, que separa a caixa central, com prolongamentos superior e inferior definindo máximos e mínimos), os valores extremos (“outliers”) representariam 5% desses dados, definido conforme critérios de Galvani e Luchiarri (2012), além de identificarem maior recorrência de desvios positivos e negativos nos meses de novembro, dezembro e janeiro, sendo 35% dos meses classificados como “seco” em Januária para o período entre 1961-2014 (período utilizado na análise para os três municípios), enquanto para Belo Horizonte o percentual detectado foi de 29,6% e em Sete Lagoas de 25,3%.

Esses resultados também encontram respaldo nas considerações de Jardim e Moura (2018), considerando a integração de resultados em diferentes escalas espaciais, incluindo dados de chuva e de natureza microclimática coletados na bacia do rio Pandeiros em Januária e Bonito de Minas, a partir de postos instalados em área de mata ciliar, remanescente de cerrado com predomínio de espécies arbóreas e pastagem (manejada) e dados locais de totais de chuva da rede de pluviômetros instalada na referida bacia para o período de 2015 a 2016, além de dados das estações meteorológicas da rede oficial do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) (período entre 1961-2017).

Apesar de não identificarem tendências e correlações nas séries temporais de longo prazo, tanto na variabilidade das chuvas quanto na temperatura, os resultados da análise microclimática indicaram evidente relação entre a cobertura vegetal alterada pela atividade agropecuária na variação da tempera-



tura do ar, favorecendo a produção de calor sensível em área naturalmente excedentária em termos de balanço calorífico, podendo forçar localmente a elevação das temperaturas diurnas e, conseqüentemente, do potencial evaporativo do ar (TARIFA, 1994).

O referido artigo de Jardim e Moura (2018), também confirma o papel do relevo como controle na variação local e regional das chuvas, com totais mais elevados na área planáltica no setor oeste da bacia do rio Pandeiros, com potencial para aumentar o impacto erosivo em áreas desprovidas de cobertura vegetal e elevado grau de declividade do terreno. A presença de inúmeras voçorocas conforme descreve Lima *et al.* (2019) é indicativo dessa realidade.

A pesquisa de Silva e Jardim (2019ab), sobre a dinâmica climática no noroeste do estado de Minas Gerais, incluiu parte das mesmas estações meteorológicas utilizadas por Jardim e Moura (2018) e confirmou a influência do relevo e da dinâmica das massas de ar nas variações locais e regionais dos atributos climáticos, qualificando a separação entre o clima da região do Brasil Central (tropical semiúmido) daquela do semiárido nordestino (tropical semiárido) entre Arinos e Januária, utilizada para elaboração da proposta preliminar de compartimentação climática da região.

Considerações finais

As variações detectadas na distribuição espacial e temporal das chuvas, de abrangência local e regional, remetem, inevitavelmente, a questões sobre disponibilidade hídrica (ex-

cedente ou déficit), considerando a variação temporal desse atributo no estado de Minas Gerais. Entretanto, isso deve ser relativizado, ou seja, o aproveitamento desse recurso pode ser maximizado adotando-se práticas conservacionistas em consonância à utilização de tecnologias voltadas para esse fim. No estado da Califórnia (Estados Unidos da América), por exemplo, registram-se totais anuais de chuva (≤ 350 mm/ano) inferiores àqueles registrados no nordeste brasileiro e norte do estado de Minas Gerais e, no entanto, coloca-se como uma das maiores economias daquele país, inclusive em termos de produção agrícola, ao maximizar a captação de água de chuva, assim como daqueles provenientes de outras fontes, como a dessalinização de água do mar (FISCHETTI, 2007).

Outro aspecto importante refere-se à conservação da vegetação natural sobre porções do espaço, pois, embora não se constitua em fator capaz de influenciar no total e na variabilidade das chuvas, a presença de vegetação afeta a disponibilidade hídrica no solo, aumentando o seu tempo de permanência no ambiente (TARIFA, 1994; BONAN, 2008).

Embora este artigo não tenha privilegiado aspectos locais de variação dos atributos climáticos, alvo de artigos anteriores como Jardim e Moura (2018); Jardim (2019); Jardim *et al.* (2019), essas variações podem ser verificadas em toda a região. Conforme os autores citados, foi verificado na bacia do rio Pandeiros valores superiores de precipitação na estação meteorológica da Chapada Gaúcha com 1028,9 mm (altitude: 873 m) e menor em Januária com 898,3 mm (altitude: 468 m), para o período entre 2008 e 2018. A

altitude e a topografia aumentam a turbulência mecânica do ar e, conseqüentemente, a convecção do ar (ascendência da parcela de ar), acompanhado de resfriamento adiabático, formação de nuvens e precipitação pelo efeito orográfico.

Do ponto de vista ambiental, os totais mais elevados de chuva nos setores de maior altitude e declividades na bacia hidrográfica do rio Pandeiros podem contribuir de forma adicional, sobre amplas superfícies desmatadas, para o desenvolvimento de processos erosivos, visíveis atualmente conforme destaca trabalho de Lima *et al.* (2019), na forma de extensas voçorocas nesse setor da bacia como fora mencionado.

Referências

- AMORIM, R. C. F. **Espacialização de variáveis meteorológicas combinando informações de imagens de satélites com técnicas de interpolação para o Estado de Minas Gerais**. 2009. 103 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.
- BARRY, R. G; CHORLEY, R. J. **Atmosfera, tempo e clima**. 9 ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.
- BONAN, G. **Ecological climatology: concepts and applications**. 2.ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2008.
- BORSATO, V. **A dinâmica climática do Brasil e massas de ares**. Curitiba-PR: Editora CRV, 2016.
- CAVALCANTI, I. F. A; FERREIRA, N. J; SILVA, M. G. A. J; DIAS, M. A. F. S. **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.
- CENTRO DE DESENVOLVIMENTO DA TECNOLOGIA NUCLEAR (CDTN); UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS. Instituto de Geociências (UFMG). **Relatório Final do Projeto Sustentabilidade da Bacia do Rio Pandeiros-MG: dinâmica de vertentes da bacia do Rio Pandeiros**. 2020. Disponível em: <https://www.igc.ufmg.br/geografia/pos-graduacao-em-geografia/relatorios-e-produtos-tecnicos/>. Acesso em: 29 nov. 2022.
- CONTI, J. B. Resgatando a fisiologia da paisagem. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n.14, p.59-68, 2001.
- CUADRAT, J. M; PITA, M. F. **Climatología**. 3. ed. Madrid: Cátedra, 2004.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. (DNMET) **Normais Climatológicas (1961- 1990)**. Brasília-DF, Embrapa, 1992.85 p.
- DREW, D. **Processos interativos: homem-meio-ambiente**. 2.ed. São Paulo: Bertrand Brasil, 1989.
- FARIAS, O. G.; FRANCISCO, C. N.; SENNA, M. C. A. Avaliação de métodos de interpolação espacial aplicados à pluviosidade em Região Montanhosa no Litoral Sul do Estado Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.21, p.172-185, 2017.
- FISCHETTI, M. Água doce que vem do mar. **Scientific American Brasil**, n.65, out./2007.
- GALVANI, E., LUCHIARI, A. Critérios para a classificação de anos com regime pluviométrico normal, seco e úmido. *In*: GALVANI, E., LIMA, N.G.B. (*Orgs*), **Climatologia aplicada: resgate aos estudos de caso**. Curitiba: Editora CRV, 2012.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Diagnóstico ambiental da Bacia do Rio Jequitinhonha**. 1997. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/recursosnaturais/diagnosticos_levantamentos/ Acesso: 07 jan. 2017 a.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Cidades**. 2016. Disponível em: <http://www.cidades.ibge.gov.br/v3/cidades/municipio/3167202>. Acesso em 17 de abril de 2017b.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Normais climatológicas provisórias: 1981-2010**. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/normais> Acesso em: 27 nov. 2022a
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Banco de Dados Meteorológicos - BDMEP**. Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br/> Acesso em: 27 nov. 2022b.
- JARDIM, C. H. “Médias” e “desvios” na análise



geográfico-climatológica: o episódio de chuva concentrada do dia 23 de novembro de 2010 e o veranico de janeiro/fevereiro de 2011 em Belo Horizontes - MG. **Geografias**, Belo Horizonte, v.8, n.2, p.35-49, jan-jun. 2012.

JARDIM, C. H. Crise hídrica no Sudeste do Brasil: aspectos climáticos e repercussões ambientais. **Tamoios**, São Gonçalo (RJ), v. 11, n.2, p.67-83, jul./dez. 2015.

JARDIM, C. H. Aspectos teórico-metodológicos relativos à dimensão temporal e espacial do clima. **Geografias**, v.14, n.1, p.82-95, 2017.

JARDIM, C. H. Uso da terra e variações da temperatura e umidade relativa do ar no baixo vale do rio Pandeiros, Januária-MG. In: PINHEIRO, L. S.; GORAYEB, A. (Org.). **Geografia física e as mudanças globais**. Fortaleza-CE: Editora da Universidade Federal do Ceara- UFC, 2019, v. 1, p. 1060-1070.

JARDIM, C. H.; MOURA, F. P. Variações dos totais de chuvas e temperatura do ar na bacia do rio Pandeiros, norte do estado de Minas Gerais-Brasil: articulação com fatores de diferentes níveis escalares em área de transição climática de cerrado para semiárido. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.1, p.168-189, 2018.

JARDIM, C. H.; MOURA, F. P.; BANDEIRA, J. V.; SALIM, L. H.; CHAGAS, C. J. Variabilidade das chuvas na bacia do rio Pandeiros, Januária-MG: o período de 2008-2018. In: PINHEIRO, L. S.; GORAYEB, A. (Org.). **Geografia física e as mudanças globais**. Fortaleza-CE: Editora da Universidade Federal do Ceará-UFC v. 1, 2019, p. 1416-1427.

KAYANO, M. T.; ANDREOLI, R. V. Clima da Região Nordeste do Brasil. In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N.J.; SILVA, M. G. A. J.; DIAS M. A. F. S. (Org.). **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009, v. 1, p. 213-233.

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. DE S.; GORAYEB, A. (Org.). **Geografia física e as mudanças globais**. Fortaleza-CE: Editora da Universidade Federal do Ceará-UFC 2019, v. 1, p. 512-524.

MAGALHÃES, I. A. L.; ALMEIDA, K. L.; THIAGO, C. R.L.; GARDIMAN JUNIOR, B. S.; ZANETTI, S. S.; CECÍLIO, R. A. Análise de métodos de interpolação para espacialização da precipitação pluvial na região norte do estado do Espírito Santo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO

– SBSR, 16., Foz do Iguaçu, PR, Anais [...] Foz do Iguaçu- PR INPE,2013.

MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A.; SELUCHI, M. E.; CUARTAS, A.; ALVES, L. M.; MENDIONDO, E. M. OBREGÓN, G.; SAMPAIO, G. A seca e a crise hídrica de 2014-2015 em São Paulo. **Revista USP**, São Paulo, n.106, p. 31-44, jul./ago./set., 2015.

MONTEIRO, C. A. F. **A frente polar atlântica e as chuvas de inverno na fachada sul-oriental do Brasil**: contribuição metodológica à análise rítmica dos tipos de tempo no Brasil. São Paulo: Instituto de Geografia/ Universidade de São Paulo. IGEOG-USP, 1969. (Série teses e monografias, 01).

MONTEIRO, C. A. F. **Teoria e Clima Urbano**. Tese (Livre Docência) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1975.

MONTEIRO, C. A. F. Derivações antropogênicas dos geossistemas terrestres no Brasil e alterações climáticas: perspectivas urbanas e agrárias ao problema da elaboração de modelos de avaliação. In: SIMPÓSIO A COMUNIDADE VEGETAL COMO UNIDADE BIOLÓGICA, TURÍSTICA E ECONÔMICA, 1 São Paulo. **Anais [...]** São Paulo: Academia de Ciências do Estado de São Paulo- ACIESP 1978.p.43-76.

MONTEIRO, C. A. F. O estudo geográfico do clima. **Cadernos Geográficos**, Florianópolis, v.1 n.1, p.7-72, 1999.

MONTEIRO, C. A. F. **Geossistemas**: a história de uma procura. São Paulo: Contexto, 2000.

MONTEIRO, C. A. F. A questão ambiental na geografia do Brasil: a propósito da “validade”, “especialização” e “pesquisa universitárias”. **Cadernos Geográficos**, Florianópolis, n.5, 2003a.

MONTEIRO, C. A. F. Teoria e clima urbano. In: MENDONÇA, F.; MONTEIRO, C. A. F. (Orgs.) **Clima urbano**. São Paulo: Contexto, 2003b.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. 2.ed., Rio de Janeiro: IBGE, 1989.

RIBEIRO, A. G. As escalas do clima. **Boletim de Geografia Teorética**, Rio Claro: IGCE/UNESPv.23, n.45-46, p.288-294, 1993.

SANT’ANNA NETO, J.L. Decálogo da climatologia do sudeste brasileiro. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.1, n.1, dez./2005.

SILVA, M. R.; MOURA, F. P.; JARDIM, C. H. O diagrama de Caixa (Box Plot) aplicado à análise da distribuição temporal das chuvas em Januária, Belo Horizonte e Sete Lagoas, Minas Gerais-Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.10, n.1, p.23-40, 2017.

