

## **A INFLUÊNCIA DE GRANITOS NO CONTROLE DA REDE DE DRENAGEM NA BACIA DO RIO SAPUCAÍ-MIRIM (SP/MG)**

Sofia Soto Bonassa<sup>1</sup>  
Isabella de Oliveira Carvalho<sup>2</sup>  
Rhian Silva Mendonça<sup>3</sup>  
Marcelo Augusto Ribeiro Pires<sup>4</sup>  
Luisa Baptistella Zanete<sup>5</sup>  
Felipe Gomes Rubira<sup>6</sup>

### **INTRODUÇÃO**

Pesquisas sobre parâmetros morfométricos aplicados em bacias hidrográficas são cada vez mais utilizadas para compreensão da evolução da paisagem fluvial de longo-termo (Prince; Spotila; Henika, 2011; Taloor et al., 2021). Essas pesquisas analisam vertentes e drenagens para investigar testemunhos associados a soerguimentos tectônicos, erosão, sedimentação e resistência diferencial da rocha à erosão em áreas que preservam heranças de ciclos orogênicos (Reis et al., 2023).

A evolução da paisagem fluvial é influenciada pelo tipo de rocha nas vertentes e no leito do rio. Sob a ótica geomorfológica, a litologia exerce influência sobre os processos de escoamento superficial, infiltração, desagregação mecânica e decomposição química (Maia et al., 2015). Neste contexto, os efeitos das intrusões graníticas no controle da drenagem regional têm sido estudados, destacando-se a formação de *knickpoints* com degraus verticais que são difíceis de suavizar pela erosão remontante, mesmo em regiões montanhosas (Pelletier et al., 2009; Castillo; Ferrari; Martins et al., 2017; Muñoz-Salinas, 2017).

Neely, Bookhagen e Burbank (2017) afirmam que *knickpoints* desse tipo são caracterizados por uma mudança abrupta na declividade do canal, geralmente devido a uma alteração na resistência da rocha. Assim, ao considerar a influência das intrusões graníticas na evolução das paisagens fluviais, é importante analisar tanto a resistência

---

<sup>1</sup> Graduanda pelo Curso de Geografia Bacharelado da Universidade Federal de Alfenas – UNIFAL-MG, [sofia.bonassa@sou.unifal-mg.edu.br](mailto:sofia.bonassa@sou.unifal-mg.edu.br);

<sup>2</sup> Graduanda pelo Curso de Geografia Bacharelado da Universidade Federal de Alfenas – UNIFAL-MG, [isabella.carvalho@sou.unifal-mg.edu.br](mailto:isabella.carvalho@sou.unifal-mg.edu.br);

<sup>3</sup> Graduando pelo Curso de Geografia Bacharelado da Universidade Federal de Alfenas – UNIFAL-MG, [rhian.mendonca@sou.unifal-mg.edu.br](mailto:rhian.mendonca@sou.unifal-mg.edu.br);

<sup>4</sup> Graduando pelo Curso de Geografia Licenciatura da Universidade Federal de Alfenas – UNIFAL-MG, [marcelo.pires@sou.unifal-mg.edu.br](mailto:marcelo.pires@sou.unifal-mg.edu.br);

<sup>5</sup> Graduanda pelo Curso de Geografia Licenciatura da Universidade Federal de Alfenas – UNIFAL-MG, [luisa.zanete@sou.unifal-mg.edu.br](mailto:luisa.zanete@sou.unifal-mg.edu.br);

<sup>6</sup> Professor orientador: Prof. Dr. Felipe Gomes Rubira, Instituto de Ciências da Natureza - ICN, Universidade Federal de Alfenas – UNIFAL-MG, [felipe.rubira@unifal-mg.edu.br](mailto:felipe.rubira@unifal-mg.edu.br).

dessas rochas à erosão quanto os efeitos que elas exercem sobre a dinâmica dos rios e a morfologia das vertentes.

Uma metodologia recentemente difundida no Brasil pode ser utilizada para avaliar os efeitos de intrusões graníticas na evolução da paisagem, trata-se do *índice de declividade normalizada do canal* ( $k_{sn}$ ). Este parâmetro, sensível à litologia, permite comparar a declividade dos canais fluviais em diferentes áreas de drenagem (Peifer; Cremon; Alves, 2020). Altos valores de  $k_{sn}$  indicam altas taxas de erosão e denudação das rochas ou zonas de soerguimento, enquanto baixos valores correspondem a áreas propensas à deposição de sedimentos em ambientes de menor energia fluvial (Kirby; Whipple, 2012). Valores elevados de  $k_{sn}$  são geralmente encontrados em embasamentos duros, como quartzitos e granitos (Leonard; Whipple; Heimsath, 2023).

