

INFLUÊNCIA DAS MORFOESTRUTURAS NA FORMAÇÃO DE KNICKPOINTS E NA EROSÃO FLUVIAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MUZAMBO (MG)

Luisa Baptistella Zanete ¹
Ronaldo Luiz Mincato ²
Felipe Gomes Rubira ³

INTRODUÇÃO

A morfologia dos rios auxilia na interpretação da evolução da paisagem, evidenciando deformações orogênicas, processos de subsidência, resistência do substrato à erosão, mudanças climáticas e perturbações antrópicas. Esses fatores alteram os níveis de base dos sistemas fluviais (Seybold et al., 2021).

Com relação às influências tectônicas e litoestruturais, pode-se citar o desenvolvimento de testemunhos associados a vales secos como consequência de capturas fluviais, vales alinhados a falhas que refletem zonas de fraqueza da rocha, cotovelos de drenagem resultantes de zonas de cisalhamento (Giachetta; Willett, 2018). Além disso, os padrões geométricos de drenagem estão relacionados às variações do substrato rochoso e à resistência diferencial à erosão (Reis et al., 2023). Entre esses testemunhos, também se destacam os *knickpoints*, que registram de forma eficaz a história das alterações nos níveis de base.

Os *knickpoints*, caracterizados por inflexões nos perfis longitudinais, modificam a dinâmica fluvial nos trechos que os precedem e sucedem (Grimaud; Paola; Voller; 2016). Essas deformações alteram a inclinação do canal, a velocidade do fluxo, a vazão, a potência fluvial, o transporte e a seleção de sedimentos (Cook; Turowski; Hovius, 2012). Portanto, refletem marcas de antigos eventos de orogênese e estão relacionados à erosão em leito rochoso que impacta a dissecação da vertente (Struth et al., 2019).

Com base nessas acepções teóricas, esta pesquisa objetiva analisar a distribuição e magnitude de *knickpoints* para investigar as influências das estruturas geológicas na capacidade erosiva da drenagem da bacia hidrográfica do rio Muzambo (MG). No caso abordado, parte do reservatório de Furnas encontra-se sob zona de cisalhamento

¹ Graduanda pelo Curso de Geografia Licenciatura da Universidade Federal de Alfenas – UNIFAL-MG, luisa.zanete@sou.unifal-mg.edu.br ;

² Prof. Dr. Ronaldo Luiz Mincato, Instituto de Ciências da Natureza - ICN, Universidade Federal de Alfenas – UNIFAL-MG, ronaldo.mincato@unifal-mg.edu.br;

³ 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 ;