SILVA, A. A. F.; JARDIM, C. H. Mapeamento e caracterização da variabilidade dos anos padrão de pluviosidade para região de Unaí-MG. **Geographia Opportuno Tempore**, v.5, p.23-42, 2019 a.

SILVA, A. A. F.; JARDIM, C. H. Unidades climáticas em Unaí, noroeste do estado de Minas Gerais: proposta preliminar. **Geographia Opportuno Tempore**, v.5, p.10-26, 2019b.

TARIFA, J. R. Alterações climáticas resultantes da ocupação agrícola no Brasil. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n. 8, p. 15-27, 1994.

VARGAS, T.; GOMES, M. G.; BELLADONA, R.; ADAMI, M. V. D. Aplicação do interpolador IDW para elaboração de mapas hidrogeológicos paramétricos na Região da Serra Gaúcha. **Scientia Cum Indústria**, v.6, n.3, p.38-43, 2018.



Avaliação da carga sedimentar entre os anos de 2016 e 2019 no Rio Pandeiros, Januária, MG e sua influência na preservação ambiental da bacia hidrográfica

Cláudio José Chagas¹; Jefferson Vianna Bandeira²; Lécio Hannas Salim³; Cláudio Costa Camargos⁴; ⁵Gabriel Pires de França ; ⁶Leonardo Passos Sá.

Resumo

Apresentam-se alguns resultados do projeto de pesquisa que abrange estudos nas áreas de sedimentologia, climatologia e geomorfologia. O objetivo é avaliar o efeito da carga sedimentar medida e suas implicações no assoreamento do Pantanal do Rio Pandeiros, área úmida, conhecida como “Pantanal Mineiro”, situada junto à foz do Rio Pandeiros, Januária, MG e contribuir para traçar diretrizes na gestão da bacia. Os resultados hidrosedimentométricos indicam que o sistema barragem/reservatório da Pequena Central Hidrelétrica Pandeiros pode ser utilizado como um instrumento de manejo do transporte de sedimentos para minimizar o assoreamento do pantanal, bem como para armazenamento de água e suprir as demandas das comunidades vizinhas.

Palavras-Chave: gestão de bacia, pantanal do Rio Pandeiros, reserva hídrica.

Abstract

Some results of the research project are presented, covering studies in the areas of sedimentology, climatology and geomorphology. The objective is to evaluate the effect of the measured sediment load and its implications on the silting up of the Pantanal do Rio Pandeiros, a wetland, known as Pantanal Mineiro”, located near the mouth of the Pandeiros River, Januária, MG, and contributing to drawing up guidelines for the management of the basin. The hydrosedimentometric results indicate that the dam/reservoir system of the Pandeiros Small Hydroelectric Power Plant can be used as a sediment transport management tool to minimize the silting of the wetland, as well as to store water to supply neighboring communities.

Keywords: basin management, Pandeiros wetland, water reserve.

¹Mestre, Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CNEN/CDTN) – cjc@cdtn.br

²Doutor, Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CNEN/CDTN) – jvb@cdtn.br

³Mestre, Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear CNEN/CDTN – salimlh@cdtn.br

⁴Mestre, Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear CNEN/CDTN – camargosclaudio667@gmail.com

⁵Graduado, Instituto Federal do Norte de MG (Campus de Januária) (IFNMG) – camargosclaudio667@gmail.com gabrielcajoneiro@gmail.com

⁶Graduado, Instituto Federal do Norte de MG (Campus de Januária) (IFNMG) – quimico.passos@gmail.com



Introdução

Embora o estudo da dinâmica sedimentar seja complexo, ele atrai muitos pesquisadores que buscam responder sobre o assoreamento de reservatórios de barragens, transporte de sedimentos em suspensão e pelo leito, alterações na calha fluvial e na ictiofauna (COLLINS; WALLING; LEEKS, 1998; DIETRICH *et al.*, 2003; PETTS, 1983; SERRA; OLIVEIRA, 2020).

Para satisfazer algumas destas questões este trabalho faz uma breve análise dos relatórios do projeto: “SUSTENTABILIDADE DA BACIA DO RIO PANDEIROS-MG: Dinâmica de Vertentes da Bacia do Rio Pandeiros”, financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais – FAPEMIG (BANDEIRA *et al.*, 2020). O relatório desse estudo multidisciplinar, está dividido em quatro subprojetos que se interligam nas áreas de geomorfologia, clima, solo e hidrossedimentologia, onde atuaram pesquisadores do Instituto de Geociências (IGC) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), do Instituto Federal do Norte de Minas Gerais (IFNMG), Campus Januária e do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN)⁷.

O sistema fluvial composto pelo Pantanal e o Rio Pandeiros funcionam como um berçário que é responsável pela reprodução e desenvolvimento de 70% da fauna ictiológica do médio Rio São Francisco (BETHONICO, 2009; FONSECA *et al.*, 2008; NUNES *et al.*, 2009). O assoreamento progressivo dessa área úmida, pelo transporte de sedimento

oriundo da bacia do Rio Pandeiros, é atualmente motivo de grande preocupação do Instituto Estadual de Florestas (IEF), que é o órgão responsável por sua administração (FONSECA *et al.*, 2008; INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS - IGAM, 2017).

O CDTN e o IFNMG, conduziram o estudo de caracterização qualitativa e quantitativa de parâmetros hídricos e sedimentológicos da rede de drenagem do Rio Pandeiros (BANDEIRA *et al.*, 2018). Desta maneira, busca-se situar o transporte de sedimentos como a principal contribuição para o assoreamento do Pantanal.

Dentre os resultados, são apresentados a precipitação pluvial, que é o agente mandatário na produção e no transporte de sedimentos, a carga sedimentar por estação e a granulometria dos sedimentos do reservatório. Tais resultados nos dá um arrazoado sobre a distribuição dos sedimentos ao longo do rio e subsidia propostas de gestão da bacia para suprir a demanda de água na comunidade de Pandeiros e a preservação do Pantanal do Rio Pandeiros (BANDEIRA *et al.*, 2018; CARVALHO, 2008; PETTS, 1983).

Materiais e métodos

Área de estudo

A bacia hidrográfica do Rio Pandeiros está inserida na APA Pandeiros, criada pela Lei Estadual nº 11.901 de 01 setembro de 1995, que conforme Nunes *et al.* (2009), é destinada principalmente à proteção do bioma, cuja área está apresentada no Plano de Manejo aprovado pela Câmara Técnica de

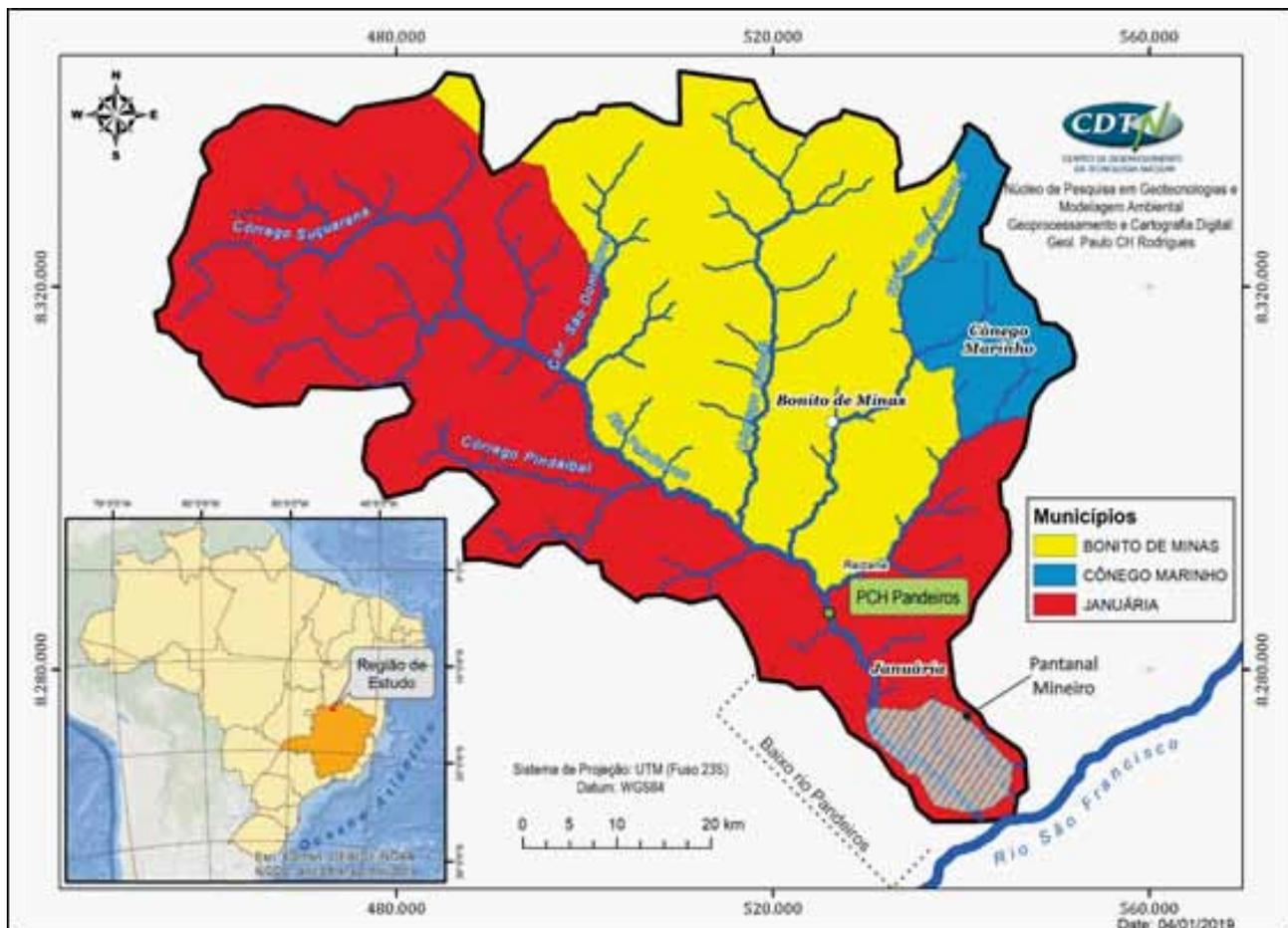
⁷<https://www.igc.ufmg.br/geografia/pos-graduacao-em-geografia/relatorios-e-produtos-tecnicos/>



Proteção à Biodiversidade (CPB) em fevereiro de 2019, divulgado pelo IEF, somada à sub-bacia do ribeirão do Peixe (BICHO DO MATO MEIO AMBIENTE, 2019). Essa bacia está localizada no sudeste do Brasil, na região noroeste do Estado de Minas Gerais, à margem esquerda do Rio São Francisco, do qual o Rio Pandeiros é afluente direto (MAPA

1). Conforme Bethonico (2009), a bacia se limita a noroeste com a Serra do Gibão, a sudoeste com a Serra das Araras, a nordeste com o divisor de águas da Bacia do Rio Peruaçu e com o divisor de águas da bacia hidrográfica do Rio Pardo ao sul-sudoeste e abrange os municípios de Bonito de Minas, Cônego Marinho e Januária.

Mapa 1 – Localização e divisão política da Bacia do Rio Pandeiros



Fonte: Adaptado de BANDEIRA *et al.*, 2020a.

Na porção inicial do baixo Rio Pandeiros e junto à comunidade homônima foi construída em 1957 uma barragem para suprir as necessidades da usina chamada de Pequena Central Hidrelétrica - PCH Pandeiros, com 4,2 MW de capacidade instalada e operada pelas Centrais Elétricas de Minas Gerais (CEMIG), por iniciativa do Governador Juscelino Kubits-

chek de levar desenvolvimento econômico, rural e social para a bacia do Rio São Francisco (FONSECA *et al.*, 2008). No entanto, a PCH Pandeiros está inoperante desde 2008 (IGAM, 2017).

Conforme apresentado no Mapa 1, a bacia do Rio Pandeiros tem aproximadamente 3.953 km², dos quais cerca de 20 a 50 km²,

dependendo do histórico de cheias, é formado por uma área úmida localizada na porção mais à jusante da bacia, que compõe o “Pantanal Mineiro” (BANDEIRA *et al.*, 2020b). De acordo com Nunes *et al.* (2009), esse Pantanal apresenta um ecossistema próprio recebendo, inclusive, várias espécies de peixes durante a época de reprodução e tendo também, embora modestos, fins turísticos.

Essa bacia se desenvolveu sobre rochas sedimentares siliciclásticas dos Grupos Urucuia e Areado, datados do Cretáceo, sendo o primeiro estratigraficamente mais elevado e predominante em termos de área ocupada do que o segundo. Grande parte dessas rochas encontra-se intemperizada, apresentando coberturas detríticas nas quais predominam os Neossolos Quartzarênicos e Litólicos. Nas áreas mais à jusante da bacia, onde a erosão fluvial provocou um maior encaixamento, rochas de formações do Grupo Bambuí, em especial os calcários, já estão

expostas, indicando o grande retrabalhamento geomorfológico ali ocorrido. Mapeamentos e levantamentos feitos com sobreposição de imagens em ambiente de Sistema de Informação Geográficas (SIG), identificaram a presença de seis unidades geomorfológicas distintas compondo a aparente “homogeneidade geológica” da bacia do Rio Pandeiros (OLIVEIRA; AUGUSTIN; FONSECA, 2017).