Neste contexto, esta pesquisa objetiva avaliar a influência morfoestrutural que intrusões graníticas exercem na evolução de longo termo da paisagem fluvial de cinturões móveis neoproterozoicos. A bacia do rio Sapucaí-Mirim (MG), na Serra da Mantiqueira, foi selecionada como área de estudo, onde modernos índices foram aplicados para avaliar variação da erosão fluvial na área.

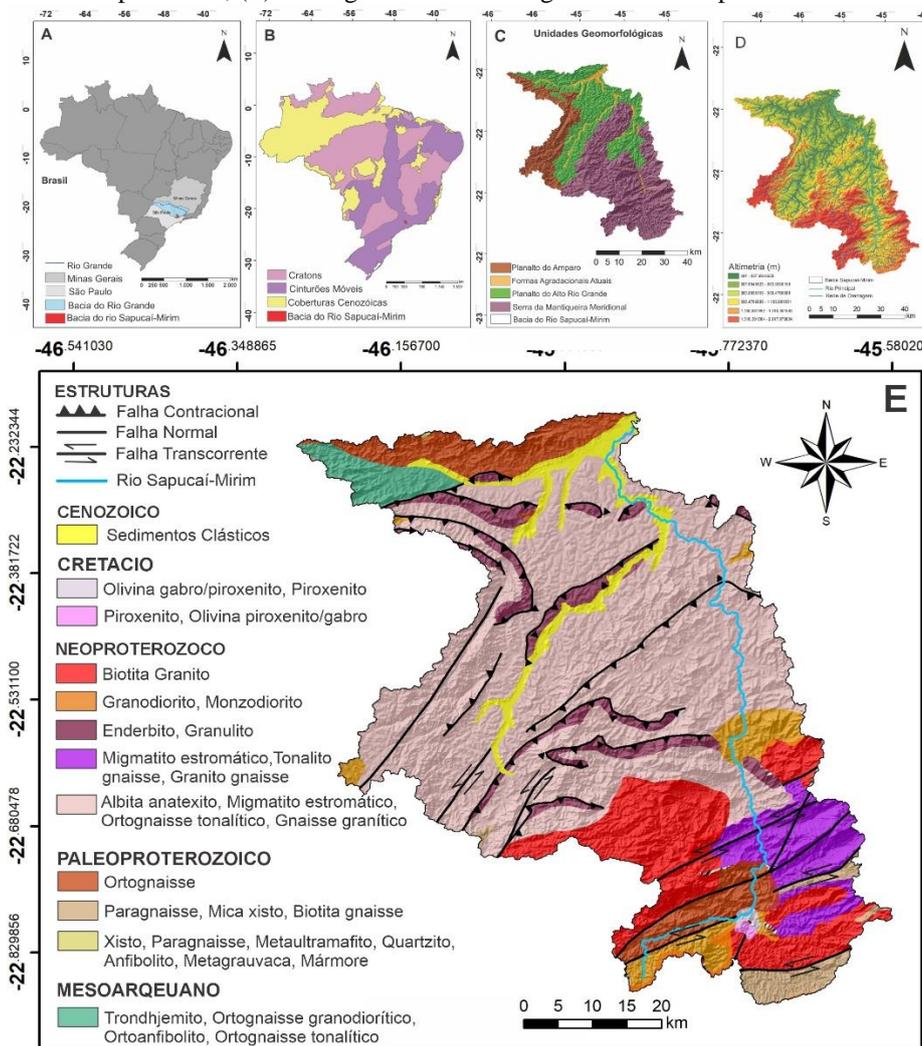
## **METODOLOGIA**

### **ÁREA DE ESTUDO**

A bacia do rio Sapucaí-Mirim, localizada na divisa entre São Paulo e Minas Gerais, é uma sub-bacia do rio Sapucaí, afluente do rio Grande (MG) (Figura 1A). O domínio morfoestrutural está associado aos cinturões móveis neoproterozoicos (Figura 1B), e as regiões geomorfológicas incluem a Serra da Mantiqueira Meridional, Planalto do Alto Rio Grande e Planalto de Amparo (Figura 1C). No Planalto do Rio Grande, a altimetria é menor, com terraços, planícies e leitos aluviais em áreas planas adjacentes a baixos cursos fluviais. As áreas mais elevadas, em contraste, estão associadas à Serra da Mantiqueira, caracterizada por uma zona altamente dissecada (Figura 1D).

