

15º SIMPÓSIO NACIONAL DE

GEOMORFOLOGIA

PERFIS LONGITUDINAIS COMO SUBSÍDIO PARA O ESTUDO DA EVOLUÇÃO DO DIVISOR HIDROGRÁFICO DAS BACIAS DO TOCANTINS/PARANÁ

Lisbeth del Carmen Segovia Materano¹

Brida Emanuele Andrade Braga²

André Augusto Rodrigues Salgado³

Rodrigo Wagner Paixão Pinto⁴

RESUMO

A evolução da paisagem é fortemente influenciada pela atividade tectônica, pela litoestrutura e pela variabilidade climática. Nesse contexto, os sistemas de drenagem refletem e ajustam sua dinâmica às variações no nível de base e às mudanças hidrológicas. Por consequência, são comumente usados para estudar os padrões de ajuste, pois registram a resposta fluvial a estados transitórios. Os perfis longitudinais têm sido amplamente empregados nas análises da evolução geomorfológica, pois este gráfico ilustra a elevação do canal em relação à distância percorrida, podendo fornecer informações da geometria do canal, assim como dos materiais subjacentes, auxiliando no entendimento dos processos geológicos e da história geomórfica de uma área. O objetivo deste trabalho é realizar uma análise comparativa dos perfis longitudinais dos rios que compartilham o divisor hidrográfico das bacias do Tocantins e Paraná, como subsídio para o estudo de uma possível reorganização fluvial. A área de estudo localiza-se no Estado de Goiás e abrange as sub-bacias dos rios Corumbá (Bacia do Rio Paraná), Rio das Almas e Rio Maranhão (Bacia do Rio Tocantins). A metodologia envolve a realização dos perfis longitudinais, densidade de *knickpoints* e curvas hipsométricas das bacias mencionadas a partir de um modelo de elevação digital SRTM, usando TopoToolbox em MATLAB, além de um mapa de geologia com dados do GeoSGB. Para a análise dos perfis, foi levada em consideração a premissa de que todo curso fluvial procura o seu equilíbrio, sofrendo para isso erosão ou agitação em seu próprio leito. Os resultados mostraram uma correlação clara entre a concentração de *knickpoints* e a litoestrutura regional, com as maiores densidades coincidindo com domínios de embasamentos cristalinos. A análise hipsométrica complementou essas observações, indicando que bacias com alta densidade de *knickpoints* exibem curvas tipicamente côncavas e menores valores de integral hipsométrica. Isso sugere um estágio de desequilíbrio, onde os *knickpoints* funcionam como indicadores de reorganização fluvial, apontando para um processo de migração do divisor que atua como frentes de reequilíbrio erosivo. Por último, considera-se que a observação de características morfométricas mediante perfis longitudinais permite uma primeira aproximação para o estudo de processos de reorganização fluvial nesta área.

Palavras-chave: Rio Corumbá, Rio das Almas, Rio Maranhão, Anomalias de Drenagem.

¹ Doutoranda do curso de Geografia da Universidade Federal de Goiás - UFG, Professora da Universidad de Los Andes- ULA Venezuela, lisbeth.segovia@discente.ufg.br

² Estudante do curso de Geologia da Universidade Federal de Goiás - UFG, bridaemanuele@discente.ufg.br

³ Professor orientador: Doutor em Geociências-Doutor em Evolução Crustal e Recursos Naturais, Universidade Federal de Ouro Preto, UFOP, Professor Universidade Federal de Goiás - UFG salgado@ufg.br

⁴ Doutor pelo Curso de Geografia da PUC-Rio, Professor Universidade do Estado do Rio de Janeiro, UERJ, rodrigowpp1@gmail.com

INTRODUÇÃO

A evolução da paisagem influencia os sistemas de drenagem que ajustam sua dinâmica a variações do nível de base e a mudanças hidrológicas. Consequentemente, as drenagens registram a resposta fluvial a estados transitórios da paisagem. Neste contexto, o perfil longitudinal de um rio permite inferir processos de evolução da paisagem, pois eles refletem a dinâmica de ajuste dos rios a essas mudanças. De fato, o perfil longitudinal de um canal fluvial representa a relação, no sentido jusante-montante, entre a variação altimétrica e o comprimento do canal, aportando importantes informações sobre o estado de equilíbrio ou desequilíbrio do sistema fluvial em relação à paisagem atual (Stevaux e Latrubesse, 2017).