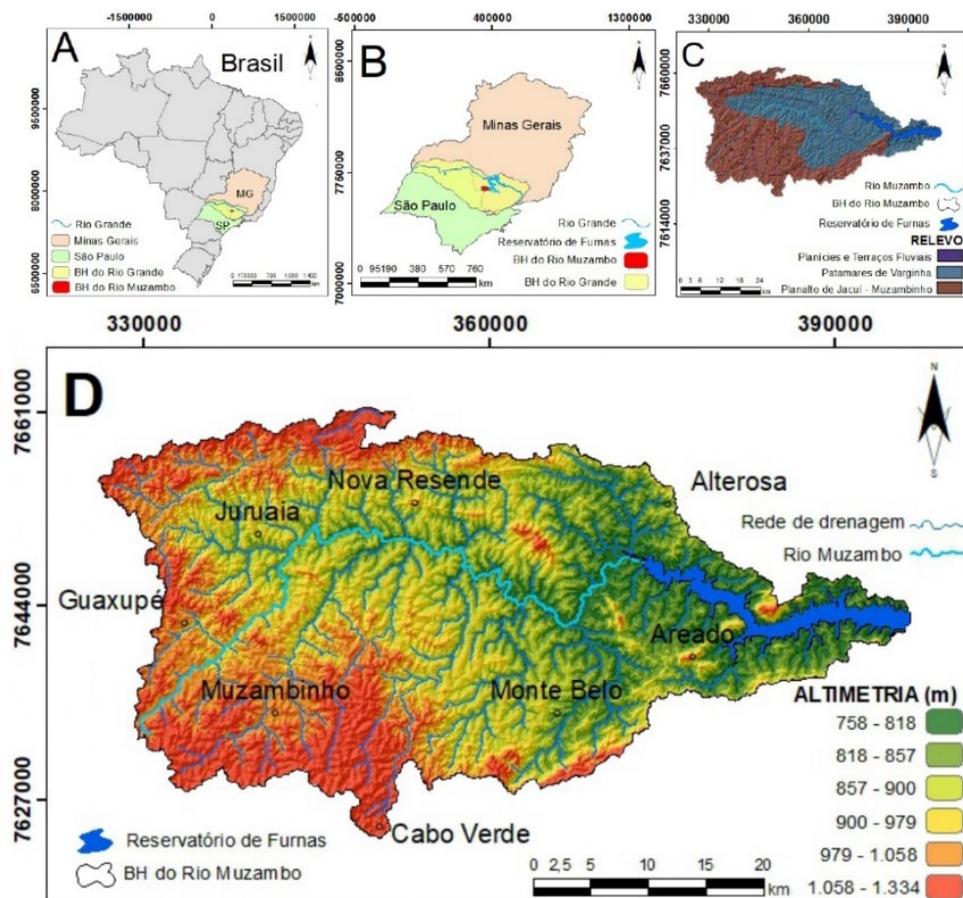
transcorrente dextral (Silva et al., 2020), onde a acomodação de massas de terra devido ao peso da água do reservatório resulta em pequenos sismos na região (Hayashi, Sardinha; Pamplin, 2020). Diante desse contexto, a pesquisa justifica-se pela produção de dados que podem ser úteis para solução de problemas ambientais na área.

METODOLOGIA

ÁREA DE ESTUDO

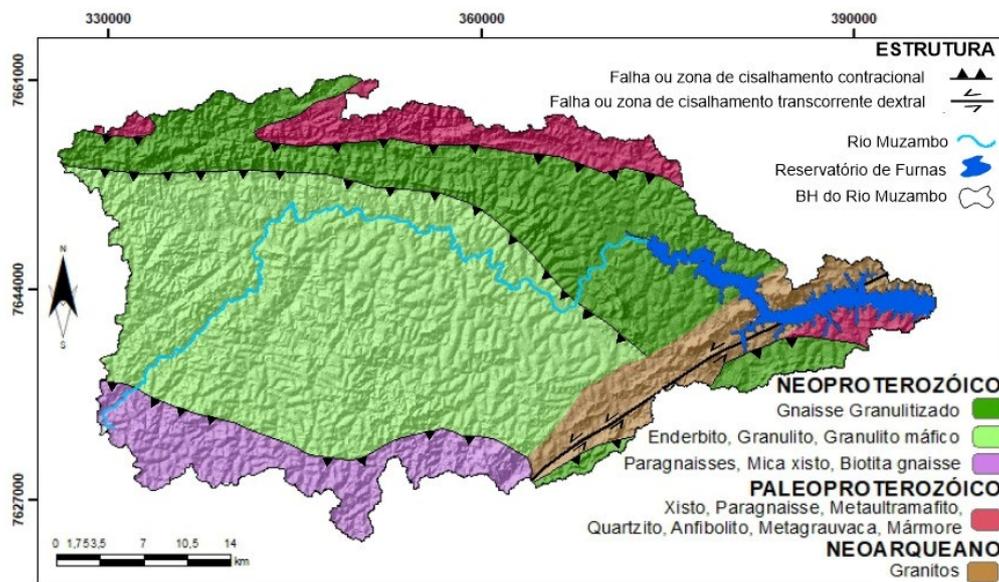
A bacia do rio Muzambo localiza-se na mesorregião sudoeste do estado de Minas Gerais e constitui-se como uma sub-bacia do rio Grande (MG) (Figura 1A). Com uma área de 1.512 km², a bacia faz confluência com o reservatório da UHE Furnas e abrange nove municípios (Figura 1B). As unidades geomorfológicas vinculam-se ao Planalto de Jacuí-Muzambinho, Patamares do Planalto de Varginha e planícies e terraços fluviais (Figura 1C). O Planalto de Jacuí-Muzambinho associa-se as zonas mais elevadas da bacia, com relevos ondulados e montanhosos, enquanto os Patamares do Planalto de Varginha são caracterizados por uma topografia variada e rebaixada que inclui patamares escalonados e vales profundos (Figuras 1C e 1D).