Conforme Bicho do Mato Meio Ambiente (2019), a cobertura vegetal predominante, ocupando quase 80% da Área de Proteção Ambiental, APA, é da fitofisionomia Cerrado sentido restrito, em cujo bioma ocorre o ecossistema das veredas, matas de galeria e matas ciliares (FOTOGRAFIA 1). Nas áreas em que ocorrem o afloramento de calcário, há presença da vegetação conhecida como mata seca, típica do domínio das Formações Calcárias do Grupo Bambuí (SANTOS *et al.*, 2007).

Fotografia 1 – Vegetação na estrada de ligação entre a comunidade de Palmeirinha em direção à comunidade do Traçadal, Januária, MG



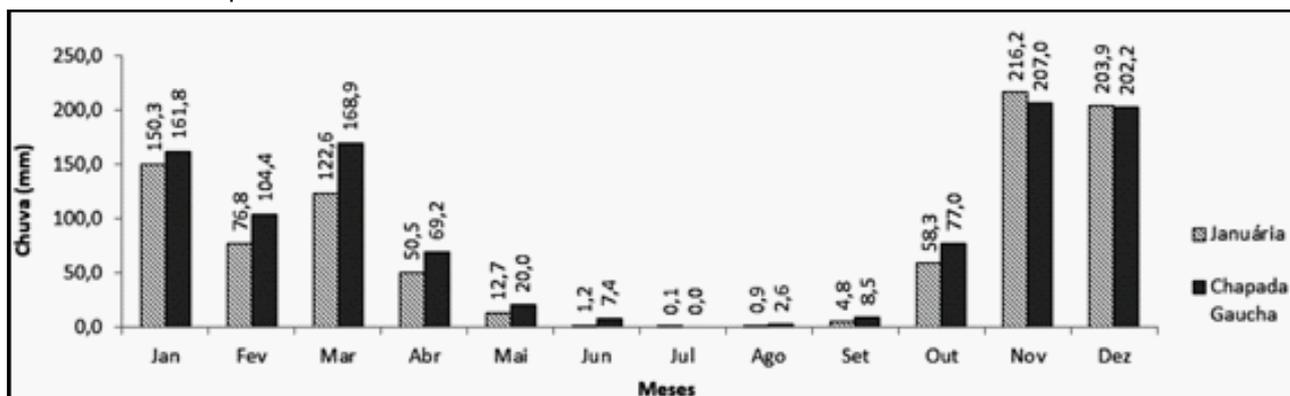
Fonte: BANDEIRA *et al.*, 2012.

Segundo Jardim e Moura (2018), na região sudeste do Brasil o verão é o período do ano de maior pluviosidade, quando ocorre maior quantidade de material sendo mobilizado da vertente para os corpos hídricos, bem como a remobilização dos sedimentos na calha dos rios.

No município de Januária, de acordo com as Normais Climatológicas 1961-1990 levantadas por Jardim e Moura (2018) no Departamento Nacional de Meteorologia (DNMET), entre os meses mais quentes e mais frios a temperatura média do ar variou entre 23,0°C e 25,3°C. Sendo que a temperatura máxima absoluta registrada foi de 41,5°C e a mínima absoluta de 7,7°C. O verão concentra a maioria das chuvas com total médio anual de 826,5 mm (MOURA; JARDIM, 2016). Para os anos entre 2008 e 2016 na estação automática de Januária a média de chuvas registrada foi de 921,9 mm (JARDIM *et al.*, 2017).

Em estudo recente, Jardim e Moura (2018) apresentaram as variações de chuva incidentes na bacia do Rio Pandeiros, tendo como base os dados das estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) dos municípios de Chapada Gaúcha e Januária. Essas estações ficam na área externa da bacia, e estão situadas aproximadamente a 20 km das bordas oeste e leste, respectivamente. Apesar dessas distâncias, os eventos chuvosos que ocorrem nessas estações são dinâmicos, ligados a circulação de massas de ar e podem atuar em toda região do entorno. Sendo assim, os autores fizeram uma comparação dos totais médios anuais de chuva para as duas localidades entre os anos de 2008 e 2017, de onde podemos inferir que o período efetivamente de chuvas ocorreu entre novembro e março, tendo sido o período mais seco de abril a outubro (GRÁFICO 1).

Gráfico 1 – Média mensal de chuva na bacia do Rio Pandeiros entre os anos de 2008 e 2017 para os municípios de Chapada Gaúcha e Januária



Fonte: JARDIM; MOURA, 2018, p.185.

Cada ciclo temporal estudado é composto por um período úmido, também chamado de período chuvoso, e um período seco. Tendo como base os registros levantados por Jardim

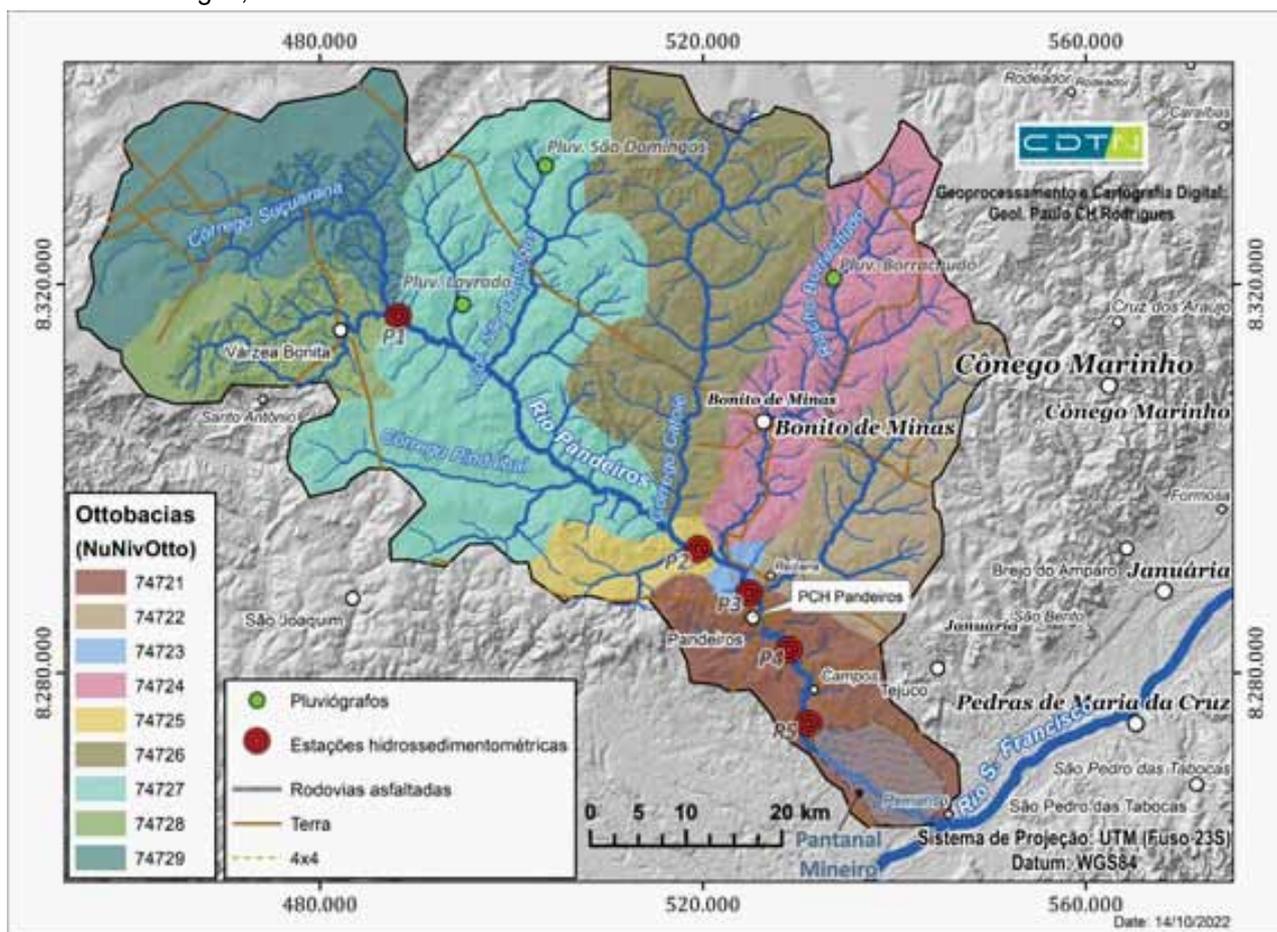
e Moura (2018), o ano hidrológico adotado para a bacia do Rio Pandeiros foi de novembro a outubro do ano seguinte.

Levantamento de dados de chuva e da carga de sedimentos

Para complementar os dados de pluviosidade disponíveis do INMET⁸ (estações Chapada Gaúcha-A548 e Januária-A559) e obter o perfil de pluviosidade mais detalhado da bacia, instalaram-se três estações pluviométricas equipadas com pluviômetros Squitter modelo S2163-A31r20, com resolução de 0,20 mm, dotados de datalogger. Essas estações foram instaladas nas sub-bacias dos córregos Lavrado, São Domingos e Borrachudo, recebendo as denominações dos córregos correspondentes (MAPA 2).

métricas equipadas com pluviômetros Squitter modelo S2163-A31r20, com resolução de 0,20 mm, dotados de datalogger. Essas estações foram instaladas nas sub-bacias dos córregos Lavrado, São Domingos e Borrachudo, recebendo as denominações dos córregos correspondentes (MAPA 2).

Mapa 2 – Ottobacias: localização das estações hidrossedimentométricas P1 a P5 e dos pluviômetros São Domingos, Lavrado e Borrachudo



Fonte: Paulo C. H. Rodrigues, Geólogo, Geoprocessamento e Cartografia Digital do CDTN, 2022.

Notas: Ottobacias são áreas de contribuição dos trechos da rede hidrográfica codificadas segundo o método de Otto Pfafstetter para classificação de bacias (Nunivotto - Nível da Ottobacia) - Codificação numérica de bacias hidrográficas estratificadas em níveis, de acordo com a Res. N.º 30 do DNRH, de 2002.

⁸Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesautomaticas>



De acordo com Petts (1983) e Stott (2011), diante da importância da pluviosidade para a mobilização dos sedimentos, monitoraram-se também os níveis d'água, vazão e o transporte de sedimentos ao longo do canal do Rio Pandeiros em cinco estações hidrossedimentométricas, denominadas P1, P2, P3, P4 e P5 (MAPA 2). A Estação P3 já era existente desde 1973, pertence à Agência Nacional de Águas (ANA) e é operada pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM). Três dessas estações estão situadas à montante da barragem da PCH Pandeiros (P1, P2 e P3) e duas à jusante (P4 e P5).

Além da localização de todas as estações instaladas na bacia, o Mapa 2 traz uma divisão em sub-bacias hidrográficas utilizando a codificação apresentada por Otto Pfafstetter, que foi adotada pela ANA e denominadas Ottobacias (ANA, 2007).

Cada uma das estações hidrossedimentométricas, P1, P2, P4 e P5, foi equipada com duas referências de nível (RN) geodesicamente referenciadas, régua linimétrica e sensor de pressão que registram o nível e a temperatura d'água a cada 30 min. Na Estação P3, os registros de nível são realizados através de duas leituras diárias e disponibilizados na internet através da página Hidroweb⁹.

Foram levantadas as distâncias estimadas entre as estações, ao longo do rio; a altitude ortométrica (altitude relativa ao Nível Médio do Mar - N.M.M.) de cada estação, considerando o zero da régua linimétrica, localizado próximo ao fundo; e a declividade entre os trechos. Sendo que, para extração do perfil de maior declividade da vertente, na cabeceira do rio,

utilizou-se a ferramenta "Terrain profile", um complemento do software QGIS (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2019). Os parâmetros de declividade interferem nos fatores de competência e capacidade do rio, cujos conceitos foram descritos por Petts (1983) como sendo:

- **Competência do rio** – refere-se ao maior tamanho de partícula que pode ser movida por uma descarga;
- **Capacidade do rio** – refere-se ao volume máximo de sedimentos de um dado tamanho que pode ser transportado.

Características como largura e profundidade do canal, rugosidade do leito e velocidade média do fluxo interferem diretamente nesses fatores, mas a declividade do fundo do canal merece atenção especial.

Isso porque, a declividade é um fator que influencia diretamente na velocidade fluxo. Quanto maior a declividade, maior a velocidade do escoamento e maior a energia cinética (E) do mesmo, pois a energia é proporcional ao quadrado da velocidade (V):

$$E = \frac{mV^2}{2}$$

onde (m) é a massa sendo transportada (PETTS, 1983; CARVALHO, 2008).

A carga total de sedimentos se divide em transporte por arraste e em suspensão. O transporte por arraste de sedimentos do leito é determinado diretamente através da operação de amostradores Helley-Smith colocados na superfície do leito, Fotografia 2, os quais

⁹Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/>

recolhem, em um determinado intervalo de tempo e em medições distribuídas ao longo da seção transversal, o material que se movimenta pela ação do escoamento por arraste e ou saltação (FEDERAL INTER-AGENCY SEDIMENTATION PROJECT, 1963; CARV-

ALHO *et al.*, 2000; CARVALHO, 2008). Este material foi encaminhado para o Laboratório de Solos do Instituto Federal do Norte de Minas (IFNMG), onde foi secado, pesado e submetido à análise granulométrica.

