

---

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

*Cristina Helena Ribeiro Rocha Augustin<sup>1</sup>, Bráulio Magalhães Fonseca<sup>2</sup>, Diego Alves de Oliveira<sup>3</sup>, Arnon Costa Pereira de Lima<sup>4</sup>, Paulo Roberto Antunes Aranha<sup>5</sup>, Guilherme Gandra Franco<sup>6</sup>, Jefferson Vianna Bandeira<sup>7</sup>*

## 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*.

---

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

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

<sup>3</sup>Instituto 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

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

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

<sup>6</sup>Instituto 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

<sup>7</sup>Centro 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 subúmidas, 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

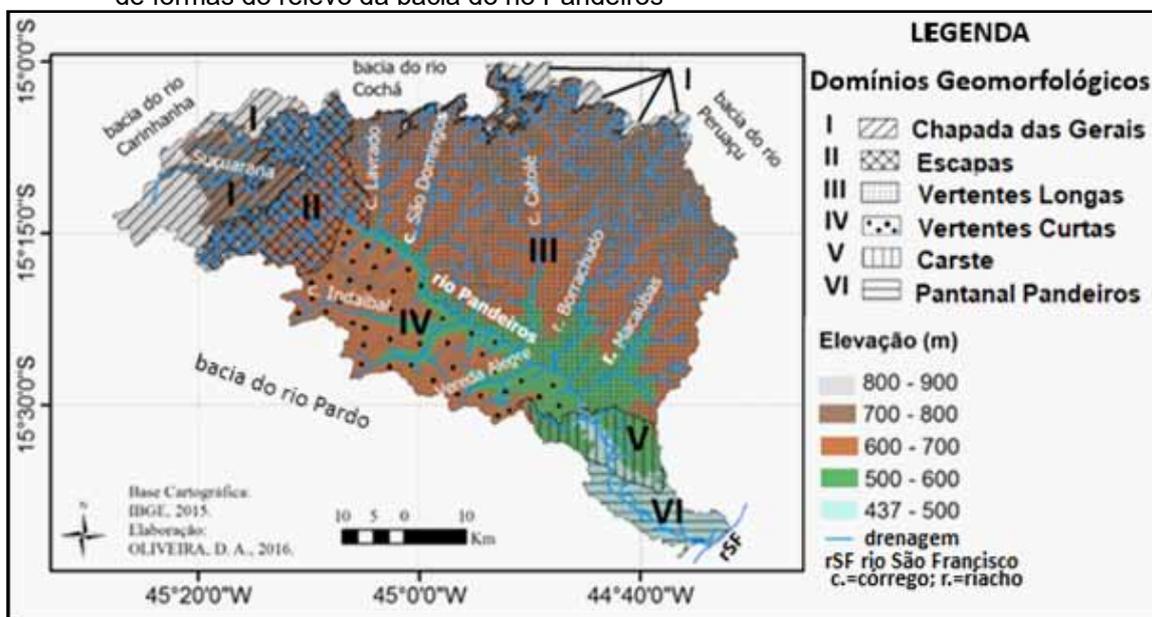


lato sensu (l.s.) entre as quais se distingue: campo, cerrado denso, cerrado ralo, cerrado típico sensu stricto (s.s.), vereda, floresta decídua e floresta semidecídua (OLIVEIRA, 2013; SCOLFORO; CARVALHO, 2006). A ocorrência dessas fitofisionomias encontra-se em grande parte condicionada a fatores como 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).