Figura 1. Localização da área e hipsometria da bacia hidrográfica do rio Muzambo



O relevo é interligado aos escarpamentos causados por deformações tectônicas e às variações das rochas (Figuras 1D e 2). A geologia está associada aos cinturões móveis e engloba terrenos do neoarqueano ao neoproterozoico (Silva et al., 2020). No neoarqueano, encontram-se variações de granitos. No paleoproterozoico, há xisto, paragnaisse, metaultramafito, quartzito, anfíbolito, metagrauvaca e mármore. No neoproterozoico, há variações de gnaisses e granulitos, enderbito e micaxisto (Figura 2).

Figura 2. Geologia da bacia hidrográfica do rio Muzambo



Na área, as deformações da orogenia Brasiliano-Pan-Africana são reveladas por zonas de cisalhamento que modificaram o relevo e reorganizaram a rede de drenagem. Ao norte destaca-se um sistema de *nappe* e *kippe*, onde rochas paleoproterozoicas mais resistentes foram sobrepostas por gnaisses neoproterozoicos, formando serras sustentadas por níveis quartzíticos de direção NW-SE (Silva et al., 2020). Outras duas zonas de cisalhamento NW-SE, ao interceptarem o canal e o sul da bacia, mostram sobreposições de gnaisses/micaxisto neoproterozoicos sobre enderbito/granulito e destes sobre gnaisses granulitizados. Na parte sudeste, destaca-se uma zona de cisalhamento transcorrente dextral, conhecida como falha de Areado, responsável por produzir sismos de baixa magnitude de forma recorrente na região (Hayashi, Sardinha; Pamplin, 2020).

MATERIAIS

Obtivemos e processamos todos os parâmetros a partir do Modelo Digital de Elevação Copernicus GLO-30 (COP-30), com 30 metros de resolução espacial, extraído da plataforma *Open Topography* (<https://opentopography.org/>) (ESA, 2021).