Fotografia 2 – Amostradores de sedimento do leito – Helley-Smith



Fonte: a) catálogo Rickly de 2018; b) Acervo do autor, 2018.

Nota: a) amostrador pesado (29,5 kg) modelo Rickly 8055: para uso em cabo suspenso, imagens do catálogo Rickly, 2018.

b) amostrador leve (4,5 kg) modelo Rickly 8025: para uso com haste em medição a vau. Acervo do autor, 2018.

O transporte de sedimento em suspensão é determinado com base em duas grandezas: a vazão do curso d'água e a concentração desse sedimento. Essa concentração, por sua vez é obtida através da amostragem da mistura água-sedimento ao longo de verticais na seção transversal do rio e a determinação,

em laboratório, da massa de sedimentos contida em cada amostra (WREN *et al.*, 2000; BANDEIRA *et al.*, 2018). O processo para determinar a vazão consiste, em linhas gerais, em se medir a velocidade do escoamento em verticais distribuídas ao longo da seção transversal. A velocidade do escoamento,

multiplicada pela área desta seção, fornece a vazão (CARVALHO, 2008).

A coleta de amostras foi realizada em frascos de 500 ml por amostradores do tipo USDH-48 a vau, ou USDH-59 embarcado, Fotografia 3, e consistiu na integração da

mistura água-sedimento capturada ao longo das verticais estabelecidas na seção transversal do rio. Após a coleta os frascos foram identificados e enviados para determinação da concentração de sedimento em suspensão no Laboratório de Solos do IFNMG.

Fotografia 3 – Amostradores de sedimento em suspensão



(a)



(b)

Fonte: EDWARDS; GLYSSON, 1988.

Nota: a) USDH-48 para uso com haste em medição a vau; b) US DH-59 para uso em cabo suspenso manualmente ou com guincho.

Todos os resultados de concentração dos sedimentos em suspensão, granulometria e massa dos sedimentos de arraste, foram enviados para o Serviço de Análise e Meio Ambiente do CDTN para obtenção das curvas-chave, necessárias à interpolação dos resultados.

Para complementar os levantamentos obtidos na base de dados HIDROWEB da ANA (2016), foi necessária a realização de 148 campanhas de campo para coleta de sedimentos e monitoramento hidrológico, que foram mais frequentes nos meses de maior pluviosidade: novembro a abril. Nesse período úmido foram realizadas campanhas com duração de até três semanas em cada um destes meses. No período menos chuvoso, de maio a outubro, foi suficiente uma campanha

semanal a cada dois meses. Dessa forma, as campanhas tiveram início em novembro de 2016 e se encerraram em outubro de 2019.

Em maio de 2019 coletaram-se amostras de sedimento no leito e nas margens do remanso causado pelo reservatório da PCH Pandeiros e encaminhados para análise granulométrica no Laboratório de solos do IFNMG.

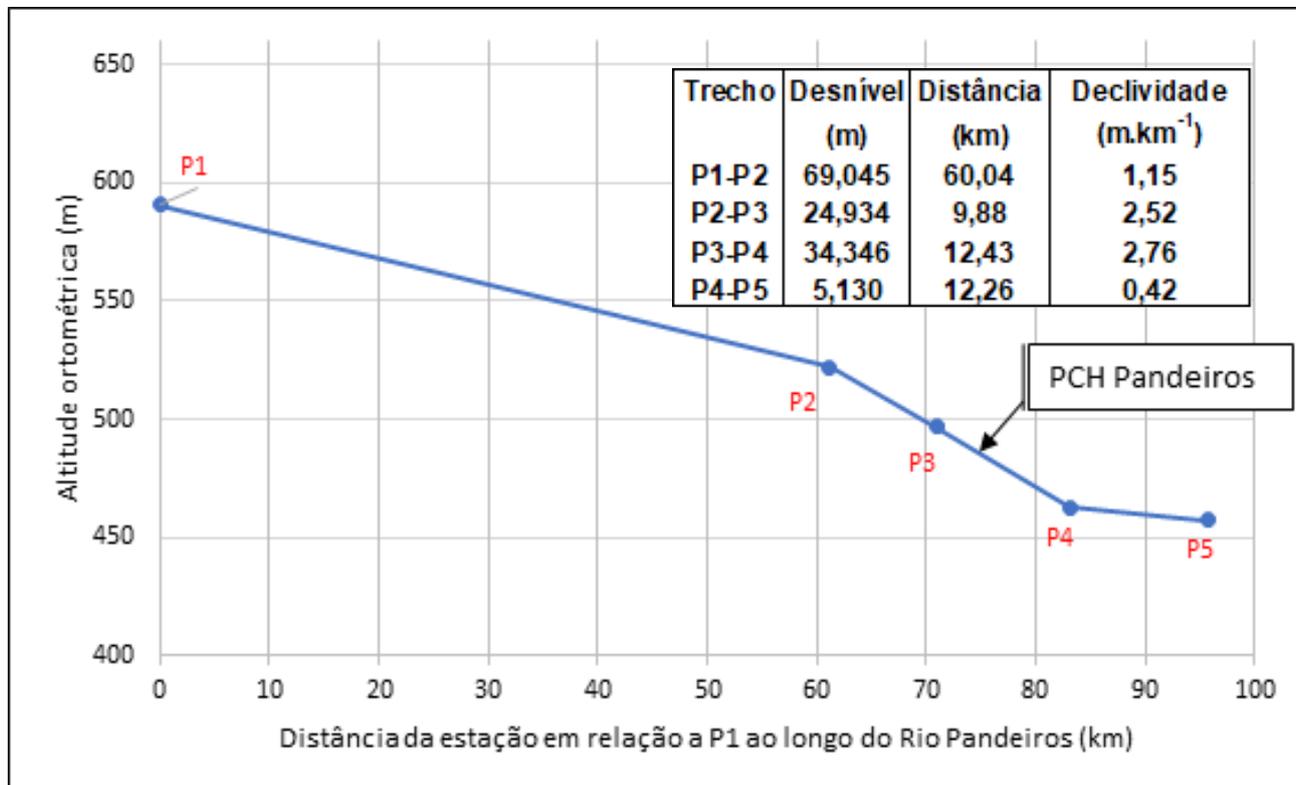
Resultados

Declividade do canal

As menores declividades estão nos trechos entre P1-P2 (1,15 m.km⁻¹) e entre P4-P5 (0,42 m.km⁻¹), apresentando características que podem diminuir a competência e a capacidade do rio nestes trechos. As maiores

declividades estão entre P2-P3 (2,52 m.km⁻¹) e P3-P4 (2,76 m.km⁻¹) onde a PCH Pandeiros está instalada, características que podem promover aumento na carga de sedimentos (GRÁFICO 2).

Gráfico 2 – Altitude ortométrica das estações hidrossedimentométricas P1 a P5 em função da distância entre elas



Fonte: Adaptado de BANDEIRA et al., 2020a.

Notas: P1, P2, P3, P4 e P5 são estações hidrossedimentométricas; a distância do trecho entre as estações foi medida pelo leito do Rio Pandeiros.

Pluviosidade

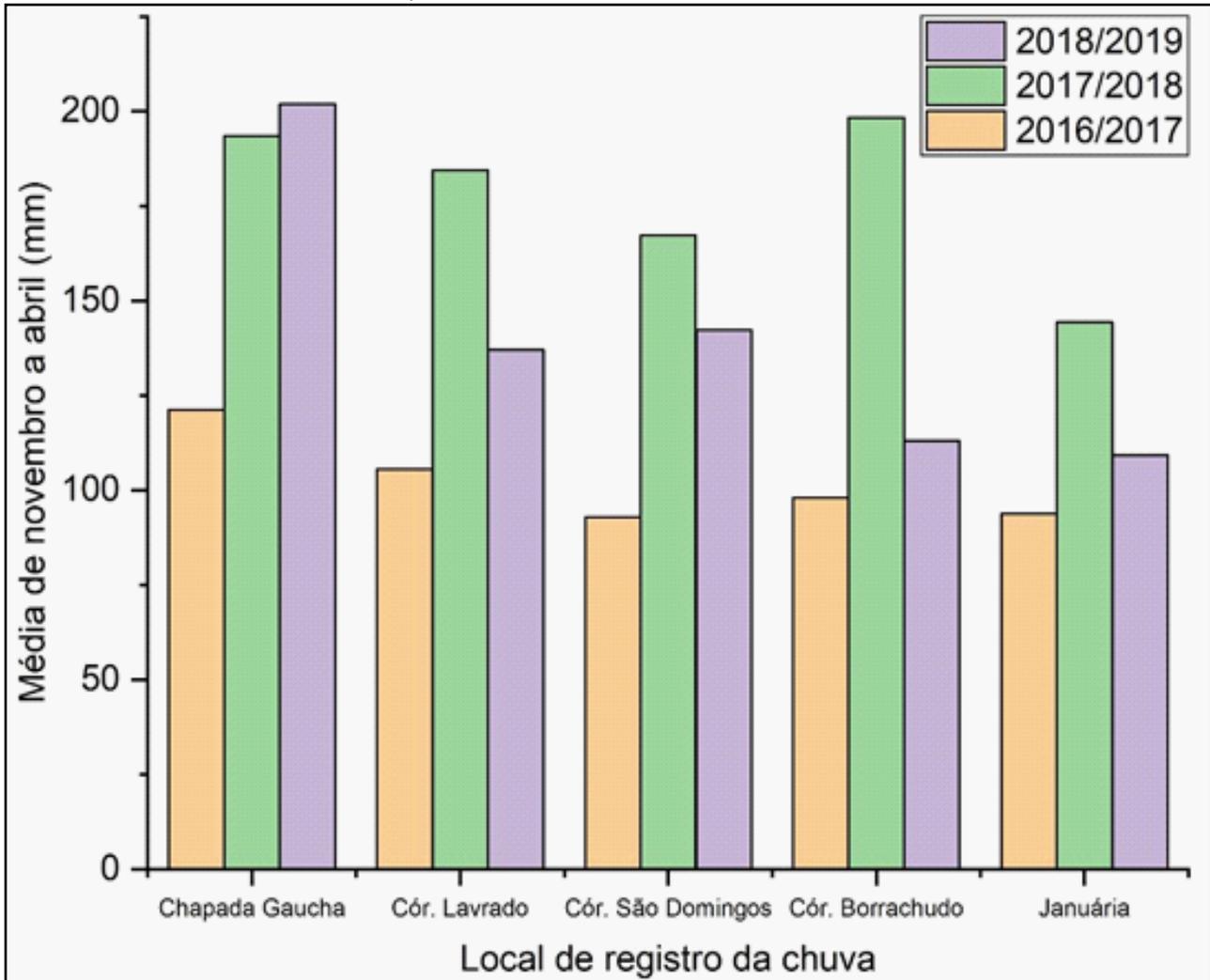
Considerando apenas os meses de maior precipitação, de novembro a abril, de 2016 a 2019, observou-se que entre os três períodos chuvosos avaliados, o período 2016/2017 registrou menor média de precipitação mensal, 102,3 mm, em comparação com a média mensal da precipitação ocorrida nos períodos chuvosos: 2017/2018, que foi de 177,5 mm e 2018/2019 que foi de 140,6 mm.

Esse aumento da pluviosidade média, foi registrado pelas estações automáticas do INMET, Chapada Gaúcha e Januária, fora

dos limites da bacia, bem como pelos três pluviógrafos instalados dentro desses limites (GRÁFICO 3). No entanto, conforme Jardim *et al.* (2019, p.6), ao analisarem as variações anuais (2008-2018) para essas estações, constataram que os maiores volumes de chuva ocorreram nos anos 2009, 2011 e 2013. Tendo como principal fator climático, a ação das massas de ar.



Gráfico 3 – Pluviosidade média nos períodos chuvosos de novembro a abril de 2016 a 2019



Fonte: INMET, 2019; BANDEIRA et al., 2020b.