Nas palavras de Cunha (2013), a análise do perfil longitudinal de um rio é uma ferramenta útil para avaliar o grau de equilíbrio de um sistema fluvial em relação à sua capacidade de transporte de sedimentos, bem como para identificar ajustes geológicos e geomorfológicos que atuam na bacia. Neste contexto, quando o perfil apresenta uma forma côncava para cima, ele é considerado em equilíbrio, indicando que os processos de erosão, transporte e deposição estão em estabilização entre si.

Em contraposição, a presença de knickpoints indica desequilíbrios, como mudanças recentes no nível de base, diferenças na resistência das rochas ou atividades tectônicas. Ferreira (2010) alude que este termo, também conhecido como ruptura de declive, aplica-se quando o perfil apresenta seções subitamente íngremes, razão pela qual a análise da sua posição e distribuição revela-se um marcador essencial para a interpretação da incisão da rede fluvial e da evolução das paisagens. Os knickpoints se propagam a montante da bacia ao longo do tempo, indicando a reorganização da rede de drenagem de acordo com as novas condições (Whipple et al., 2017).

Além dos knickpoints, os divisores hidrográficos com baixa elevação, os antigos vales fluviais secos e os cotovelos de drenagem são assinaturas geomorfológicas indicativas de processos de reorganização fluvial (Bishop, 1995; Whipple et al., 2017). Conforme Bishop (1995), os rearranjos de drenagem correspondem a mecanismos evolutivos de bacias hidrográficas, caracterizados como transferências de fluxo, parciais ou totais, entre rios. Adicionalmente, os rearranjos de drenagem são relevantes também em termos biogeográficos, pois permitem a migração da ictiofauna entre diferentes bacias hidrográficas vizinhas, auxiliando na evolução de espécies aquáticas (Galen, 2018; Cassemiro et al., 2025).



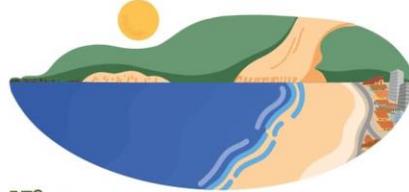
Entretanto, apesar desta imensa importância ambiental, estudos acerca de rearranjos de drenagem foram raros no Brasil central. Mesmo considerando que nesta região ocorrem alguns dos principais limites hidrográficos da América do Sul, destacando-se entre estes o limite entre as bacias dos rios Tocantins, Araguaia e Paraná. Os rios Paraná, Tocantins e Araguaia estão entre os 50 maiores do mundo em extensão e descarga hídrica. A Bacia do Paraná, com 2,8 milhões de km² e o rio principal de 4.880 km, é o segundo maior da América do Sul (após o Amazonas). A Bacia Tocantins-Araguaia, com 967.059 km², é a maior bacia exclusivamente brasileira, com o Rio Tocantins medindo 2.450 km e o Rio Araguaia, 2.627 km.

Bishop (1995) subscreve que o processo de rearranjo de drenagem ocorre entre pequenos canais fluviais, principalmente entre cabeceiras de drenagem que partilham um mesmo interflúvio, sendo raras as ocorrências que envolvem grandes rios e que acarretem sensíveis alterações nos processos de dissecação e sedimentação das áreas continentais. Neste contexto, as sub-bacias dos rios Corumbá (Bacia do rio Paraná), rio Das Almas e rio Maranhão (Bacia do rio Tocantins) foram escolhidas como área de estudo, pertencentes administrativamente majoritariamente ao Estado de Goiás-Brasil.

O objetivo deste trabalho é realizar uma análise comparativa dos perfis longitudinais dos rios que compartilham o divisor hidrográfico das bacias do Tocantins e Paraná, como subsídio para o estudo de uma possível reorganização fluvial.