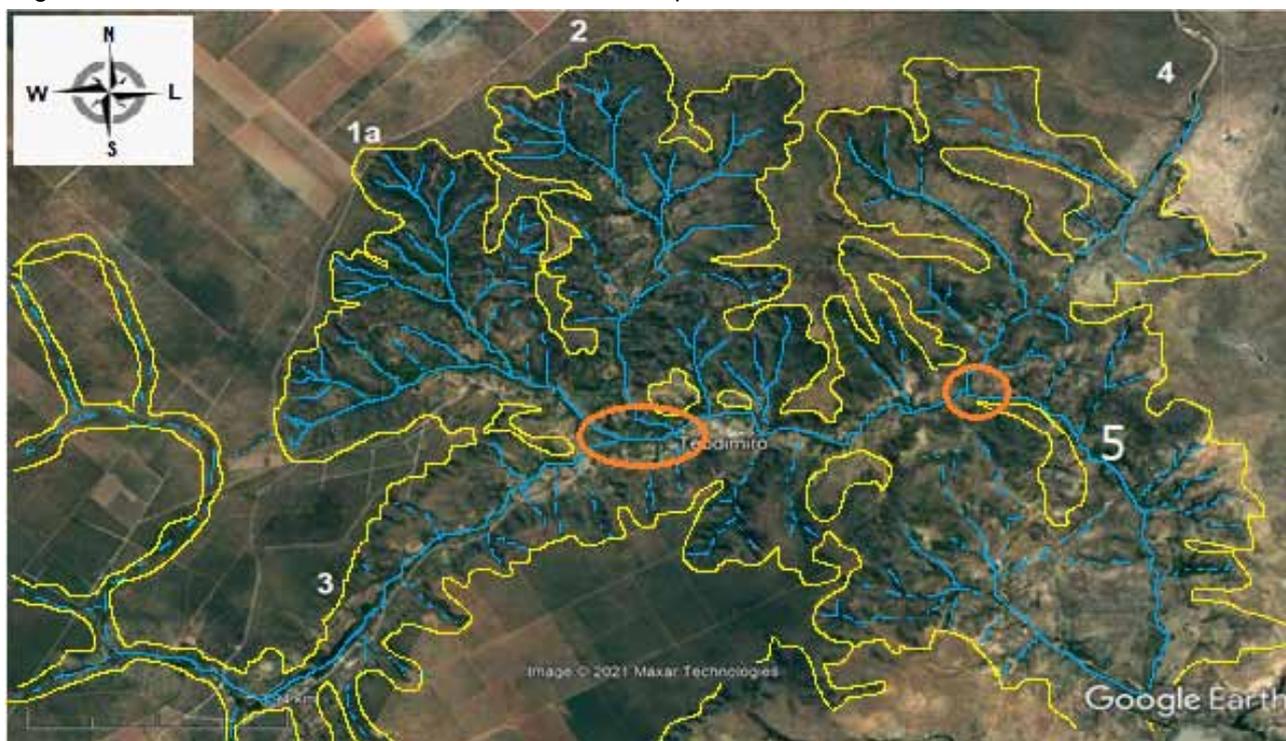
O ribeirão Pandeiros, após receber as águas do riacho da Ema, Figura 1, n. 4, passa a ser denominado de rio Pandeiros (FIGURA