As evidências deformacionais estão associadas a colisões neoproterozoicas que levaram à formação do Gondwana e ao rifteamento cretáceo que resultou na abertura atlântica e no desenvolvimento do Rift do Sudeste Brasileiro (Hasui, 2010). Esses eventos causaram dobramentos, falhamentos e metamorfismo, afetando a disposição litológica, que é composta principalmente por gnaisses, granitos, quartzitos, xistos e sedimentos clásticos cenozoicos (Figura 1E) (Silva et al., 2020).

**Figura 1.** (A) localização da área de estudo; (B) bacia do alto e médio rio Sapucaí-mirim sobreposta aos Cinturões Móveis Neoproterozoicos; (C) compartimentos geomorfológicos (IBGE, 2023); (D) hipsimetria; (E) Geologia da Bacia hidrográfica do rio Sapucaí-Mirim



## MATERIAIS

Todos os parâmetros foram processados no pacote de ferramentas *TopoToolbox 2*, hospedado no *software* MATLAB v.2021a (Schwanghart; Scherler, 2014), utilizando o Modelo Digital de Elevação Copernicus (Cop-DEM), com 30 metros de resolução espacial, obtido da plataforma *Open Topography* (<https://opentopography.org/>).

## MÉTODOS

O  $k_{sn}$  foi aplicado na rede de drenagem para avaliar a potência fluvial (Equação 1). Para isso, foram realizados os seguintes procedimentos: eliminação dos ruídos do MDE; extração da drenagem com uma área de contribuição mínima de 500 pixels e remoção de canais de 1ª ordem menores que 10 km; cálculo do *índice de concavidade comum* ( $\theta = 0,45$ ); e determinação dos valores de  $k_{sn}$  em segmentos de fluxo.

$$k_{sn} = SA^{-\theta_{ref}} \text{ (Equação 1)}$$

Onde:  $S$  é o valor gradiente;  $A$  é área da bacia de drenagem a montante e  $\theta$  é o índice de concavidade de referência (Kirby; Whipple, 2012).

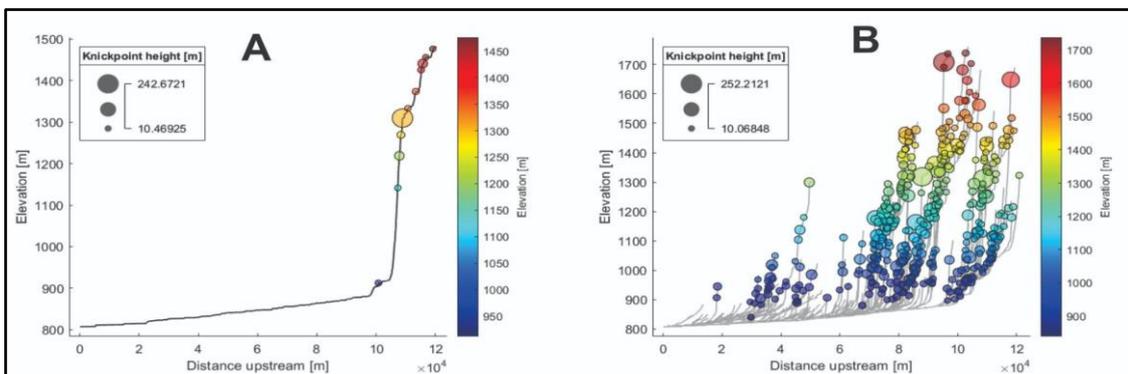
Para a elaboração dos perfis longitudinais, identificação dos *knickpoints*, mensuração de suas magnitudes e extração das 6 drenagens de interesse, foram utilizadas as funções 'plotdz', 'knickpoint finder' e 'point pattern on stream networks', respectivamente (Schawanghart; Scherler, 2014). Em seguida, os dados foram exportados no formato "shapefile" e manipulados no ArcGIS 10.8.1, onde o mapa de densidade de *knickpoints* foi elaborado por meio da função 'Kernel Density'.