ÁREA DE ESTUDO

Definida pelas coordenadas geográficas 15°27'01" e 16°54'02" de Latitude Sul e 47°20'14" e 49°06'50" de Longitude Oeste, a área de estudo possui uma extensão territorial de aproximadamente 56.771 km², dos quais cerca de 14.720 km² correspondem à Bacia do Rio Corumbá (Longitude do Rio principal 5.244,74 km), 22.193 km² à Bacia do rio Maranhão (Longitude do Rio principal 8.821,71 km), e 19.858 km² à Bacia do rio Das Almas (Longitude do Rio principal 7.939,30 km). A região investigada tem uma variação altimétrica que vai desde os 260 até os 1584 metros acima do nível do mar. Os rios Maranhão e Das Almas são represados com fins hidroelétricos pelo Lago Serra da Mesa, enquanto o rio Corumbá é represado pelo Lago Corumbá IV. (Figura 1). O clima regional é o tropical semiúmido e a vegetação natural é o Cerrado.



15º SIMPÓSIO NACIONAL DE
GEOMORFOLOGIA

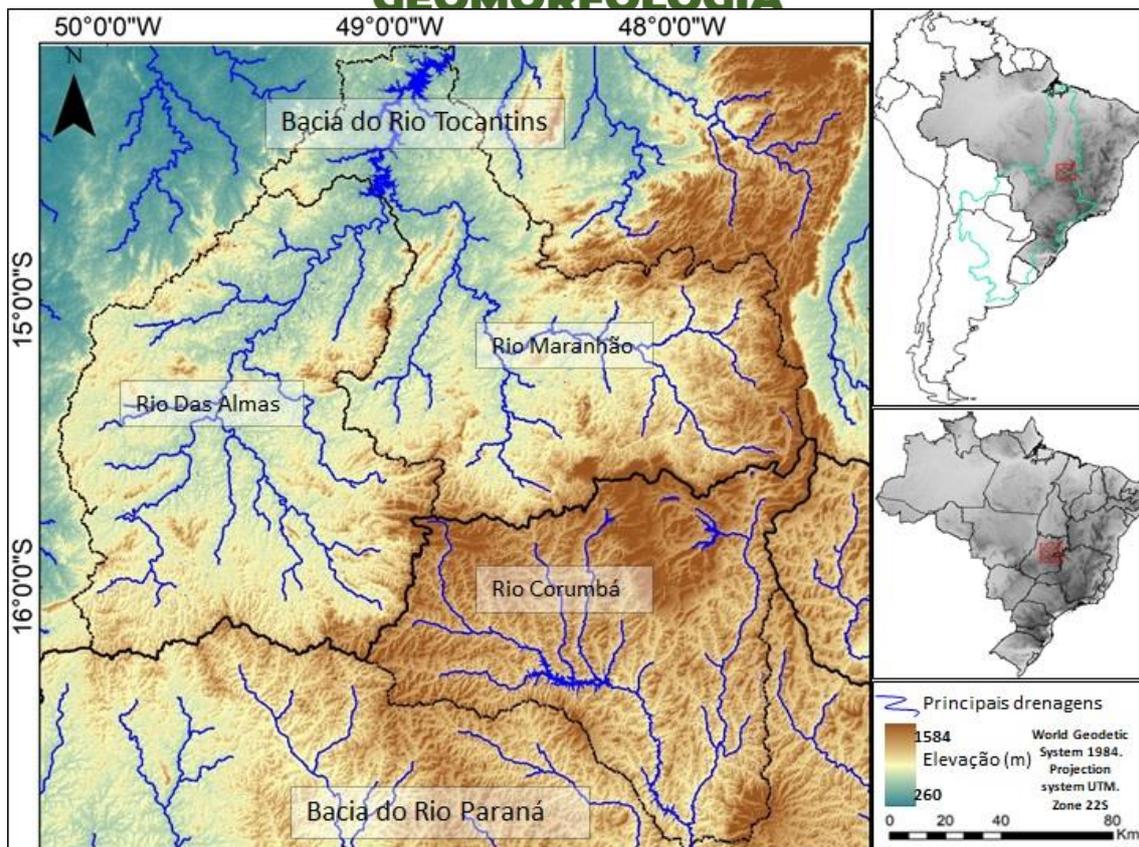
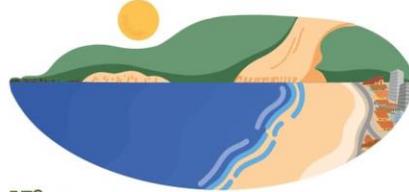