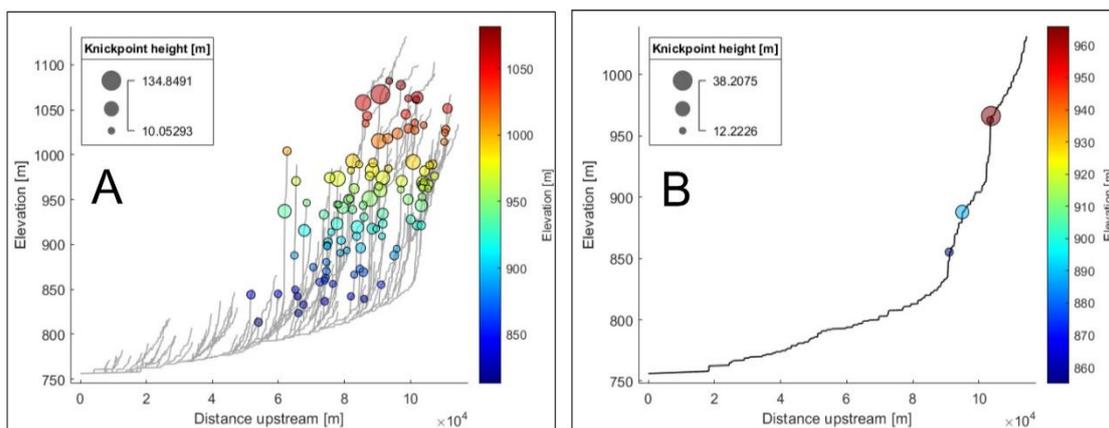
MÉTODOS

O índice de declividade normalizada do canal (k_{sn}) foi usado para avaliar a potência fluvial, calculada a partir de uma função que relaciona a declividade normalizada com a área de contribuição dos canais a montante (Kirby; Whipple, 2012). O k_{sn} foi aplicado em toda a rede de drenagem utilizando o pacote de ferramentas *TopoToolbox 2* no *software* MATLAB v.2021a (Schwanghart; Scherler, 2014). Primeiro, os ruídos do MDE foram eliminados. Na sequência a rede de drenagem foi extraída com base em uma área de contribuição mínima de 500 pixels e na remoção de canais de 1ª ordem menores que 10 km. Em seguida, foi calculado o *índice de concavidade comum* ($\theta = 0,45$) e os valores de k_{sn} foram determinados por segmentos de fluxo. Posteriormente, foram elaborados perfis longitudinais, identificados os *knickpoints* e mensuradas suas magnitudes. Por fim, o mapa de densidade de *knickpoints* foi elaborado no ArcGIS 10.8.1.

RESULTADOS

Foram identificados 109 *knickpoints* com alturas superiores a 10 metros (Figura 3A), sendo apenas quatro deles associados ao canal principal (Figura 3B).

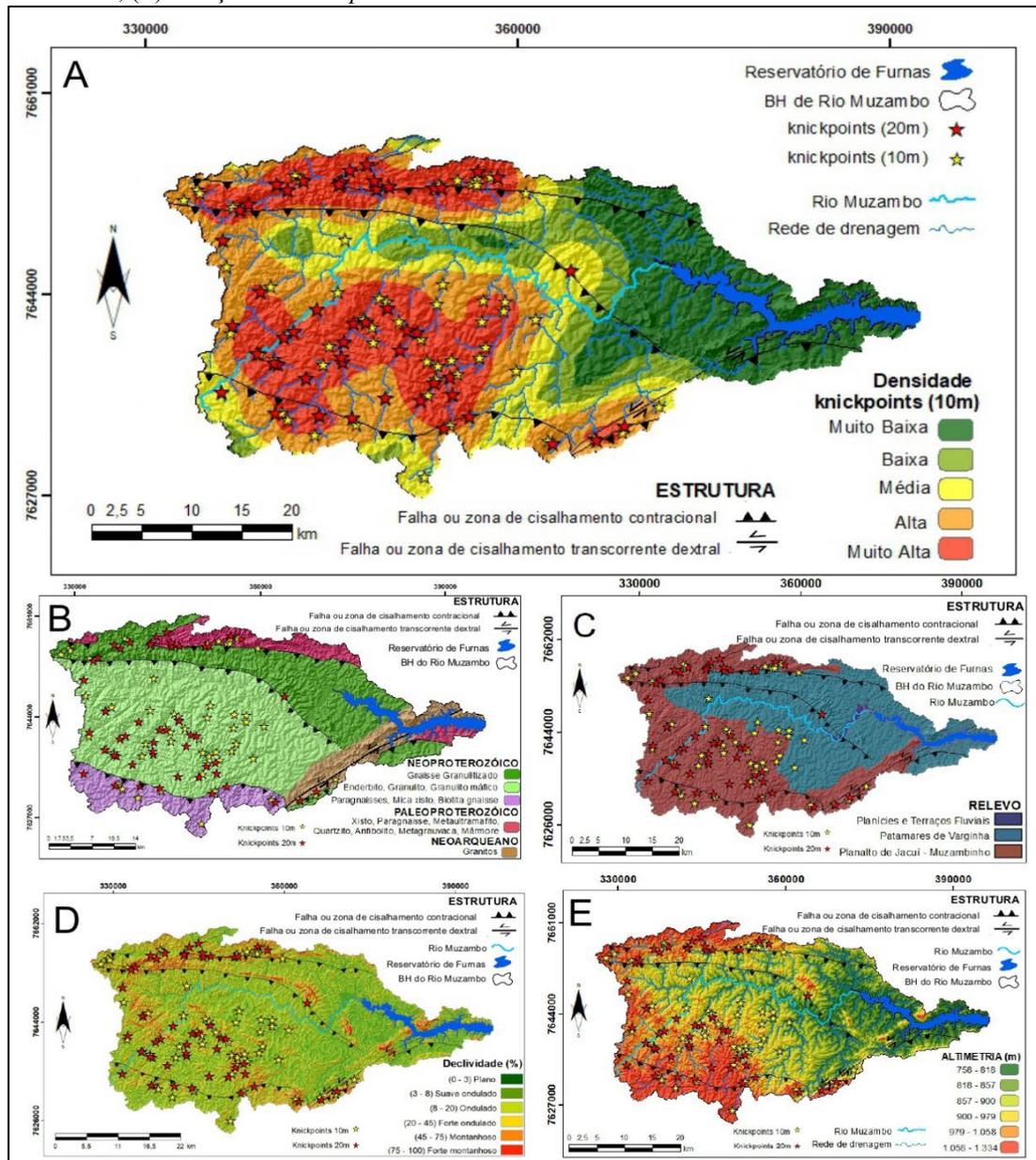
Figura 3. *Knickpoints* com alturas superiores a 10 m. (A) rede de drenagem; (B) rio principal