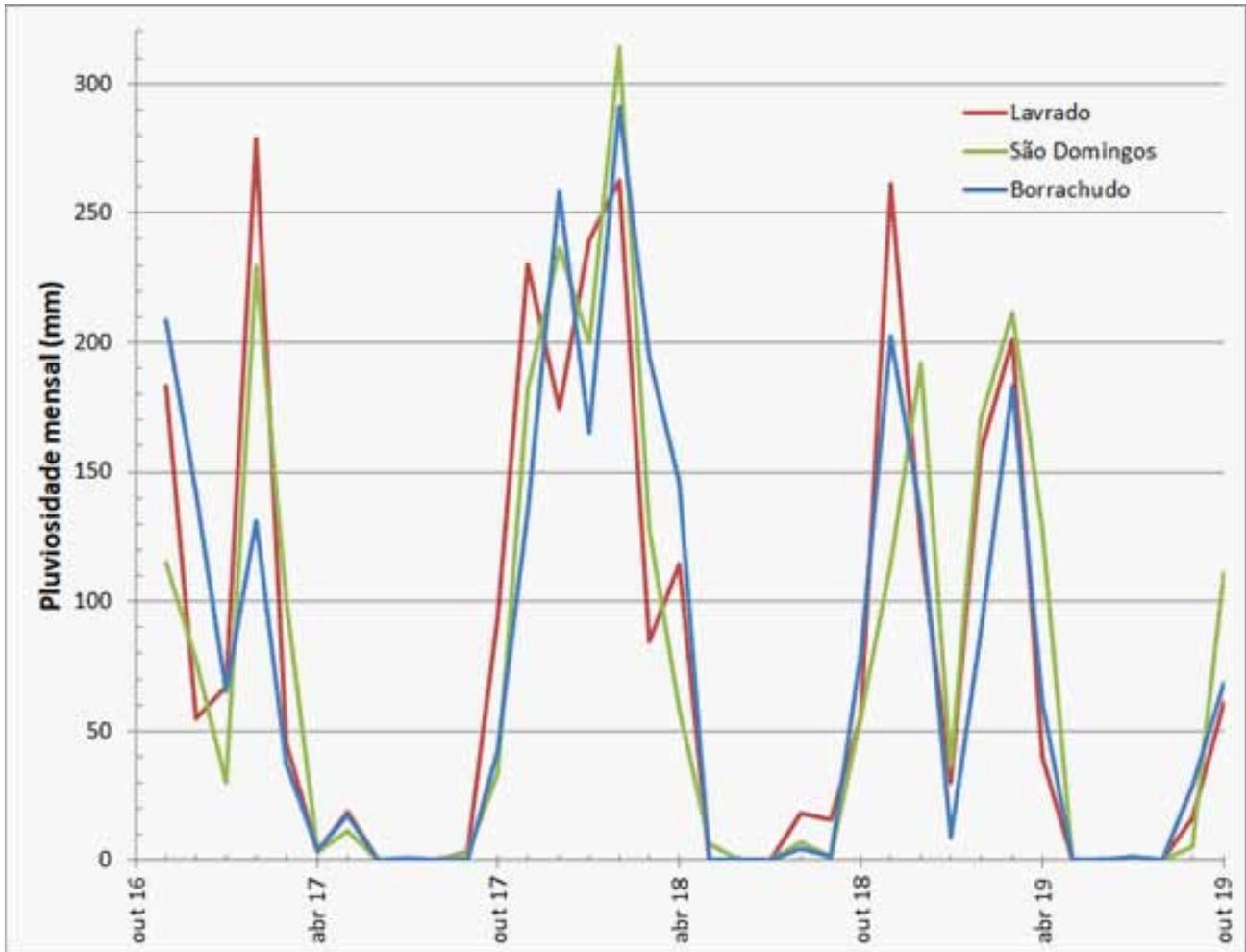
Nota: Dados pluviométricos de Chapada Gaúcha e Januária, disponíveis no site do INMET os outros dados são do relatório emitido por Bandeira *et al.*(2020b).

Jardim *et al.* (2019), observaram este efeito crescente da pluviosidade em direção à Chapada Gaúcha. Eles explicam que apesar dessas localidades estarem sob o mesmo domínio de influência das diferentes massas de ar que atuam na região, a altitude e topografia modulam localmente as variações de chuva. Ainda segundo os autores, esse é um efeito orográfico e tem origem na turbulência causada pelo relevo das áreas planálticas, que favorece a formação de nuvens e precipitação sob certas condições.

Em relação às variações anuais, o gráfico

4 apresenta a pluviosidade mensal registrada nos três pluviógrafos no interior da bacia. Observa-se, além da maior pluviosidade do período novembro de 2017 a abril de 2018, em relação aos períodos novembro de 2016 a abril de 2017 e novembro de 2018 a abril de 2019, já comentado anteriormente, o contraste com a baixíssima pluviosidade nos períodos secos apresentados. Jardim *et al.* (2019), evidencia que esse contraste, caracteriza bem a diferença da pluviosidade entre os períodos úmidos e secos.

Gráfico 4 – Pluviosidade acumulada mensal de outubro de 2016 a novembro de 2019, registrada nos pluviômetros instalados na bacia



Fonte: Adaptado de BANDEIRA *et al.*, 2020b.

Jardim *et al.* (2019) explicam que as diferenças das chuvas locais detectadas são aparentemente aleatórias e sem padrão detectável. Isso pode ser atribuído às “características dinâmicas do ar como meio fluido em movimento caótico”.

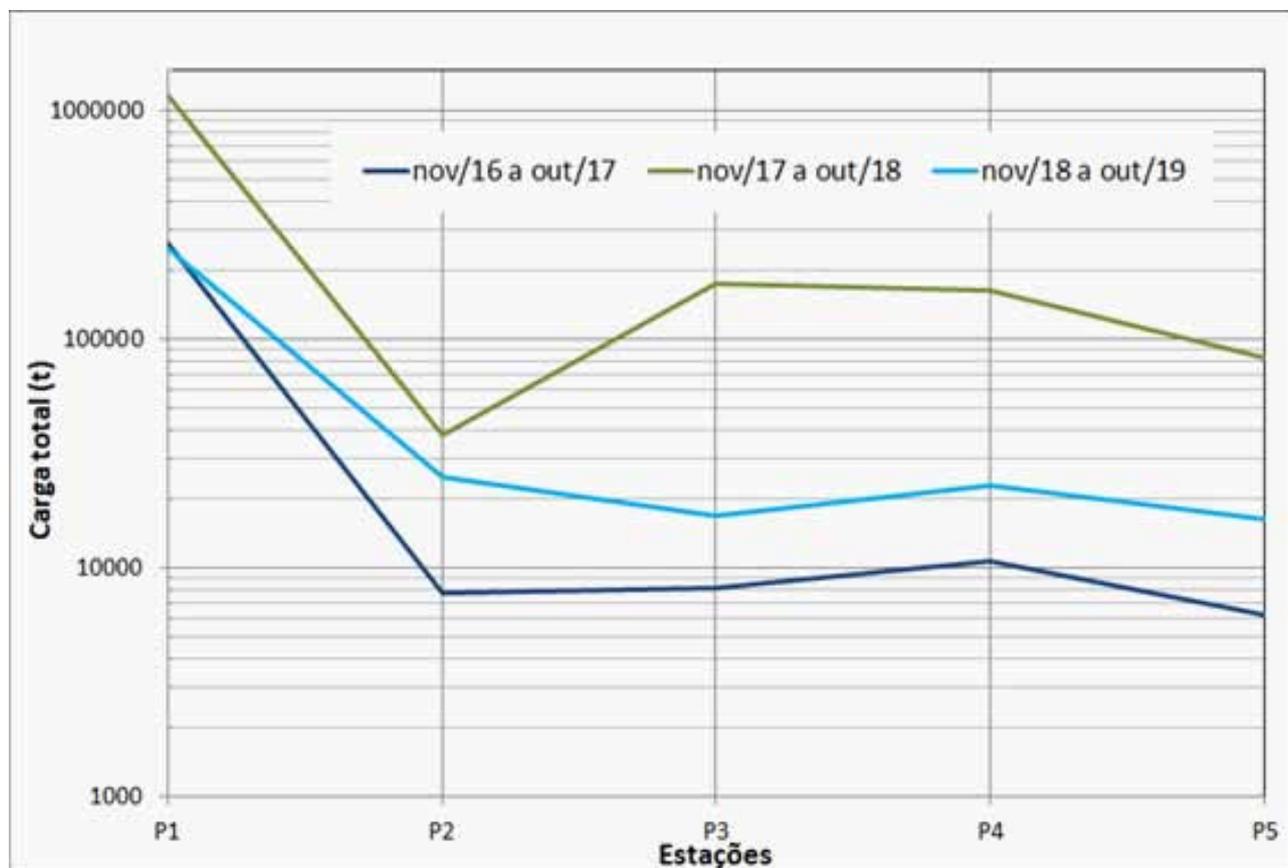
para as cinco estações hidrossedimentométricas, entre novembro de 2016 a outubro de 2019.

Sedimentometria

O Gráfico 5 apresenta o transporte total anual de sedimentos (arraste + suspensão)



Gráfico 5 – Transporte total anual em toneladas (t) nas estações P1, P2, P3, P4 e P5, de nov. 2016 a out. 2019



Fonte: Adaptado de BANDEIRA *et al.*, 2020a.

As cargas apresentadas na Tabela 1 são valores calculados conforme interpolação por curvas-chave que relacionam nível

d'água com vazão líquida, vazão com descargas sólidas por arraste e em suspensão (BANDEIRA *et al.*, 2020a).

Tabela 1 – Transporte total por ano hidrológico, de novembro de 2016 a outubro de 2019

Estação	Transporte total anual em toneladas (t)		
	nov/16 a out/17	nov/17 a out/18	nov/18 a out/19
P1	264 018	1 159 807	249 355
P2	7 814	37 939	25 039
P3	8 255	176 006	17 037
P4	10 663	163 755	23 137
P5	6 209	83 752	16 527

Fonte: Adaptado de BANDEIRA *et al.* 2020a.

A Tabela 2 explicita os valores do transporte total, em toneladas no período chuvoso,

de novembro a abril, e no período seco, de maio a outubro.

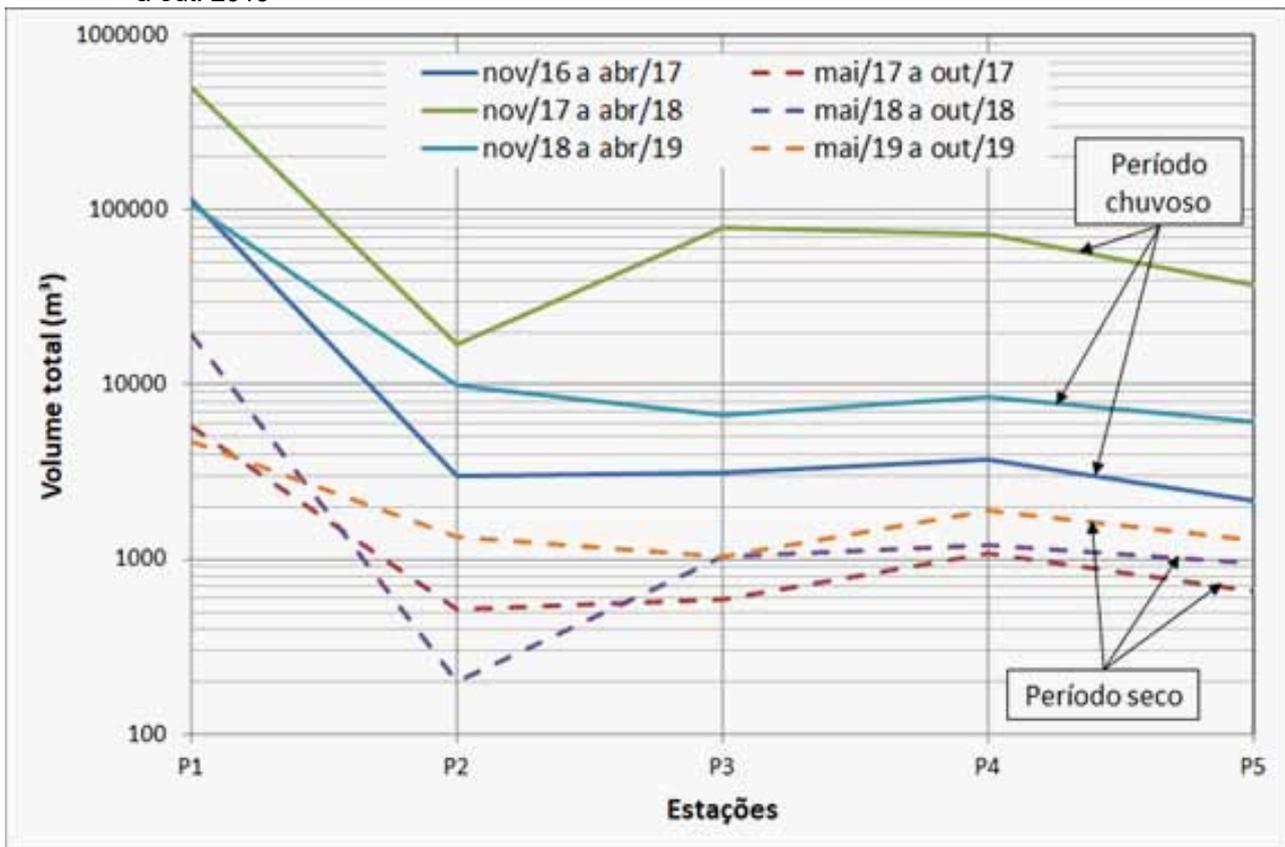
Tabela 2 – Transporte total por semestre hidrológico, de novembro de 2016 a outubro de 2019

Estação	Transporte total semestral (t)					
	nov/16 a abr/17	mai/17 a out/17	nov/17 a abr/18	mai/18 a out/18	nov/18 a abr/19	mai/19 a out/19
P1	251 303	12 715	1 117 391	42 416	238 825	10 530
P2	6 661	1 153	37 504	435	22 074	2 965
P3	6 963	1 293	173 725	2 281	14 767	2 270
P4	8 280	2 383	161 081	2 674	18 936	4 201
P5	4 746	1 463	81 652	2 100	13 687	2 840

Fonte: Adaptado de BANDEIRA *et al.*, 2020.