Figura 1. Localização da área de estudo

Geomorfologicamente, a área de estudo localiza-se na unidade do Planalto Central, especificamente na subunidade Planalto do Alto Tocantins-Paranaíba. Em termos litológicos gerais, repousa sobre litologias deposicionais do Grupo Araxá (predominantemente micaxistos e quartzitos) e da Formação Canastra (quartzitos, filitos e xistos) (Nascimento, 1992). Os litotipos predominantes na área de estudo incluem o embasamento cristalino, quartzitos, pequenas ocorrências de coberturas sedimentares e de metabasaltos, e uma ampla gama de quartzo-xistos (Figura 2). Conforme Vasconcelos et al. (2019), as baixas taxas de denudação observadas nesta região podem indicar a preservação de uma das paisagens mais antigas do planeta, fenômeno atribuído principalmente ao recobrimento laterítico e à litologia subjacente. Corroborando essa perspectiva, Pupim et al. (2015) afirmam que as taxas de denudação superficial no interior do Brasil podem ser extremamente baixas, variando entre 0,2 e 10 mm kyr⁻¹.



15º SIMPÓSIO NACIONAL DE
GEOMORFOLOGIA

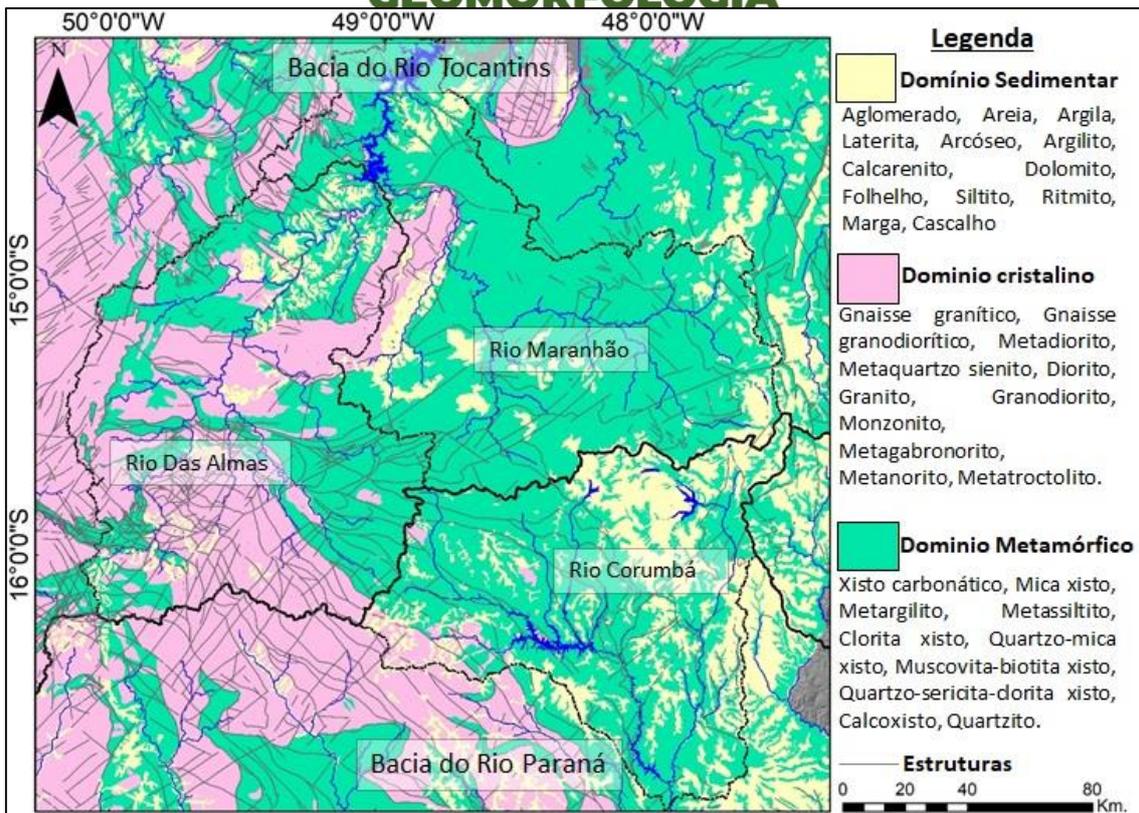


Figura 2. Mapa Geológico simplificado da área de estudo. Dados de GeoSGB-CPRM.

MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido a partir de um Modelo Digital de Elevação (MDE) da Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), com resolução espacial de 1 segundo de arco (aproximadamente 30 m) (USGS, 2023). Foram também utilizadas bases cartográficas vetoriais adquiridas de instituições públicas, tais como a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2014), o Serviço Geológico do Brasil (GeoSGB) – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM, 2020) e o Sistema Estadual de Geoinformação (SIEG, 2024).

O processamento do MDE para a derivação dos produtos cartográficos foi realizado utilizando o software TopoToolbox 2 (Schwanghart e Scherler, 2014), executado em ambiente MATLAB (MathWorks, 2021). Este procedimento incluiu o cálculo da direção e da acumulação de fluxo para, posteriormente, extrair o padrão de knickpoints. Para tanto, foram cruciais as funções: ‘FLOWobj’, ‘carve’, ‘flowacc’, ‘minarea’ e ‘knickpointfinder’.

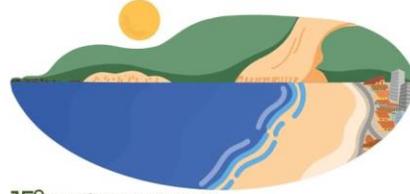


Para a visualização dos perfis longitudinais, utilizou-se a função ‘plotdz’, e para o mapeamento de padrões de pontos na rede de drenagem, empregou-se a função ‘point pattern on stream networks’. Já para a construção do mapa de densidade de knickpoints e demais representações cartográficas, empregou-se o software ArcGIS 10.8. Ressalta-se que os knickpoints representados neste trabalho são aqueles com uma queda igual ou superior a 20 metros. Como método de verificação, utilizou-se uma camada KML (Keyhole Markup Language) que foi incorporada no Google Earth. Adicionalmente, e com a finalidade de obter uma maior compreensão do objeto de estudo, foram elaboradas as curvas hipsométricas das bacias analisadas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a construção dos perfis das drenagens principais e das drenagens tributárias, foram identificados os knickpoints, totalizando 61 pontos de quebra na bacia do rio das Almas e 91 na bacia do rio Maranhão. Por sua vez, a bacia do rio Corumbá apresentou 47 quedas abruptas em suas drenagens (Figura 3). A abundância dessas feições pode estar associada a condições ou processos geológicos que modificam as taxas erosivas, como litologias contrastantes, alterações no nível de base ou estruturas ativas (Howard et al., 1994). De fato, o perfil longitudinal dos rios é fortemente influenciado pelas litoestruturas presentes ao longo do canal (Stevaux e Latrubesse, 2017). Entretanto, na área de estudo, a influência do controle estrutural mostrou-se pouco significativa, uma vez que a maioria das drenagens não aproveita as feições criadas pela litoestrutura.

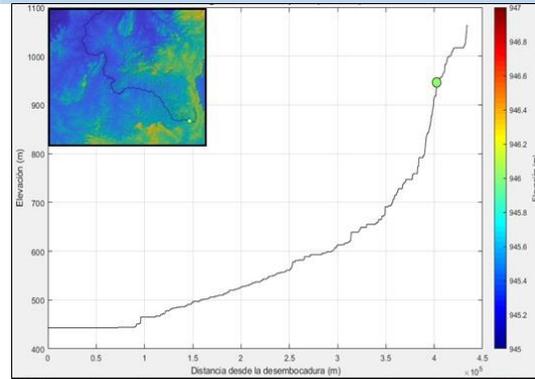
Porém, observa-se que as concentrações de knickpoints tendem a se alinhar ao longo dos divisores hidrográficos regionais. Essa distribuição sugere que tais áreas funcionam como zonas de instabilidade topográfica e de reorganização da rede de drenagem. Conforme demonstrado por Struth et al. (2019) no estudo das bacias dos rios Ebro e Douro, transições significativas, como a passagem de drenagem endorreica para exorreica, induzem uma onda de knickpoints em retrocesso. Essa onda atua como uma fronteira dinâmica, separando áreas de relevo preservado de setores sob incisão ativa, e é diretamente responsável pelo reposicionamento das divisórias hidrográficas. Dessa forma, os knickpoints não apenas sinalizam desequilíbrios morfotectônicos e alterações do nível de base, mas também atuam como agentes ativos na reconfiguração da topografia e da organização espacial das bacias.