A concentração das anomalias (Figura 4A) está relacionada às principais zonas de cisalhamento e às rochas mais resistentes da bacia (Figura 4B), associadas à transição do Planalto de Jacuí-Muzambinho (Figura 4C). Esta transição delimita as áreas com declividades montanhosas em altitudes mais elevadas (857m a 1.334m) das áreas mais rebaixadas por reajustes fluviais, que incidem sobre os patamares de Varginha (Figuras 4D e 4E).

A diferença na distribuição das anomalias ao norte e ao sul do canal principal é clara (Figura 4A). Ao norte, observa-se alta concentração de *knickpoints* próximos ao canal fluvial, com elevadas magnitudes, destacando o papel das escarpas sustentadas por quartzitos do Planalto de Jacuí-Muzambinho em retardar a erosão (Figuras 4B, C, D e E). Processos erosivos provavelmente desgastaram mais intensamente os blocos de gnaisses granulitizados que cavalgaram após a formação da falha, resultando em níveis altimétricos inferiores em relação ao bloco cavalgado (Figura 4E).

Figura 4. Distribuição espacial dos *knickpoints* da bacia do rio Muzambo entre variáveis morfológicas e morfoestruturais. (A) Densidade de *knickpoints*; (B) Variação dos *knickpoints* em relação à geologia; (C) Variação dos *knickpoints* nas unidades geomorfológicas; (D) Relação dos *knickpoints* com as maiores declividades; (E) Relação dos *knickpoints* com áreas elevadas e alinhamentos serranos.