A proeminência topográfica foi calculada pelas funções 'prominence' e 'point pattern on stream networks', considerando a diferença de altura mínima para alcançar o cume a partir de um pico mais alto. A altura acima da drenagem mais próxima foi obtida pelo modelo HAND, que espacializa a elevação das encostas em relação à rede fluvial usando a função 'vertdistance2stream'.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram identificados 389 *knickpoints* com alturas superiores a 10 metros e 166 com mais de 20 metros; apenas 11 estão no canal principal, sendo um maior que 20 metros (Figuras 2A e 2B). As maiores concentrações de anomalias do canal principal estão localizadas no alto e, principalmente, no médio curso fluvial (Figura 2A). Esse padrão se estende aos perfis e *knickpoints* de toda a rede de drenagem (Figura 2B).

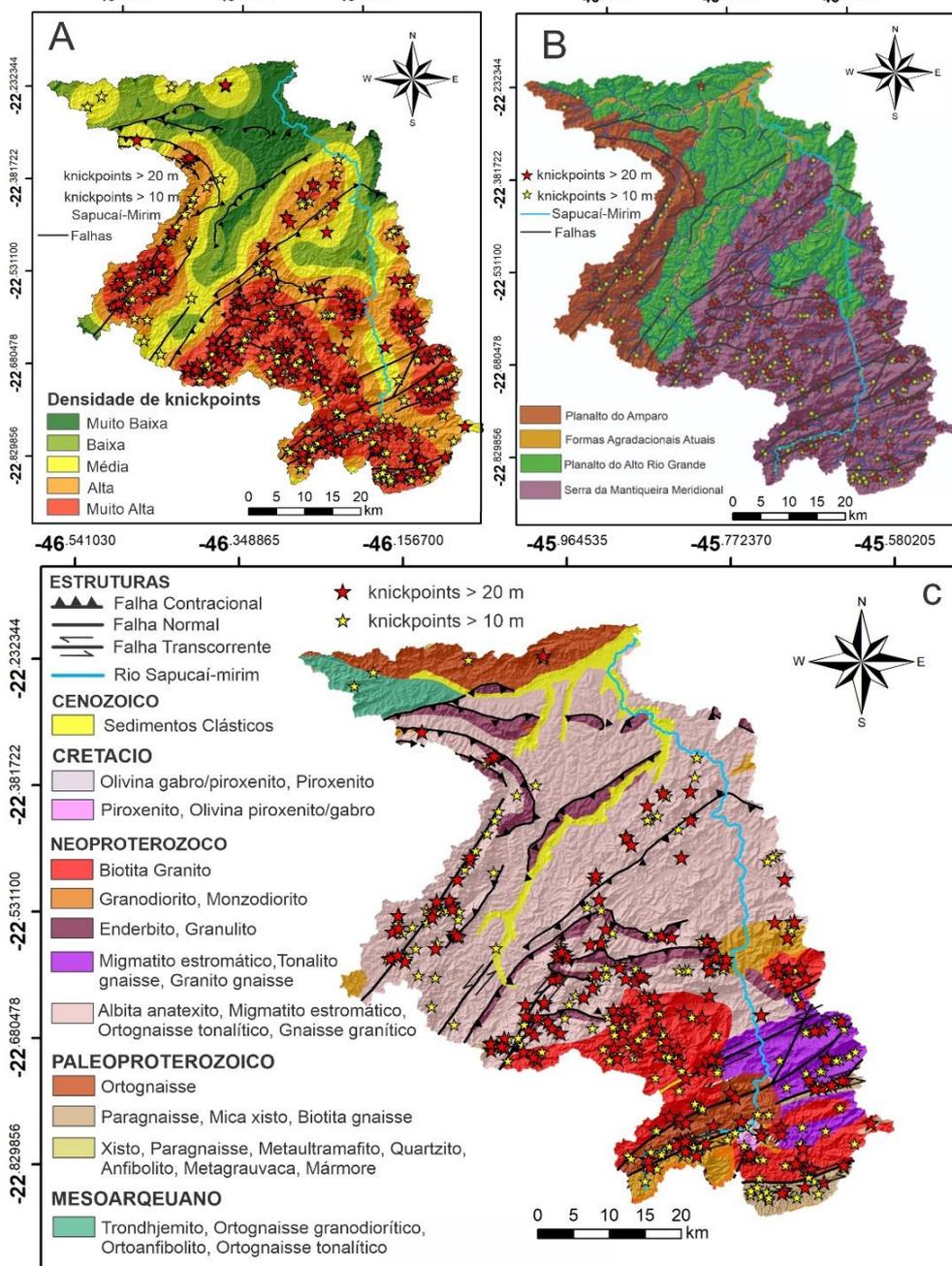
**Figura 2.** Altura dos *knickpoints* > 10 m. (A) no rio principal; (B) na drenagem da bacia