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

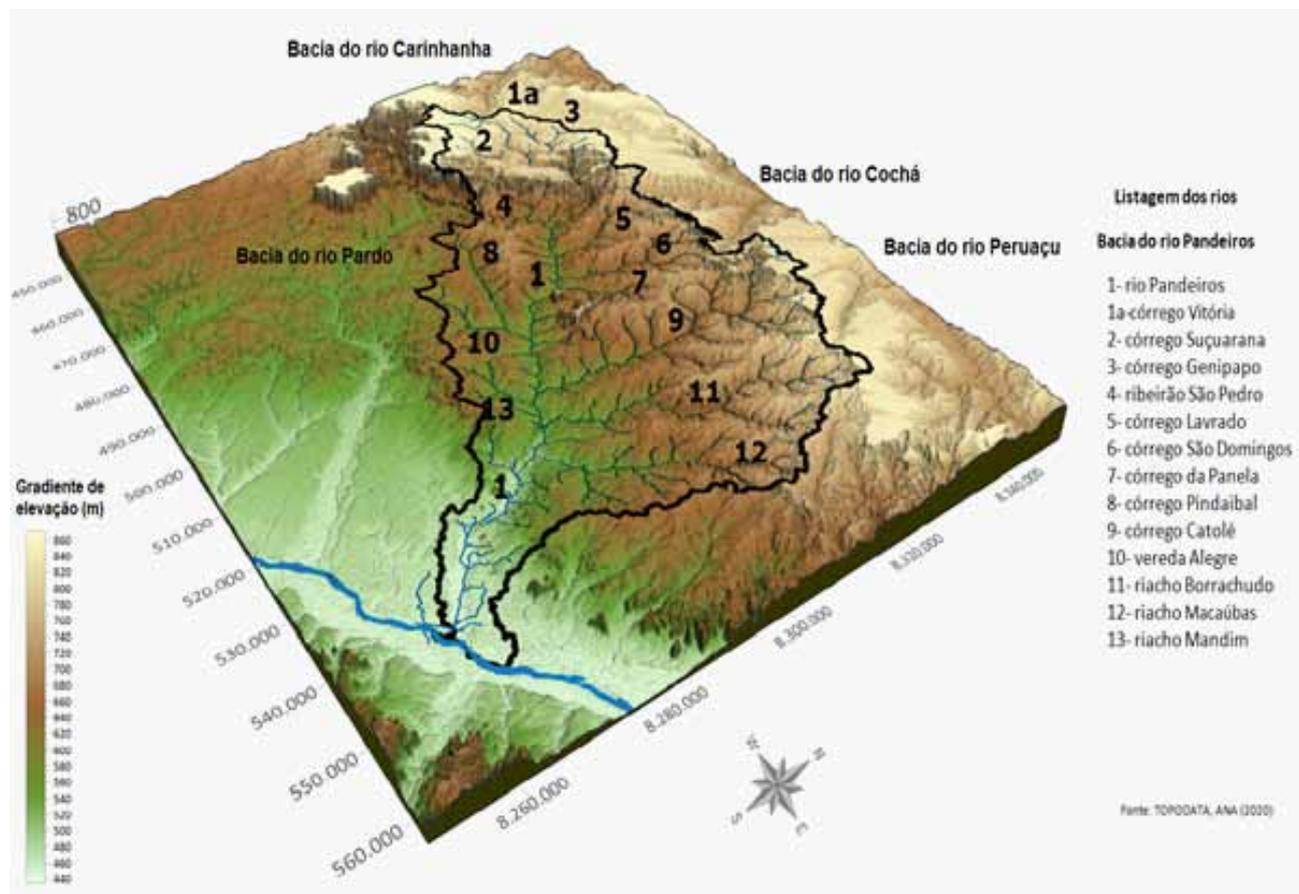


ação de vários processos de erosão fluvial, entre os quais os de abrasão, atrito, ação hidráulica e solução, ao longo dos eixos da drenagem a remontante (BISHOP, 1995; DIE-TRICH; RENEAU; WILSON, 1987; LEOPOLD; WOLMAN; MILLER, 1964). O aprofundamento dos canais foi, portanto, decorrente da erosão vertical, 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**

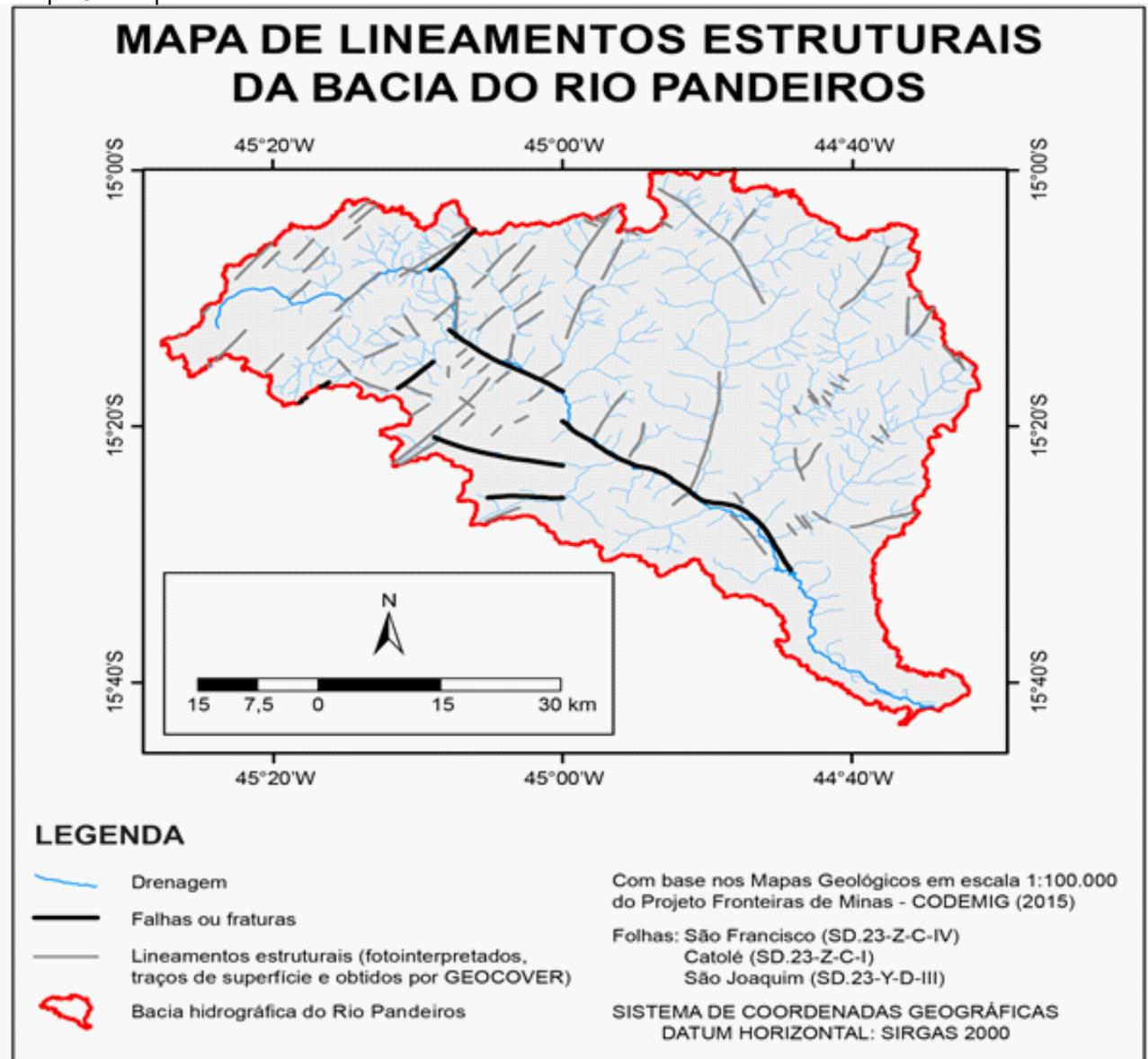
O recuo de interflúvios onde estão localizadas as cabeceiras e a captura das drenagens dos afluentes são normalmente decorrentes da alteração do nível de base do canal principal por condições de mudanças tectônicas, climáticas e litoestruturais, ao longo do tempo (LARUE, 2011; MUDD; FURBISH, 2005; WENDE, 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