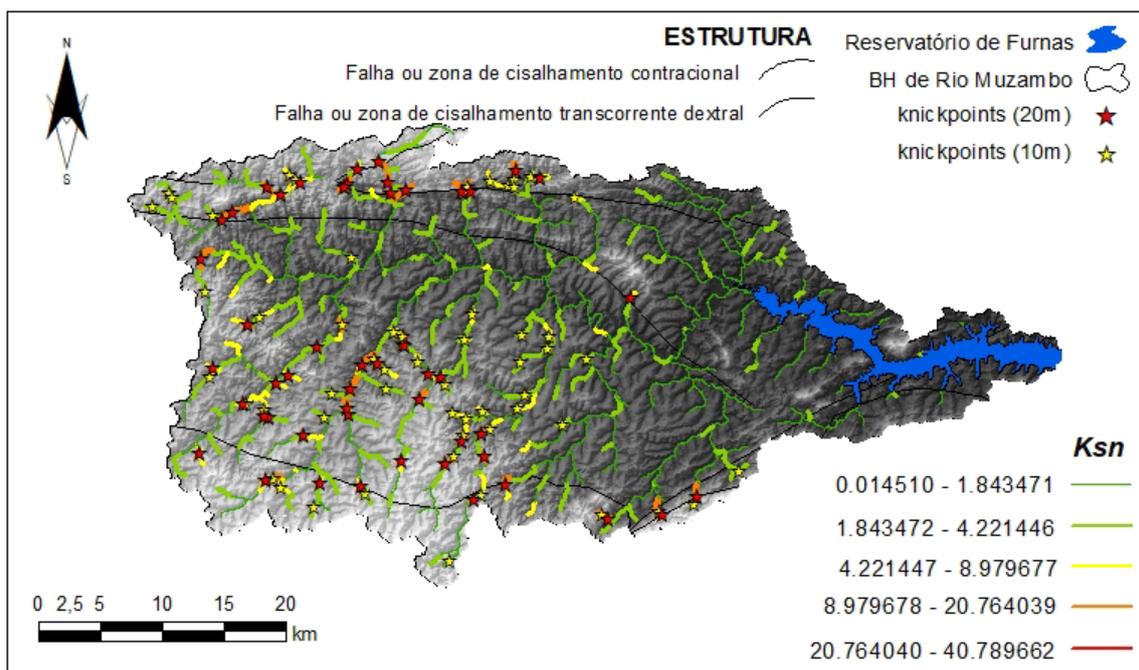


No setor ao sul do canal principal, onde predominam gnaisses granulitizados, enderbitos e granulitos, observou-se uma distribuição de *knickpoints* mais distante do rio Muzambo e com menores magnitudes. Essa distribuição evidencia a menor resistência dos enderbitos e granulitos aos efeitos do reajuste de drenagem remontante, especialmente em comparação aos níveis quartzíticos.

A área escavada por reajustes erosivos fluviais fica entre as concentrações de *knickpoints* ao norte e ao sul do canal principal. Os mapas hipsométrico e de declividade, sobrepostos aos *knickpoints*, delimitam esses setores de forma eficaz (Figuras 4D e 4E). Essas áreas estão associadas ao baixo curso do canal principal e aos setores inferiores dos maiores tributários. Observa-se estabilidade no sistema fluvial desses setores, onde há maior propensão para receber e acomodar sedimentos, em vez de removê-los e exportá-los. A partir dessa análise, constata-se que a litologia da área interfere diretamente na formação dos *knickpoints* e na configuração atual do rio.

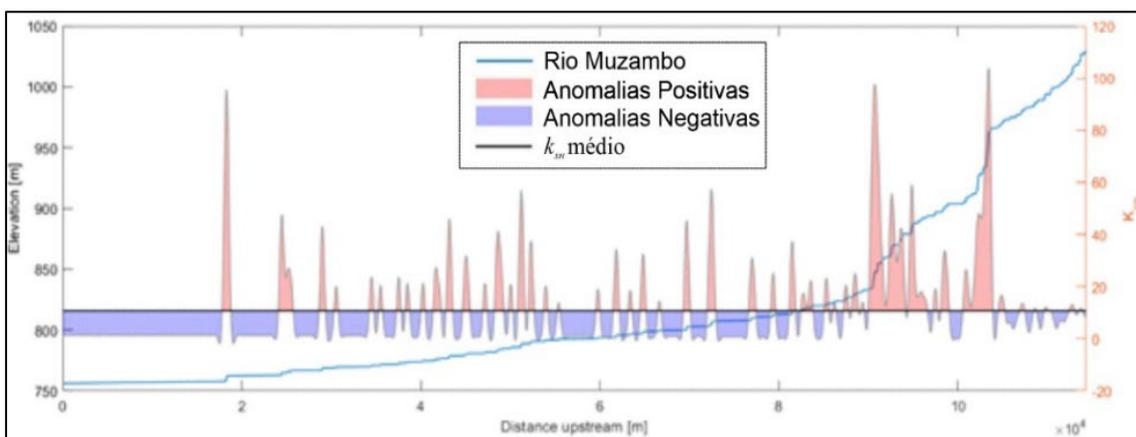
A distribuição dos valores de k_{sn} ampliam as análises e possibilidades de interpretações sobre a compreensão da erosão fluvial na bacia. A elevação dos valores de potência fluvial em áreas após grandes rupturas de declives evidencia zonas de erosão do leito rochoso relacionadas às principais morfoestruturas da bacia. Os maiores valores de k_{sn} estão associados a zonas de cisalhamento, variações litológicas com resistências diferenciais à erosão e aos maiores *knickpoints* mapeados (Figuras 3 e 5).