Observa-se dois patamares distintos separados por zonas de cisalhamento, que sustentam os maiores *knickpoints* e marcam a transição entre a Serra da Mantiqueira e os Planaltos de Amparo e do Alto Rio Grande (Figura 3). A menor quantidade de *knickpoints* no baixo curso indica maior estabilidade em leitos aluviais, ilustra reajustes

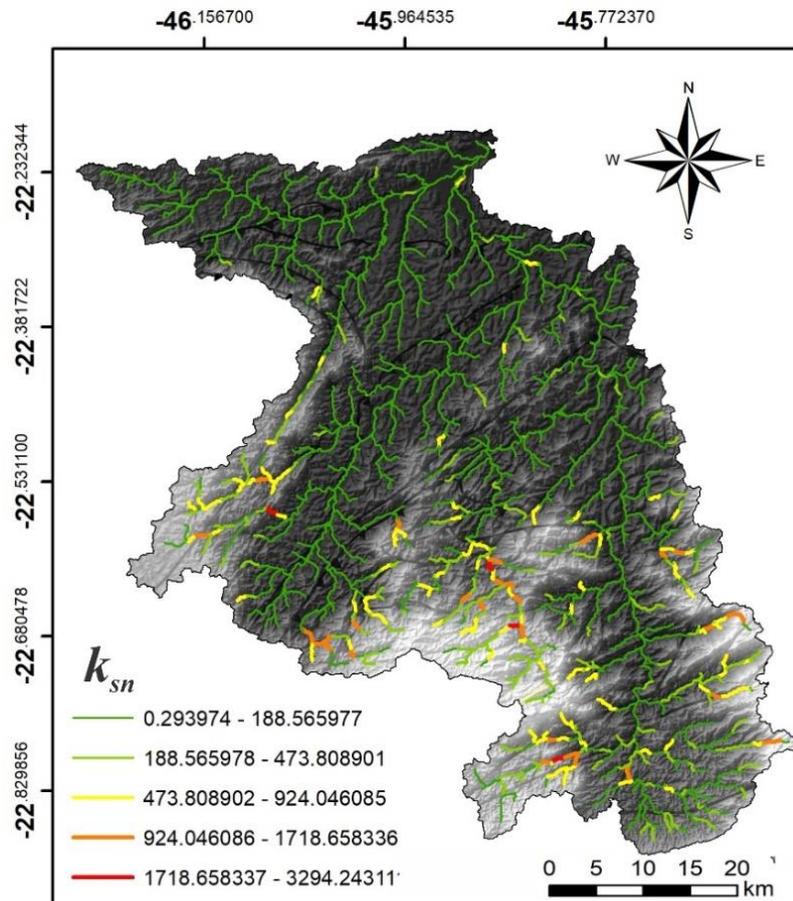
erosivos pretéritos e sugere equilíbrio geomórfico em áreas com rochas parametamórficas menos resistentes. Em contraste, a presença de *knickpoints* em intrusões graníticas indica uma zona transiente com alta eficiência erosiva (Figura 3).

**Figura 3.** (A) Densidade de *knickpoints* maiores que 10 metros; (B) relação dos *knickpoints* com as regiões geomorfológicas; (C) relação dos *knickpoints* com morfoestruturas derivadas de zonas de cisalhamento e intrusões de granitos