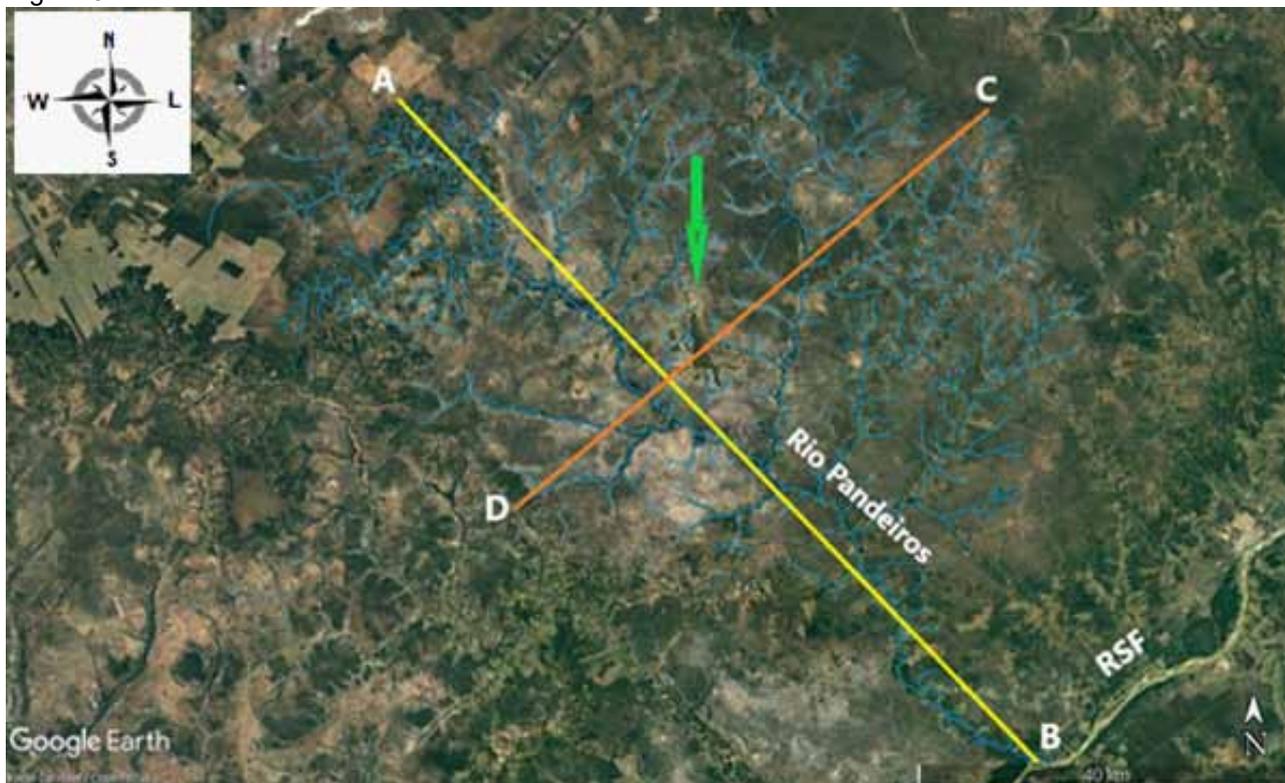
Fonte: Elaborado pelos autores, com base em CODEMIG; UFMG, 2015.

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.