Figura 5. k_{sn} por comprimento fluxo da drenagem da bacia do rio Muzambo



A partir do cálculo do k_{sn} médio, foi elaborado o gráfico das anomalias do rio das Mortes com intervalo de confiança de 90% (Figura 6). As anomalias positivas, coincidentes com os principais *knickpoints* mapeados, estão relacionadas aos picos de k_{sn} de estruturas que interceptam o canal principal.

Figura 6. Anomalias k_{sn} do rio Muzambo



4. CONCLUSÕES

Os resultados indicam que a morfologia da bacia do rio Muzambo é influenciada pelas estruturas geológicas, com diferenças na distribuição dos *knickpoints* e valores de k_{sn} . Rochas mais resistentes retardam a erosão fluvial ao norte do canal principal, enquanto ao sul, onde predominam gnaisses granulitizados e enderbitos, a erosão ocorre de forma mais intensa. As análises de potência do fluxo evidenciam que as zonas de cisalhamento e as variações litológicas também influenciam a erosão fluvial do leito rochoso. Esses resultados contribuem para uma melhor compreensão dos processos morfodinâmicos na região e podem subsidiar futuras intervenções para a gestão ambiental local.

AGRADECIMENTOS

Externamos nossos agradecimentos à FAPEMIG pelo fomento financeiro para participação coletiva em evento.

REFERÊNCIAS

AMBILI, V.; NARAYANA, A. C. Tectonic effects on the longitudinal profiles of the Chaliyar River and its tributaries, southwest India. **Geomorphology**, v. 217, p. 37–47, 15 jul. 2014.

COOK, K. L.; TUROWSKI, J. M.; HOVIUS, N. A demonstration of the importance of bedload transport for fluvial bedrock erosion and knickpoint propagation. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 38, n. 7, p. 683–695, 2013.

EUROPEAN SPACE AGENCY. **Copernicus Global Digital Elevation Model**. 2021. Available at: <https://doi.org/10.5069/G9028PQB>. Accessed 05 fev 2024.

GIACHETTA, E.; WILLET, S. D. Effects of River Capture and Sediment Flux on the Evolution of Plateaus: Insights From Numerical Modeling and River Profile Analysis in the Upper Blue Nile Catchment. **Journal of Geophysical Research: Earth Surface**, v. 123, n. 6, p. 1187–1217, 2018.

GRIMAUD, J.-L.; PAOLA, C.; VOLLER, V. Experimental migration of knickpoints: influence of style of base-level fall and bed lithology. **Earth Surface Dynamics**, v. 4, n. 1, p. 11–23, 15 jan. 2016.

HAYASHI, C. **Ciências Ambientais: Recursos Hídricos**. [s.l.] Carmino Hayashi, 2020.

IBGE. **Base Dados Espacial 1:250.000, Brasil**. Escala 1:250.000. <https://geofp.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.

KONDOLF, G. M. et al. Geomorphic classification of rivers and streams. Em: **Tools in Fluvial Geomorphology**. [s.l.] John Wiley & Sons, Ltd, 2016. p. 133–158.

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.

SEYBOLD, H. et al. Global dominance of tectonics over climate in shaping river longitudinal profiles. **Nature Geoscience**, v. 14, n. 7, p. 503–507, jul. 2021.

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 fev. 2023

STRUTH, L. et al. Drainage network dynamics and knickpoint evolution in the Ebro and Duero basins: From endorheism to exorheism. **Geomorphology**, v. 327, p. 554–571, 15 fev. 2019.