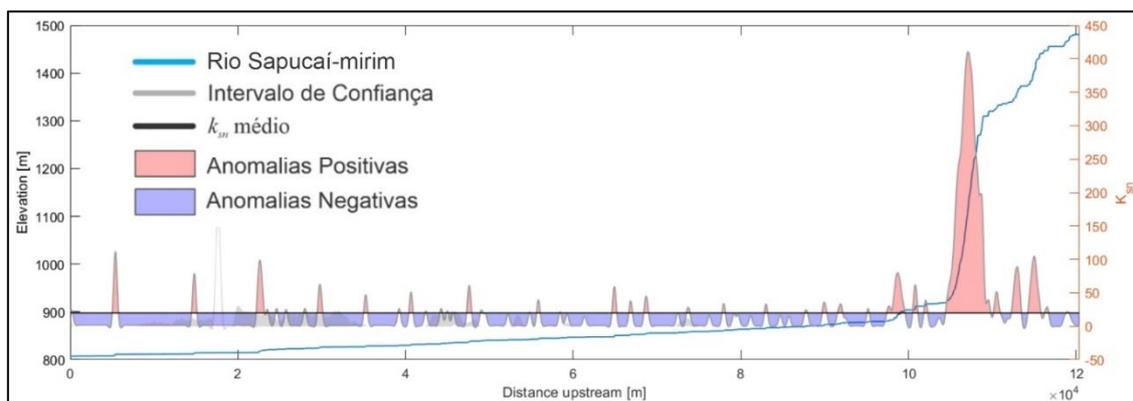
Os maiores valores de  $k_{sn}$  na bacia (924.04 a 3294.24 m<sup>0.9</sup>) estão associados a intrusões graníticas, zonas de cisalhamento e *knickpoints* de alta magnitude. Os valores baixos (0.29 a 188.56 m<sup>0.9</sup>) indicam condições de virtual repouso e zonas sedimentação, onde leitos aluviais protegem a rocha da erosão fluvial (Figuras 3C e 4).

**Figura 4:**  $k_{sn}$  por comprimento fluxo da drenagem da bacia do rio Sapucaí-mirim



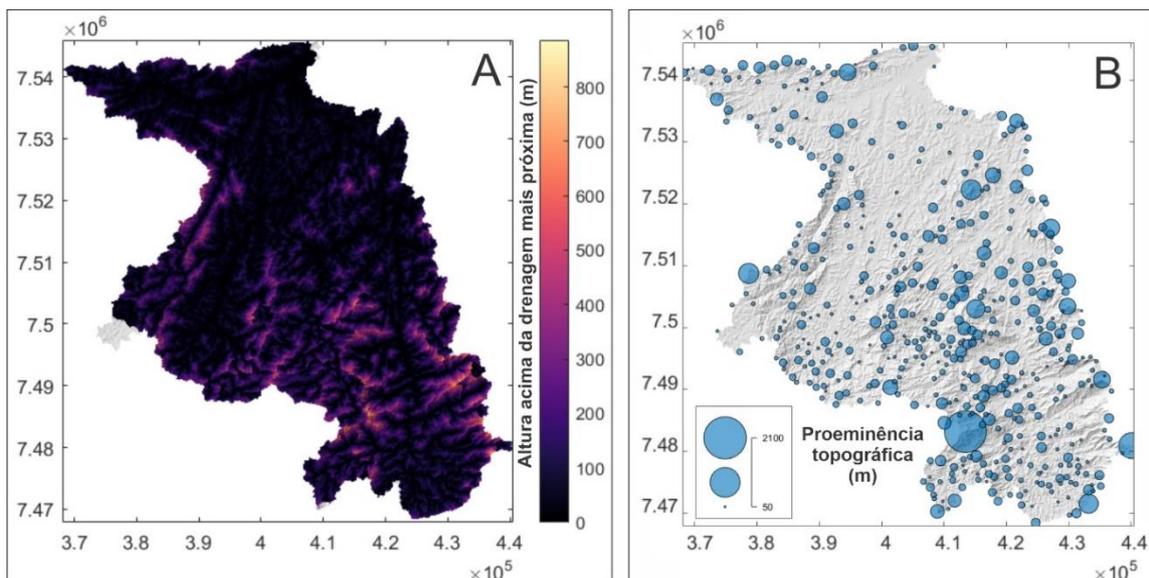
O modelo de *stream power* foi validado pelo canal principal com base no cálculo do  $k_{sn}$  médio (Figura 5). O gráfico exibe anomalias positivas e negativas, com um intervalo de confiança de 90% em torno do  $k_{sn}$  médio, estreito tanto a montante quanto a jusante da zona de transição.

**Figura 5:** Anomalias  $k_{sn}$  do rio Sapucaí-mirim



A altura acima da drenagem mais próxima e a proeminência topográfica da bacia foram calculadas, demonstrando relações com as encostas sustentadas por intrusões graníticas (Figuras 6A e 6B).