O Gráfico 6 mostra os valores do transporte total semestral em m³, como forma de auxiliar na compreensão do volume de sedimentos transportado ao longo do curso do Rio Pandeiros.

Gráfico 6 – Volume do transporte total semestral em m³ nas estações P1, P2, P3, P4 e P5, de nov. 2016 a out. 2019



Fonte: Adaptado de BANDEIRA *et al.*, 2020a.

Esta transformação foi obtida dividindo-se os valores da Tabela 1 pela massa específica do sedimento (2,65 t.m⁻³), e multiplicando-se por um fator de empolamento médio igual a

1,2, para levar em conta os espaços vazios existentes entre as partículas de sedimento (ROCHA; BARROS; VIEIRA, 2012).



Tabela 3 – Volume do transporte total por semestre nas estações P1 a P5, de nov. 2016 a out. 2019

Estação	Transporte total por semestre hidrológico (m ³)					
	nov/16 a abr/17	maio/17 a out/17	nov/17 a abr/18	maio/18 a out/18	nov/18 a abr/19	maio/19 a out/19
P1	113 798	5 758	505 988	19 207	108 147	4 768
P2	3 016	522	16 983	197	9 996	1 343
P3	3 153	585	78 668	1 033	6 687	1 028
P4	3 749	1 079	72 942	1 211	8 575	1 902
P5	2 149	662	36 974	951	6 198	1 286

Fonte: Jefferson V. Bandeira, Engenheiro, SEAMA/CDTN, 2020.

Os dados contidos nos Gráficos 5 e 6 mostram claramente a dinâmica e os respectivos quantitativos, anuais e semestrais em carga e volume do transporte de sedimentos ao longo do curso do Rio Pandeiros.

Observa-se ainda, que a quantidade máxima de sedimento medida na estação P3, a primeira logo a montante do reservatório da PCH Pandeiros, foi de 173.725 t e ocorreu no período chuvoso (nov. 2017 a abr. 2018).

Isso corresponde a um volume aproximado de 78.668 m³ (TABELA 3).

Em consonância, o material de fundo coletado em maio de 2019 no reservatório é, em sua grande maioria (95%), areia média de granulometria aproximada: diâmetro médio (D50) igual a 0,3 mm (MAPA 3). O material fino, cujo tamanho da partícula é menor que 0,063 mm, que transporta nutrientes e matéria orgânica por sorção, praticamente não fica retido no reservatório

Mapa 3 – Localização dos pontos de amostragem de sedimento de fundo no reservatório da PCH Pandeiros e a granulometria das amostras



Fonte: Adaptado de BANDEIRA *et al.*, 2020b.

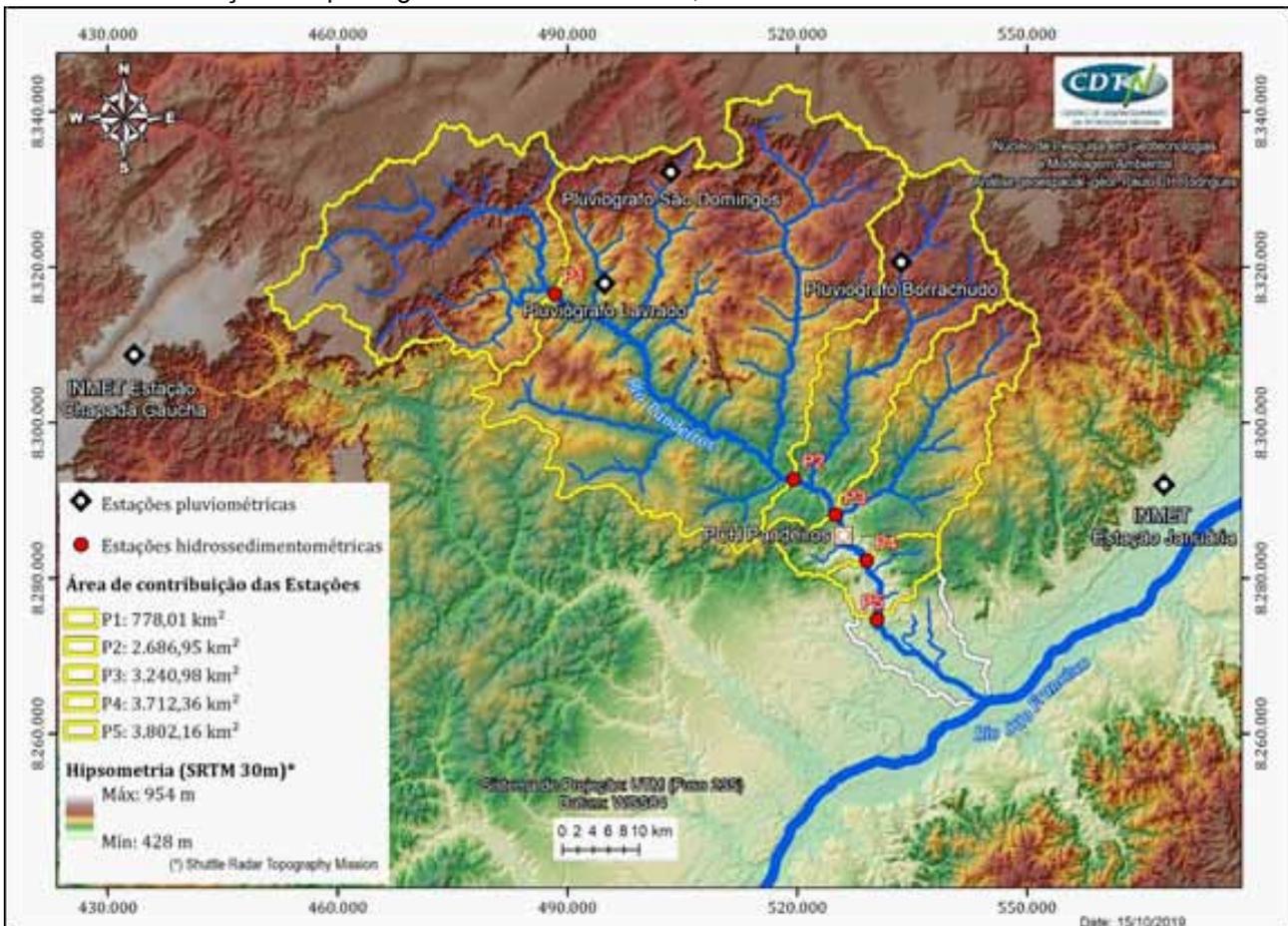
Notas: Destaque para o estreitamento do canal do rio a partir da amostra R7 até as proximidades de R1.

Produção específica

Cada uma das estações hidrossedimentométricas tem, à montante de si, uma área de influência direta, que é toda área de drenagem que fica entre uma dada estação e a próxima a montante. A exemplo disso, temos que na Estação P5 há uma área de influência direta de 89,80 km² que fica entre essa e a Estação P4. Há também outra área de contribuição para produção de sedimento e captação de água, que é toda área da bacia hidrográfica à

montante dessa estação, fazendo com que a Estação P1 seja a única cujas áreas de influência e de contribuição sejam a mesma (MAPA 4). Sendo assim, a área de contribuição para produção de sedimento da Estação P5 é a sua área de influência somada às áreas de influência de P4, P3, P2 e P1, ou seja, 3.802,16 km². Portanto, a Estação P5 tem a maior área de contribuição de todas as estações, se inicia nas encostas da cabeceira do Rio Pandeiros e termina na entrada do Pantanal do Rio Pandeiros, onde fica instalada.

Mapa 4 – Mapa hipsométrico com áreas de influência e de contribuição das estações hidrossedimentométricas e localização dos pluviômetros na APA Pandeiros, MG



A carga ou transporte de sedimentos que passa por uma determinada seção da calha do rio durante o ano, em função da sua área

de contribuição, é conhecida como produção específica, ou descarga específica, cuja medida adotada é em massa por área, por unidade

de tempo (t.km² ano⁻¹) (MEDEIROS *et al.*, 2011; PETTS, 1983; CARVALHO, 2008). A carga sedimentar total e a produção específica da Bacia do Rio Pandeiros podem ser obser-

vadas na Tabela 4, onde são apresentadas por estação e por ano hidrológico. Mais uma vez pode-se evidenciar a produção ocorrida no segundo ano hidrológico.

Tabela 4 – Carga e produção específica de sedimento integralizadas no triênio hidrológico de 11/2016 a 10/2019 para as estações hidrossedimentométricas do Rio Pandeiros, MG

Estação	Área de contribuição (km ²)	Carga total por ano hidrológico (t)			Produção específica (t.km ² .ano ⁻¹)			
		11/16-10/17	11/17-10/18	11/18-10/19	11/16-10/17	11/17-10/18	11/18-10/19	Média
P1	778,01	264 017,98	1 159 806,84	249 354,95	339,35	1.490,74	320,50	716,86
P2	2 686,95	7 813,54	37 938,94	25 039,01	2,91	14,12	9,32	8,78
P3	3 240,98	8 255,47	176 005,98	17 037,02	2,55	54,31	5,26	20,70
P4	3 712,36	10 662,91	163 755,00	23 136,90	2,87	44,11	6,23	17,74
P5	3 802,16	6 208,83	83 751,68	16 526,65	1,63	22,03	4,35	9,34

Fonte: Adaptado de BANDEIRA *et al.*, 2020b.

Notas: o ano hidrológico na região está compreendido de novembro a outubro do ano seguinte.

Discussão

O comportamento climático da bacia é semelhante ao da região sudeste do Brasil, onde a estação chuvosa ultrapassa os limites do calendário Gregoriano, passando de um ano para o outro. Conforme nota técnica 04/17 apresentada pelo INMET a estação chuvosa em toda a Região Sudeste ocorre entre os meses de outubro a março. A segunda quinzena do mês de outubro marca o início do período chuvoso no Centro-Sul e Oeste mineiro, com o aumento na frequência das chuvas se propagando gradativamente para o Centro-Norte e Leste. Dessa forma, no início de novembro, todo o Estado já se encontra com a estação chuvosa estabelecida (INMET, 2017). Essa característica difere do comportamento climático das regiões do Brasil setentrional e de vários países situados no hemisfério norte.

Sendo assim, o verão é o período do ano de maior pluviosidade, quando ocorre maior quantidade de material sendo mobilizado da vertente para os corpos hídricos, bem como a remobilização dos sedimentos na calha dos rios.

Esse maior volume de chuvas refletiu diretamente no transporte de sedimentos. Nota-se uma relação direta entre a pluviosidade, Gráficos 3 e 4, e o transporte de sedimentos (GRÁFICOS 5 e 6).

Considerando que a maior carga de sedimentos medida foi no ano hidrológico 2017-2018, se pode observar que houve um incremento considerável nessa carga quando comparada a dos outros dois: 2016-2017 e 2018-2019 (TABELA 5). Isso se deve à maior precipitação relativa ocorrida no período chuvoso de nov. 2017 a abr. 2018 (GRÁFICOS 3 e 4).

Tabela 5 – Incremento percentual da carga de sedimentos de nov. 2017 a out. 2018 em relação aos períodos nov. 2016 a out. 2017 e nov. 2018 a out. 2019

Estação	nov. 2016 a out. 2017 (%)	nov. 2018 a out. 2019 (%)
P1	439	465
P2	486	152
P3	2 132	1 033
P4	1 536	708
P5	1 349	507

Fonte: Jefferson V. Bandeira, Engenheiro, CDTN, 2020.

O comportamento apresentado pela carga sedimentar, corrobora a tese de incremento relativamente direto com o aumento dos volumes de chuva. Outro fator de incremento, a declividade, influencia diretamente no transporte de sedimentos ao longo do curso do Rio Pandeiros. Note que, a carga total de sedimentos (Gráficos 5 e 6 e Tabela 1) foi sempre maior na estação P1 e decresceu na estação P2. Isto se deve à alta declividade a montante da Estação P1, região onde existem mais de duas centenas de voçorocas (LIMA, 2019). A declividade medida a montante da seção de medição da estação P1 até a chapada alta mais próxima foi de 80 m.km⁻¹. Esta declividade é 29 vezes maior que a declividade mais acentuada dos trechos do Rio Pandeiros entre as estações P3 e P4, que é de 2,76 m.km⁻¹ (GRÁFICO 2).

Quanto à morfologia do canal, o trecho entre as estações P1 e P2 apresenta muitos meandros. Ele se estende por 60,04 km, tem declividade média de 1,15 m.km⁻¹ conforme apresentado no Gráfico 2 e, é bem menor que a da região a montante de P1 (80 m.km⁻¹). O meandramento do rio, neste trecho, facilita a deposição temporária dos sedimentos, sobretudo na parte convexa dos meandros, corroborando com Leopold e Wolman (1960).

O mesmo ocorre com a carga recebida dos diversos cursos d'água que desaguam neste trecho do Rio Pandeiros, como os córregos: Lavrado, São Domingos, Panela, Catolé e que são perenes. Existem outros córregos, pela margem direita, nem sempre perenes, mas que também contribuem durante o período chuvoso para a carga de sedimentos que transita pela estação P2. Há também a contribuição difusa, ao longo das margens do rio, referente ao trecho da bacia, entre estas estações.