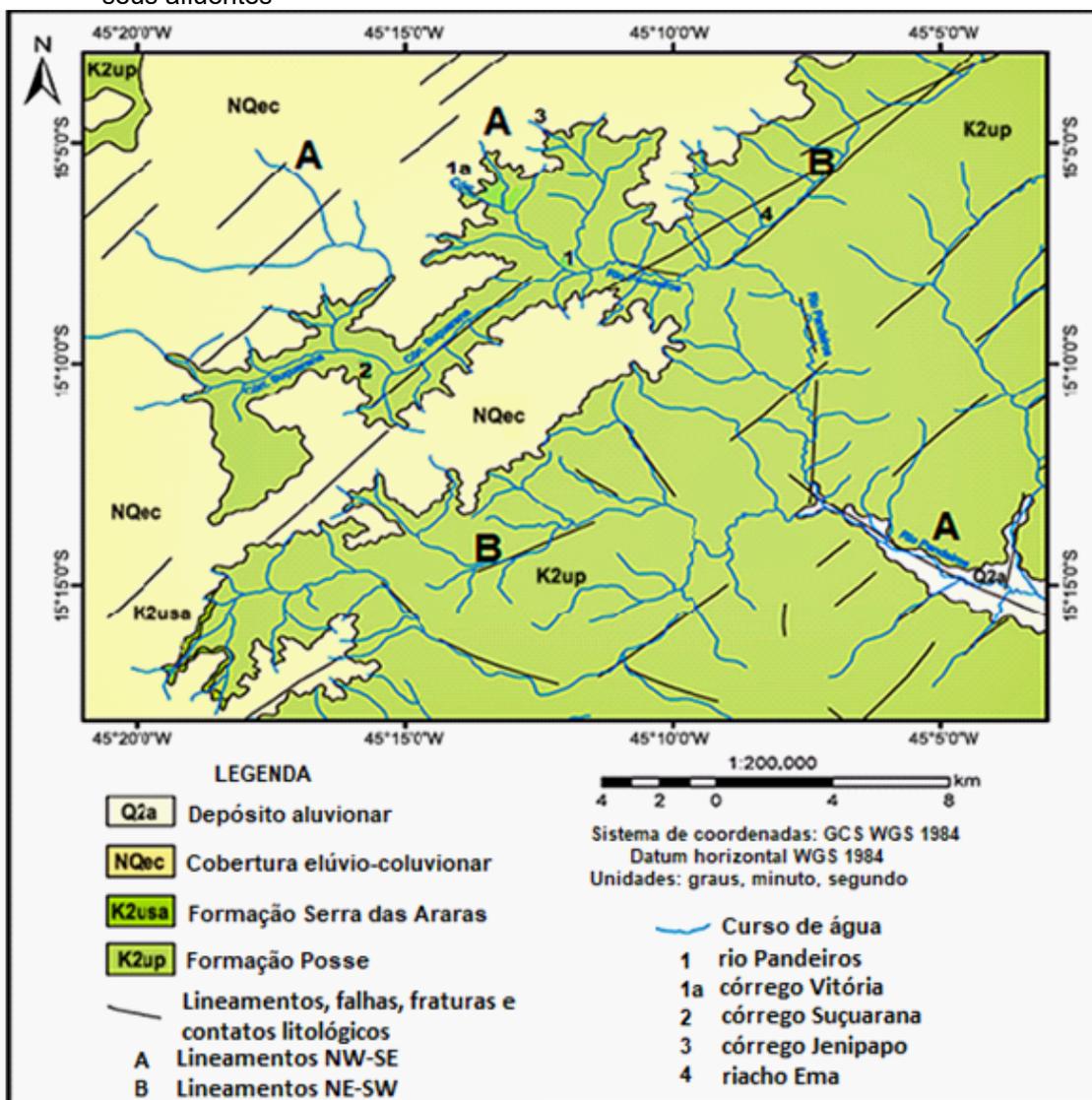
Esses relevos testemunhos encontram-se, nos dias de hoje, distantes dos grandes interflúvios do Domínio das Escarpas NW, N e NE. A presença das formas reliquias planas (mesetas) nas porções médias da bacia indica que houve, ao longo do tempo, migração das cabeceiras do rio Pandeiros de uma posição mais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

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.