**Figura 6:** (A) altura acima da drenagem mais próxima; (B) proeminência topográfica



## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O  $k_{sn}$  foi eficaz na avaliação da dinâmica erosiva e da resistência das intrusões graníticas. Altos valores de  $k_{sn}$ , associados a essas intrusões e zonas de cisalhamento, indicam uma alta resistência erosiva nessas áreas, refletida na presença de *knickpoints* de elevada magnitude. A estabilidade fluvial é maior nas regiões de baixo curso, onde valores baixos de  $k_{sn}$  e a número de *knickpoints* sugerem zonas de sedimentação e proteção da rocha contra a erosão fluvial. A relação entre a altura acima da drenagem mais próxima e a proeminência topográfica com as intrusões graníticas destaca seu papel na modelagem da paisagem regional.

## AGRADECIMENTOS

Externamos nossos agradecimentos à FAPEMIG e CAPES, pelo fomento financeiro para participação coletiva em eventos e pesquisa de Iniciação Científica.

## REFERÊNCIAS

CASTILLO, M.; FERRARI, L.; MUÑOZ-SALINAS, E. Knickpoint retreat and landscape evolution of the Amatlán de Cañas half-graben (northern sector of Jalisco Block, western Mexico). *Journal of South American Earth Sciences*, v. 77, p. 108–122, 1 ago. 2017.

HASUI, Y. A grande colisão pré-cambriana do sudeste brasileiro e a estruturação regional. *Geociências*, v. 29, n. 2, p. 141–169, 2 set. 2010.

IBGE. **Base Dados Espacial 1:250.000, Brasil**. Escala 1:250.000. <[https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes\\_ambientais/geomorfologia/vetores/escala\\_250\\_mil/versao\\_2023/](https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/geomorfologia/vetores/escala_250_mil/versao_2023/)>. Acesso em: 27 maio. 2024.

KIRBY, E.; WHIPPLE, K. X. Expression of active tectonics in erosional landscapes. **Journal of Structural Geology**, v. 44, p. 54–75, 1 nov. 2012.

LEONARD, J. S.; WHIPPLE, K. X.; HEIMSATH, A. M. Controls on topography and erosion of the north-central Andes. **Geology**, v. 52, n. 2, p. 153–158, 12 dez. 2023.

MAIA, R. P. et al. Geomorfologia do campo de inselbergues de Quixadá, nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 16, n. 2, 27 jun. 2015.

MARTINS, A. A. et al. Tectonic and lithological controls on fluvial landscape development in central-eastern Portugal: Insights from long profile tributary stream analyses. **Geomorphology**, v. 276, p. 144–163, 1 jan. 2017.

PEIFER, D.; CREMON, É. H.; ALVES, F. C. FERRAMENTAS MODERNAS PARA A EXTRAÇÃO DE MÉTRICAS DE GRADIENTES FLUVIAIS A PARTIR DE MDES: UMA REVISÃO. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 21, n. 1, 1 jan. 2020.

PELLETIER, J. D. et al. Tectonic and structural control of fluvial channel morphology in metamorphic core complexes: The example of the Catalina-Rincon core complex, Arizona. **Geosphere**, v. 5, n. 4, p. 363–384, 1 ago. 2009.

PRINCE, P. S.; SPOTILA, J. A.; HENIKA, W. S. Stream capture as driver of transient landscape evolution in a tectonically quiescent setting. **Geology**, v. 39, n. 9, p. 823–826, 1 set. 2011.

REIS, I. L. et al. Morphometric parameters of the relief and drainage network of a tropical subbasin. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 24, n. 2, 27 jun. 2023.

SCHWANGHART, W.; SCHERLER, D. Short Communication: TopoToolbox 2 – MATLAB-based software for topographic analysis and modeling in Earth surface sciences. **Earth Surface Dynamics**, v. 2, n. 1, p. 1–7, 15 jan. 2014.

SILVA, M. A.; PINTO, C. P.; PINHEIRO, M. A. P.; MARINHO, M. S.; LOMBELLO, J. C.; PINHO, J. M. M. P.; GOULART, L. E. A.; MAGALHÃES, J. R. **Mapa geológico do estado de Minas Gerais**. CPRM, 2020. Escala 1:1.000.000 Available in: <<https://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/21828?show=full>>. Access at: 22 feb. 2023

TALLOOR, A. K. et al. Tectonic imprints of landscape evolution in the Bhilangana and Mandakini basin, Garhwal Himalaya, India: A geospatial approach. **Quaternary International**, SI: Remote Sensing and GIS Applications in Quaternary Sciences. v. 575–576, p. 21–36, 20 fev. 2021.