As estações P2 e P3 distam entre si de 9,88 km ao longo do curso do rio. Neste trecho ocorre um aumento da declividade em relação ao trecho anterior (P1 a P2), passando de 1,15 para 2,52 m.km⁻¹, havendo um aumento do transporte de sedimentos para os dois primeiros anos (GRÁFICO 5).

A distância entre as estações P3 e P4, ao longo do rio é de 12,43 km com declividade de 2,76 m.km⁻¹. A presença do reservatório da PCH proporciona uma região de remanso com cerca de 2 km de extensão a montante da barragem. É um trecho de baixíssima declividade, que promove atenuação da velocidade do escoamento, amortecimento das vazões afluentes, propiciando a deposição de sedimentos. Diminuindo assim o seu transporte



para jusante. Este processo ocorreria durante todo o ano, caso o reservatório estivesse com um bom volume de armazenamento.

Contudo, de acordo com Fonseca *et al.* (2008), observa-se que desde a suspensão da geração de energia na PCH Pandeiros, em agosto de 2008, incluindo a paralisação da operação esporádica de descarga de fundo, verificou-se um progressivo assoreamento do reservatório, diminuindo sua capacidade de armazenamento de água. Esta capacidade era praticamente inexistente no final de 2016, quando as medições do transporte de sedimentos foram iniciadas.

Assim, o processo de amortecimento das vazões afluentes se encontra presentemente minimizado, condicionando a passagem de boa parte das vazões, sobretudo em período de seca, em um estreito canal criado no reservatório (MAPA 3).

Dessa forma, o reservatório no estágio atual de assoreamento ainda pode proporcionar uma retenção relativa do sedimento somente no período de cheias maiores, quando o escoamento se espraia para as margens, Mapa 3, transportando lateralmente sedimento que se deposita nestas zonas laterais. Isto é demonstrado, quantitativamente, no Gráfico 6, onde a diminuição do transporte de sedimentos entre as estações P3 e P4 ocorreu apenas para o semestre mais chuvoso de nov. 2017 a abr. 2018.

Entre as estações P4 e P5 houve sempre decréscimo do sedimento transportado, conforme apresentado no Gráfico 5, Tabela 1 e Gráfico 6, devido à baixa declividade neste trecho ($0,42 \text{ m.km}^{-1}$), a menor de todo o trecho monitorado do Rio Pandeiros, propiciando a

sedimentação temporária de parte da carga sedimentar que passou pela estação P4 (GRÁFICO 2).

O transporte de sedimentos ocorre assim, de forma pulsada, em função da precipitação e das características, como: geometria, declividade, rugosidade dos canais, que influenciam na velocidade do escoamento e a sua capacidade de transportar sedimentos. Este pulso acontece após a deposição temporária, quando da ocorrência de nova precipitação que provoca um escoamento com capacidade de transportar o sedimento anteriormente depositado num trecho do curso d'água. Assim, este sedimento é novamente colocado em movimento em direção a jusante.

A ocorrência pulsada do transporte de sedimentos, anteriormente mencionada, pode ser avaliada, de forma quantitativa, como explicado a seguir.

Assim como os incrementos da carga sedimentar apresentados na Tabela 5 com relação ao ano hidrológico 2017-2018, a Tabela 6 apresenta a relatividade da carga entre os semestres chuvosos, nov. 2016 – abr. 2017 e nov. 2018 – abr. 2019 com o semestre mais chuvoso: nov. 2017 – abr. 2018, e com base nos valores da Tabela 2, essa variação relativa foi calculada.

Tabela 6 – Variação da carga sedimentar semestral relativa ao semestre mais chuvoso (nov. 2017 - abr. 2018)

Estação	nov. 2016 □ abr. 2017 (%)	nov.2018 □ abr. 2019 (%)
P1	22,49	21,37
P2	17,76	58,86
P3	4,01	8,50
P4	5,14	11,76
P5	5,81	16,76

Fonte: Jefferson V. Bandeira, Engenheiro, CDTN, 2020.

Os valores mostrados nesta tabela permitem concluir o seguinte:

- Aparte a Estação P1, que é a entrada do trecho de medições no Rio Pandeiros, os maiores percentuais relativos da carga total são das estações P2 e P5, que apresentam as menores declividades relativas às estações imediatamente a montante e, portanto, têm mais chance de ter sedimento depositado de forma pulsada junto às margens e no próprio leito, proveniente de chuvas passadas e remobilizados no período chuvoso;
- Isso mostra que os trechos de menor declividade a montante das estações P2 e P5 favorecem uma maior deposição de sedimentos em período de seca transportado no período chuvoso anterior. Assim, é proporcionada a existência de mais material, fracamente consolidado, apto a ser remobilizado facilmente no período chuvoso imediatamente posterior.

Em síntese, estas constatações quantitativas esclarecem o caráter pulsado do transporte de sedimentos ao longo do curso do Rio Pandeiros.

Em função do tamanho de área a montan-

te de P1, da maior declividade e do grande número de voçorocas é que se registrou a maior descarga específica em relação às outras estações: $1490,74 \text{ t.km}^{-2}.\text{ano}^{-1}$ no período nov. 2017 a out. 2018 (TABELA 4).

Portanto, depreende-se dos resultados apresentados que a área a montante da Estação P1 é uma fonte importante dos sedimentos transportados pelo Rio Pandeiros.

Transporte de sedimentos e a PCH Pandeiros

Situados entre as estações P3 e P4, a barragem e o reservatório da PCH Pandeiros ocupam uma posição estratégica na bacia. A área a montante da PCH (3.634 km^2), é onde está localizada a maioria das 215 voçorocas identificadas e representa 91,93 % da área total da bacia (MAPA 5). A presença do barramento da PCH, represando o fluxo do rio, proporciona uma região de remanso, com cerca de 2 km de extensão a montante, de baixíssima declividade, que promove uma atenuação da velocidade do escoamento e, conseqüentemente, do transporte de sedimento.



Mapa 5 – Área a montante da PCH Pandeiros na bacia de drenagem do Rio Pandeiros



Fonte: Cláudio J. Chagas, Geógrafo, CDTN, 2021.

Destaca-se que o assoreamento do reservatório da PCH, encontra-se estável para a atual baixa declividade da linha de energia do escoamento, correspondente ao trecho do rio no interior do reservatório (entre o limite de remanso a montante e a barragem). Caso seja feita uma abertura controlada da comporta de fundo, e esta permaneça aberta por um longo tempo, o escoamento no fundo, associado à carga hidráulica na região da comporta, provocará uma ruptura da estabilidade para montante do barramento com erosão paulatina da areia depositada. Com isso, a declividade da linha de energia do escoamento aumentará, acarretando maior transporte de sedimento para jusante. Isto significa que uma grande

parte do sedimento já estabilizado no reservatório passará para jusante da barragem. Se a barragem for removida, este aumento da declividade será irreversível e o impacto da remobilização do sedimento será maior e permanente.

Um exemplo da remobilização para jusante de sedimento decorrente da abertura de comporta de fundo de PCH, pode ser visto nas Fotografias 3 e 4, para a PCH Paciência, no Rio Paraibuna, no Município de Matias Barbosa, MG (BANDEIRA *et al.*, 2012).



Fotografia 3—Vista para montante da barragem da PCH Paciência, em descarga de fundo. Rio Paraibuna, município de Matias Barbosa, MG



Fonte: BANDEIRA *et al.*, 2012.

Fotografia 4 – Vista lateral, barragem da PCH Paciência, em descarga de fundo, Rio Paraibuna, município de Matias Barbosa, MG



Fonte: BANDEIRA *et al.*, 2012.



No caso do Rio Pandeiros, pode-se valer da presença da PCH Pandeiros, para atenuar ainda mais o transporte de sedimento para jusante, abrangendo os períodos de maior pluviosidade, como o ocorrido entre nov. 2017 e abr. 2018, efetuando-se a dragagem no interior do reservatório, com um volume experimental de pelo menos cerca de 1/3 do volume de sedimento (78.668 m³) que foi calculado para a Estação P3, no período mais chuvoso: nov. 2017 a abr. 2018, conforme Tabela 3, ou seja: da ordem de 26.000 m³, que poderá ser aproveitado na construção civil ou depositado em local apropriado. O volume dragado funcionará como uma “armadilha de areia”, que poderá ser preparada antes de cada estação chuvosa.

As duzentas e quinze voçorocas identificadas por Lima (2019), necessitam de providências para serem estabilizadas, com a finalidade de minimizar a produção e o transporte de sedimentos, e a atenuar o assoreamento.

Esta constatação reforça a importância de se manter a barragem/reservatório da PCH Pandeiros como um instrumento de manejo do transporte de sedimentos para minimizar o aporte de sedimentos ao pantanal, situado na região da foz do Rio Pandeiros.

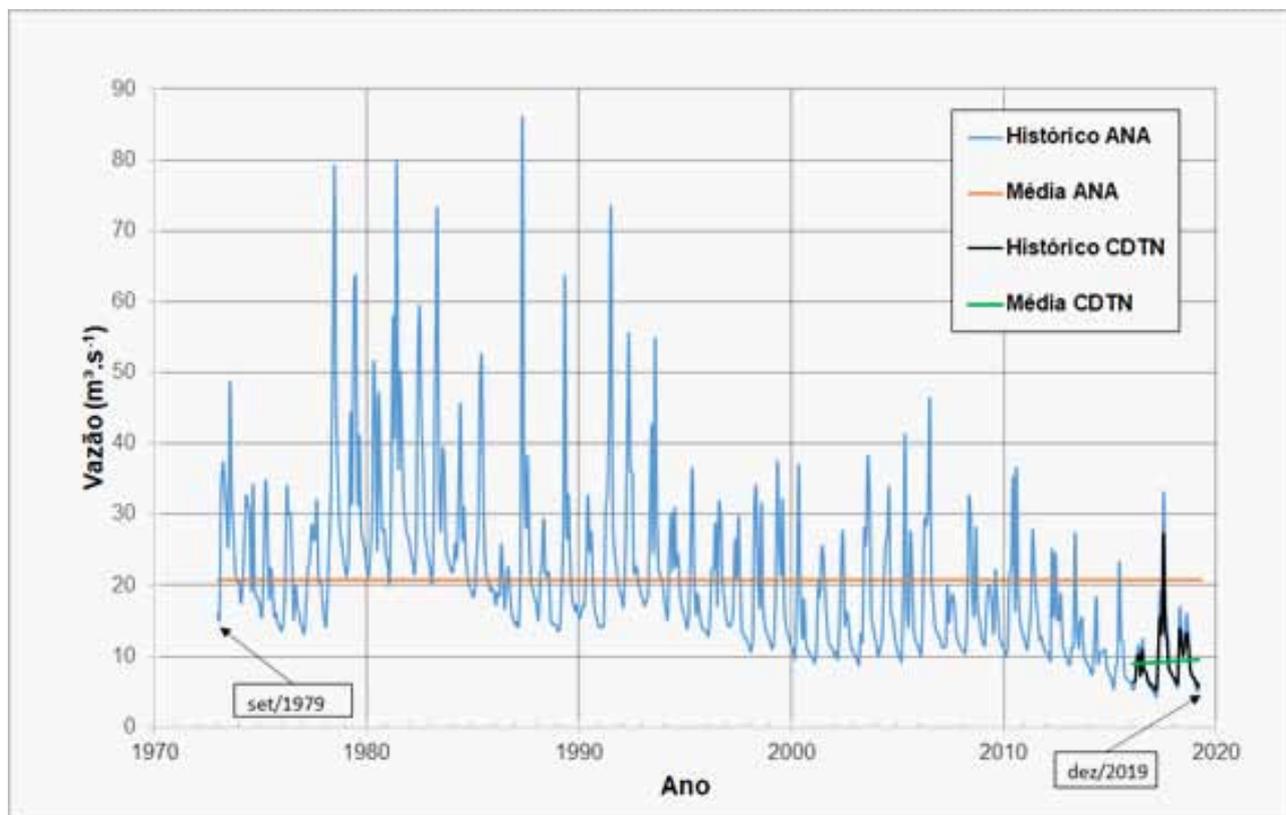
Assim, qualquer estudo visando um possível descomissionamento da PCH Pandeiros pela retirada física da barragem, ou optando por uma abertura controlada de sua comporta de fundo, mantendo a estrutura da barragem, deverá levar em conta o efeito que estas ações provocarão no aumento da declividade da linha de energia do escoamento, o que poderá causar a remobilização, para jusante,

do sedimento depositado na região do reservatório, desde a construção da usina.

Disponibilidade hídrica e a PCH Pandeiros

Como já mencionado, a Estação Usina Pandeiros Montante, pertencente à ANA e operada pela CPRM, possui dados de vazão desde a década de 70. O Gráfico 7 mostra a série histórica de vazões médias mensais entre agosto de 1973 e dezembro de 2019, denominada Histórico ANA. Sobreposta à esta série, se encontra a série histórica de vazões obtidas entre setembro de 2016 e dezembro de 2019, denominada Histórico CDTN, resultante das medições realizadas pelo CDTN. (BANDEIRA *et al.*, 2020a).