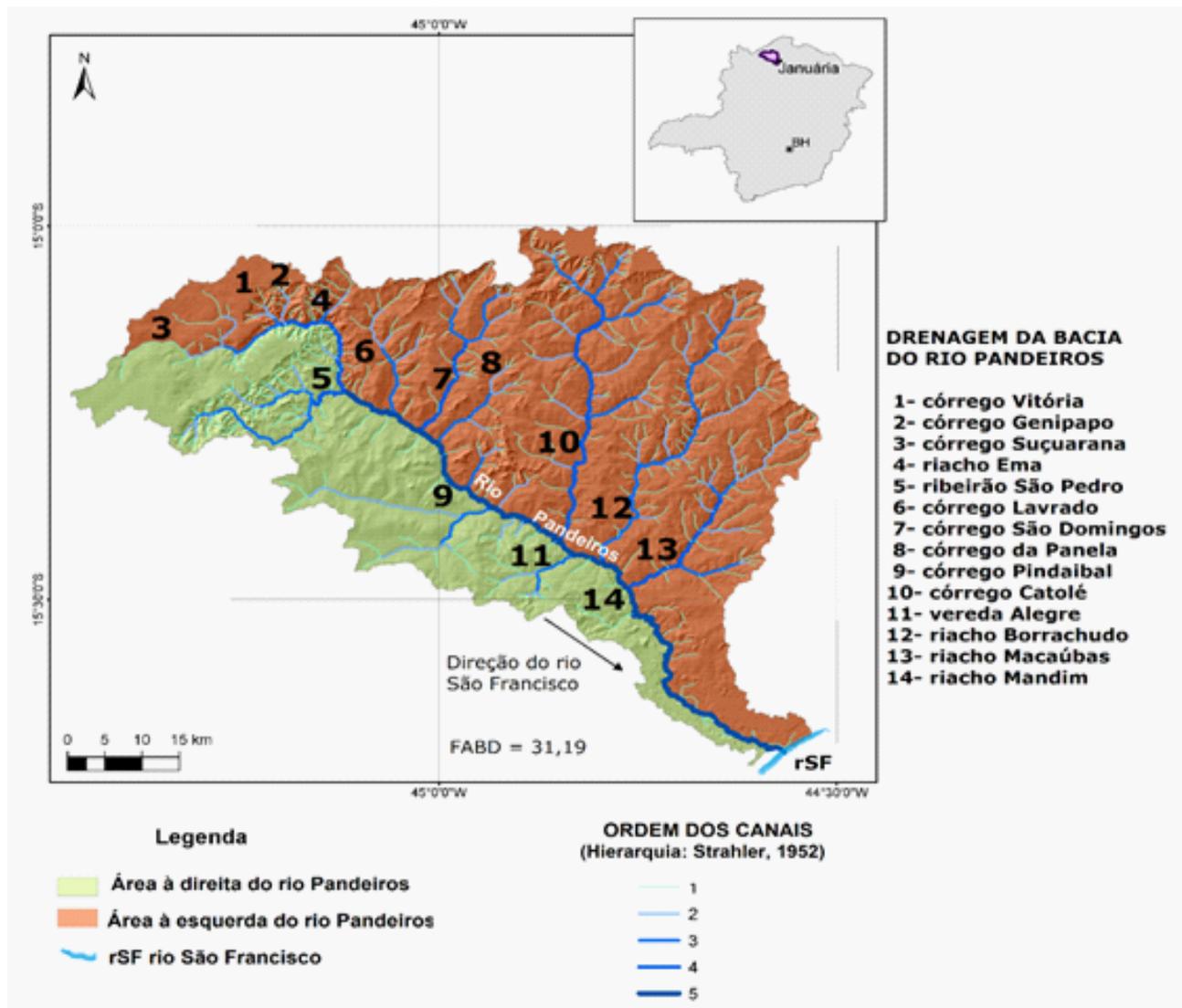
Augustin *et al.*, (2020), no entanto, apontam a ausência de inclinação ou de deslocamento vertical ou horizontal das camadas das rochas sedimentares do Grupo Urucuia, de um lado e outro da bacia. Segundos esses autores, o fato sugere a existência de outras causas envolvidas na assimetria medida (MAPA 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 Km<sup>2</sup> da área total da bacia, dando uma densidade média de 0,0446 Km/Km<sup>2</sup>.