Gráfico 7 – Histórico das vazões médias mensais da Estação Usina Pandeiros Montante (ago. 1973 a dez. 2019 - ANA) e Estação P3 (set. 2016 a dez. 2019 - CDTN)



Fonte: Adaptado de BANDEIRA *et al.*, 2020a.

A média das vazões médias mensais foi de $20,60 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, no intervalo de 46 anos (1973 a 2019), de operação da estação da ANA. Observa-se, entretanto, uma tendência à diminuição das vazões médias mensais a partir do início da década de 90. Assim, no intervalo entre 2016 e 2019, no qual o CDTN realizou medições em P3, esta média foi de $9,14 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, ou seja: apenas 44,28 % do valor correspondente ao período completo de operação da estação.

Esta diminuição bastante expressiva das vazões, ou seja, da disponibilidade hídrica no Rio Pandeiros, é preocupante.

Como mostram os resultados da granulometria, o material de fundo contido no reservatório é, em sua grande maioria, areia média de granulometria aproximada (D_{50}) igual a 0,3

mm (MAPA 3). Esse material só deverá ser remobilizado se houver interferência antrópica adequada para reaproveitamento, tanto da areia quanto do espaço deixado pela sua retirada.

Em vista disso, a dragagem proposta do reservatório da PCH para a retenção de sedimento poderá funcionar, concomitantemente, como um reservatório de armazenamento de água para suprir as futuras demandas da comunidade de Pandeiros e adjacências.

Considerações Finais

Diante dos estudos realizados, pode-se concluir que a origem do processo de assoreamento provém dos sedimentos desagregados das voçorocas, sendo a maioria delas locali-

zada a montante da PCH de Pandeiros; e da superfície da bacia, distinta do processo de voçorocamento, sendo uma fonte difusa que permanentemente alimenta o transporte de sedimentos pelo rio. O sedimento que aporta na região do Pantanal Mineiro faz parte de um processo sedimentar cuja dinâmica ocorre há milhares de anos, sendo um processo que interage, inclusive com o regime de cheias do Rio São Francisco.

Consideramos a utilização do reservatório da PCH Pandeiros, através de dragagem da região logo à montante da barragem, como a única opção efetiva para a minimização, urgente e imediata, do aporte de sedimentos ao Pantanal Mineiro, enquanto medidas corretivas são implementadas na região de montante, a qual representa 91,93 % da área total de drenagem da bacia (MAPA 5).

Esta dragagem deverá ser realizada sempre em período seco (maio a outubro), com a finalidade de se criar uma armadilha de deposição do sedimento, sobretudo areia, que chegará no período chuvoso seguinte (novembro a abril). Enquanto isso, medidas corretivas para diminuir as erosões deverão ser implementadas na cabeceira do rio. A areia dragada poderá ser, principalmente, destinada à construção civil.

Este procedimento criará também um volume de reservação que poderá funcionar, concomitantemente, como um reservatório de armazenamento de água para suprir as futuras demandas da comunidade de Pandeiros e adjacências.

Um dos objetivos principais do Edital *Sustentabilidade da Bacia do Rio Pandeiros* é a preservação do Pantanal Mineiro, sendo este

uma particularidade especial e única no estado de Minas Gerais, o qual é responsável por uma parte considerável da reprodução da ictiofauna do médio Rio São Francisco. Assim, os estudos multidisciplinares que abrangem a totalidade da bacia, indicam que não se deve facilitar a passagem de sedimento originado a montante da barragem, quer seja por descarga de fundo ou a total remoção da barragem.

O estudo apresentado é, portanto, uma contribuição para traçar diretrizes bem fundamentadas para um manejo adequado e a preservação da região da Bacia Hidrográfica do Rio Pandeiros.

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Hidroweb**. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/hidroweb>. Acesso em: 29 dez. 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Manual de construção da base hidrográfica otocodificada: fase 1 – construção da base topológica de hidrografia e otto bacias conforme a codificação de bacias hidrográficas de Otto Pfafstetter**. 2. ed. Brasília: ANA, 2007.

BANDEIRA, J. V.; SALIM, L. H.; CHAGAS, C. J.; CAMARGOS, C. C.; FRANÇA, G. P. DE; SÁ, L. P. Aspectos hidráulicos e o transporte de sedimentos ao longo do Rio Pandeiros, MG, até o Pantanal mineiro, junto à sua foz. *In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE SEDIMENTOS*, 14., 2020a, Campinas, SP. **Anais [...]**. Campinas: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2020. p. 1-9.

BANDEIRA, J. V.; SALIM, L. H.; FERREIRA, V.V.M.; JUNQUEIRA M. V. G.; BARBOSA H.S.P.C.; CARVALHO, M. D. DE; MOTA, H. R. Assoreamento de reservatórios, descargas de fundo e avaliação de impactos ambientais: caso estudo da PCH de Paciência, rio Paraibuna, MG. *In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE SEDIMENTOS*, 10., 2012, Foz do

Iguaçu. **Anais**. [...]. Foz do Iguaçu, PR: Universidade Técnica Federal do Paraná, 2012. p. 1-19.

BANDEIRA, J. V.; SALIM, L. H.; CHAGAS, C. J.; CAMARGOS, C. C.; AUGUSTIN, C. H. R. R.; JARDIM, C. H.; ARANHA, P. R. A.; COSTA, A. M.; SÁ, L. P.; FRANÇA, G. P. Estudos hidrossedimentológicos na bacia hidrográfica do rio Pandeiros, MG, em um contexto multidisciplinar. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE SEDIMENTOS, 13.; PARTÍCULAS NAS AMÉRICAS, 1., 2018, **Anais** [...]. Vitória: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2018. p. 1-8. Disponível em: <https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=402>. Acesso em: 15 jan. 2021.

BANDEIRA, J. V. *et al.* Hydrosedimentological studies in the Paciencia dam, south eastern Brazil. **Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis**, v. 19, n.2, 2012.

BANDEIRA, J. V. *et al.* **Subprojeto 2 - caracterização qualitativa e quantitativa de parâmetros hídricos e sedimentológicos da rede de drenagem do Rio Pandeiros**. Belo Horizonte: Centro de Desenvolvimento da Tecnologia, 2020b. Projeto Sustentabilidade da bacia do rio Pandeiros - MG: dinâmica de vertentes da bacia do rio Pandeiros. Disponível em: <http://www.repositorio.cdtm.br:8080/handle/123456789/1343>.

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

CARVALHO, N. DE O. *et al.* **Guia de práticas sedimentométricas**. Brasília, DF: ANEEL, 2000. 154 p.

CARVALHO, N. DE O. **Hidrossedimentologia prática**. Rio de Janeiro: Interciência, 2008.

CENTRO DE DESENVOLVIMENTO DA TECNOLOGIA NUCLEAR (CDTN); CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS (CETEC). **Batimetria e coleta de dados amostrais**. Relatório Técnico 3 - Ano 1. Projeto GT-198: Avaliação ambiental do rio Paraibuna a jusante da PCH de Paciência, após as descargas de fundo. Belo Horizonte, 2011. Contratante: CEMIG Geração e Transmissão S/A.

CENTRO DE DESENVOLVIMENTO DA TECNOLOGIA NUCLEAR (CDTN); CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS (CETEC). **Relatório final consistindo todos os trabalhos efetuados no projeto**. Relatório Técnico - Ano 2. Projeto GT-198: Avaliação ambiental do rio Paraibuna a jusante da PCH de Paciência, após as descargas de fundo. Belo Horizonte, 2013. Contratante: CEMIG Geração e Transmissão S/A.

COLLINS, A. L.; WALLING, D. E.; LEEKS, G. J. L. Use of composite fingerprints to determine the provenance of the contemporary suspended sediment load transported by rivers. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 23, n. 1, p. 31-52, jan. 1998.

DIETRICH, W. E. *et al.* Geomorphic transport laws for predicting landscape form and dynamics. *In*: Wilcock, P. R.; IVERSON, R. M. (Ed.). **Prediction in Geomorphology Geophysical Monograph**. Washington, DC: American Geophysical Union, 2003. p. 103-132. v. 135.

EDWARDS, T. K.; GLYSSON, G. D. **Field methods measurement of fluvial sediment**. Reston, 1988. 118 p. Open File Report. Disponível em: <https://pubs.usgs.gov/of/1986/0531/report.pdf>. Acesso em: 26 mar. 2019.

FEDERAL INTERAGENCY SEDIMENTATION PROJECT. **A study of methods used in measurement and analysis of sediment loads in streams**. Minneapolis: [s.n.], 1963. 151 p. (Report 14, Determination of fluvial sediment discharge). Disponível em: https://water.usgs.gov/fisp/docs/Report_14.pdf. Acesso em: 26 mar. 2019.

FONSECA, E. M. B. *et al.* PCH Pandeiros: uma complexa interface com a gestão ambiental regional. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE PEQUENAS E MÉDIAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS, 6., 2008, Belo Horizonte. **Anais** [...]. Belo Horizonte: Comitê Brasileiro de Barragens, 2008.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS (IGAM). **Estudo de descomissionamento da PCH Pandeiros, situada no refúgio estadual da vida silvestre Rio Pandeiros e eventuais interferências**. Belo Horizonte, 2017. Disponível em: http://igam.mg.gov.br/images/Item_6_registro_reuniao_PCH_pandeiros_02.06.2017.pdf. Acesso em: 20 jan. 2019.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. (Brasil). **Banco de dados meteorológicos**. Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br/>. Acesso em 29 abr. 2019.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. (Brasil). **Nota técnica: 004/17 Estação Chuvosa em Minas Gerais**. 2017. p.13.

JARDIM, C. H. *et al.* Local rainfall variation in the Pandeiros River basin, Januária-MG. *In*: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE CLIMATOLOGIA, 7., 2017, Petrópolis. **Anais** [...] Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2017.

JARDIM, C. H. *et al.* Variabilidade das chuvas na bacia do Rio Pandeiros, Januária-MG: o período de 2008-2018. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA



FÍSICA APLICADA, 18., 2019, Fortaleza. **Anais [...]**. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2019.

JARDIM, C. H.; MOURA, F. P. Variações dos totais de chuvas e temperatura do ar na bacia do Rio Pandeiros, norte do estado de Minas Gerais-Brasil: articulação com fatores de diferentes níveis escalares em área de transição climática de cerrado para semiárido. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 22, p. 172-179. 2018. Edição Especial Dossiê Climatologia de Minas Gerais.

LEOPOLD, L. B.; WOLMAN, M. G. River meanders. **Bulletin of the Geological Society of America**, v. 71, n. 6, p. 769-793, 1960.

LIMA, A.C.P. **Análise da distribuição espacial de voçorocas em domínio de rochas siliciclásticas**: bacia do Rio Pandeiros-MG. 2019. 91f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019.

MEDEIROS, P. R. P. *et al.* Aporte de sedimentos em suspensão no baixo Rio São Francisco (SE/AL), em diferentes condições hidrológicas. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, v. 15, n. 1, p. 42, jul. 2011.

MOURA, F. P. DE; JARDIM, C. H. Tendência e variabilidade das chuvas em Januária – MG. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA, 12., 2016, Goiânia. **Anais [...]**. Goiânia: Abclima, 2016.

NUNES, Y. R. F. *et al.* Pandeiros: o Pantanal Mineiro. **MG Biota**, v. 2, n. 2, jun./jul. 2009.

OLIVEIRA, D. A. DE; AUGUSTIN, C. H. R. R.; FONSECA, B. M. Proposta de mapeamento e delimitação dos domínios geomorfológicos da bacia hidrográfica do Rio Pandeiros-MG. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 17.; CONGRESSO DE GEOGRAFIA FÍSICA, 1., 2017, Campinas, SP. **Anais [...]**. Campinas, 2017. v.1, p. 6253-6262, 2017.

PETTS, G. E. **Rivers**. Whitstable: Butterworth & Co, 1983. (Sources and Methods in Geography).

QGIS DEVELOPMENT TEAM. **QGIS Geographic Information System**. Versão 3.10. Disponível em: <https://download.qgis.org>. Acesso em: 20 jan. 2019.

ROCHA, R.; BARROS, J. M. C.; VIEIRA, R. Contribuição ao estudo do empolamento de solos. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA, 2012. **Anais [...]**. Porto de Galinhas, PE, 2012.

SANTOS, R. M. DOS *et al.* Riqueza e similaridade florística de oito remanescentes florestais no norte de Minas Gerais, Brasil. **Revista Árvore**, v. 31, n. 1, p. 135-144, fev. 2007.

SERRA, J. P.; OLIVEIRA, T. A. DE. Impactos ambientais decorrentes da construção de barragens de usinas hidrelétricas: reflexões e desdobramentos físico-naturais. *In*: **Ciências Ambientais**: diagnósticos ambientais. [S.l.]: Carmino Hayashi, 2020. p. 64-83,

STOTT, T. Fluvial geomorphology 2008-2009. **Progress in Physical Geography**, v. 35, issue 6, p. 810-830, 2011.

WREN, D. G. *et al.* Field techniques for suspended-sediment measurement. **Journal of Hydraulic Engineering**, v. 126, issue 2, Feb. 2000.

Agradecimento

À Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais – FAPEMIG, pela concessão dos recursos necessários ao desenvolvimento da pesquisa.