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

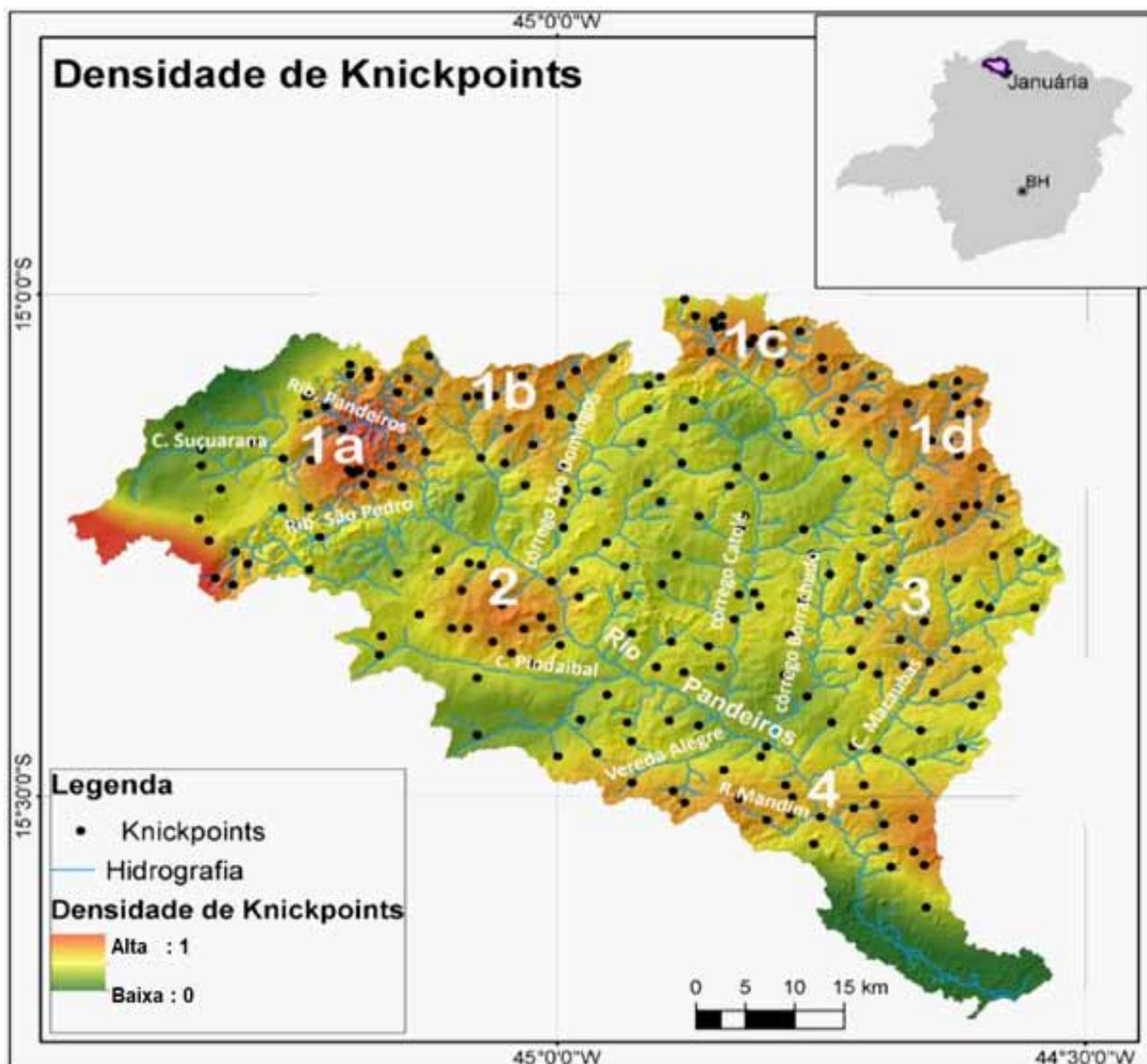


Pandeiros, dos interflúvios do riacho Mandim, no lado direito da bacia, até os do córrego Macaúbas, na margem esquerda, quase marcando o início do Pantanal.

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).

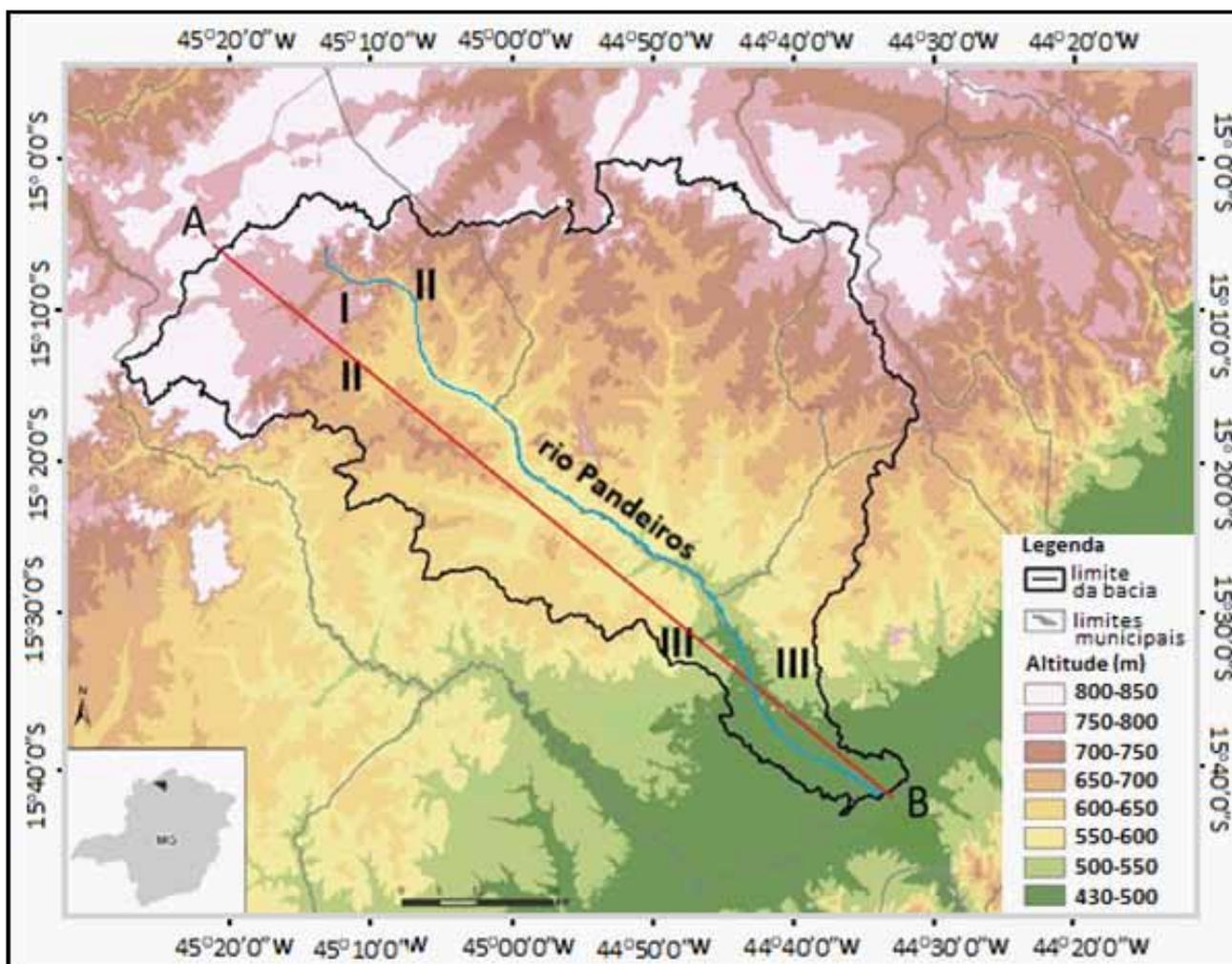
Nota: Mostra a ocorrência de 4 Zonas de rupturas acentuadas de declive: 1 (1a, 1b, 1c e 1d), 2, 3 e 4, indicadas também no Mapa de Classes de Declividade.

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

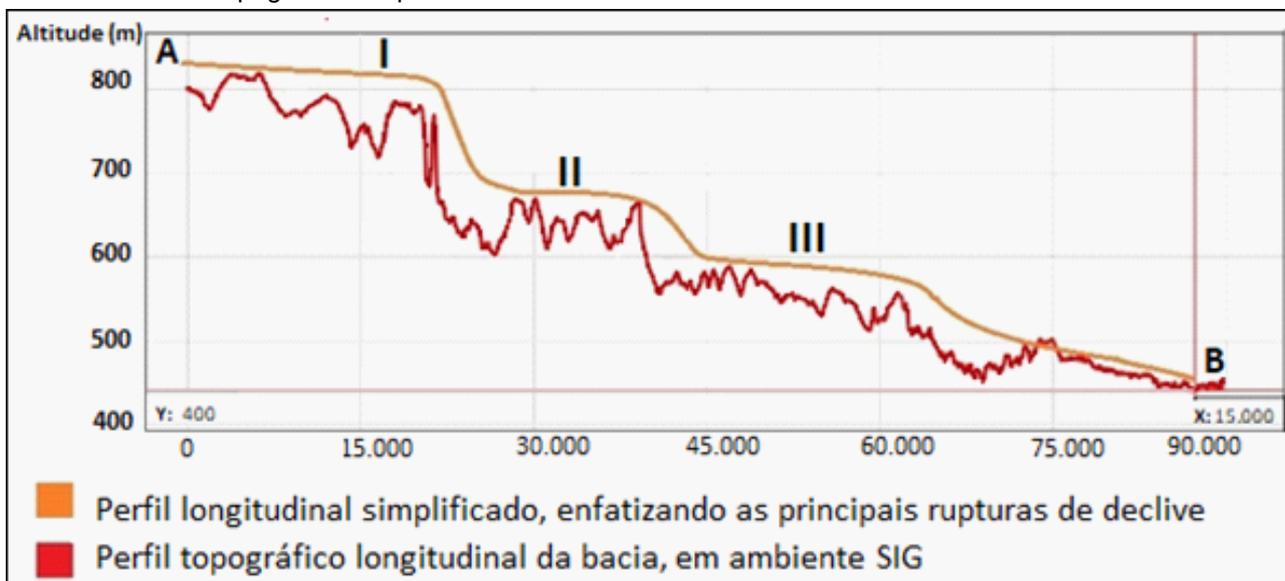


Fonte: LIMA *et al.*, 2019.

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<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup>, 3<sup>a</sup> e 4<sup>a</sup> 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: <https://asf.alaska.edu/data-sets/derived-data-sets/alos->

[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.

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 aero-



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](https://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 <sup>7</sup>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.