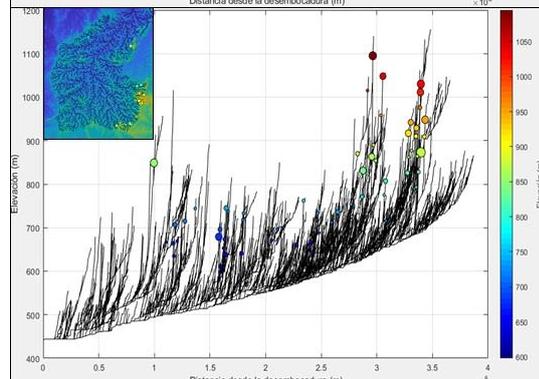
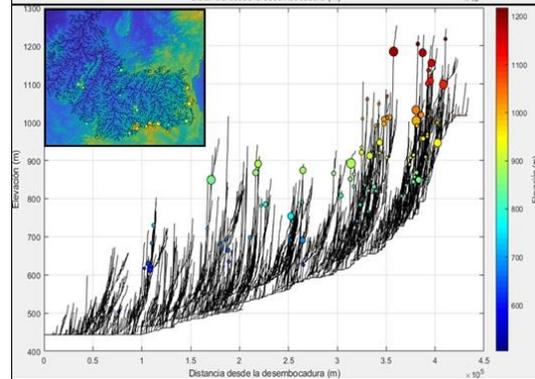
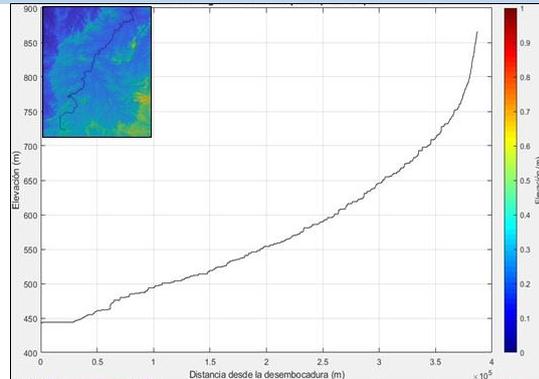
15º SIMPÓSIO NACIONAL DE
GEOMORFOLOGIA

Tocantins

Rio Maranhão



Rio Das Almas



Paraná

Rio Corumbá

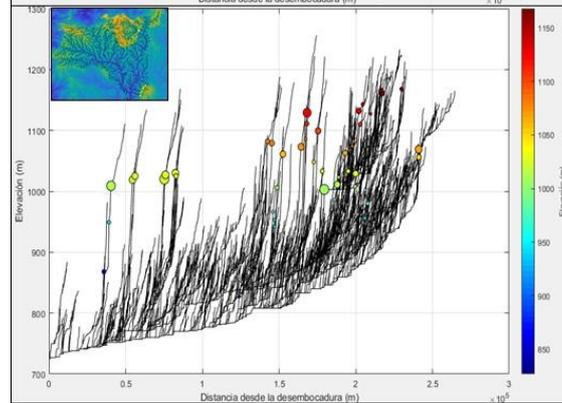
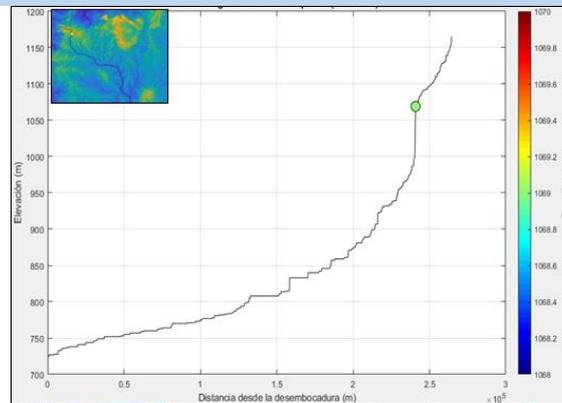
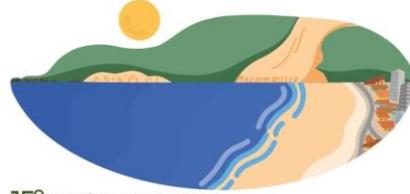


Figura 3. Perfis Longitudinais do rio principal e da rede de drenajes das bacias estudadas.



15º SIMPÓSIO NACIONAL DE
GEOMORFOLOGIA

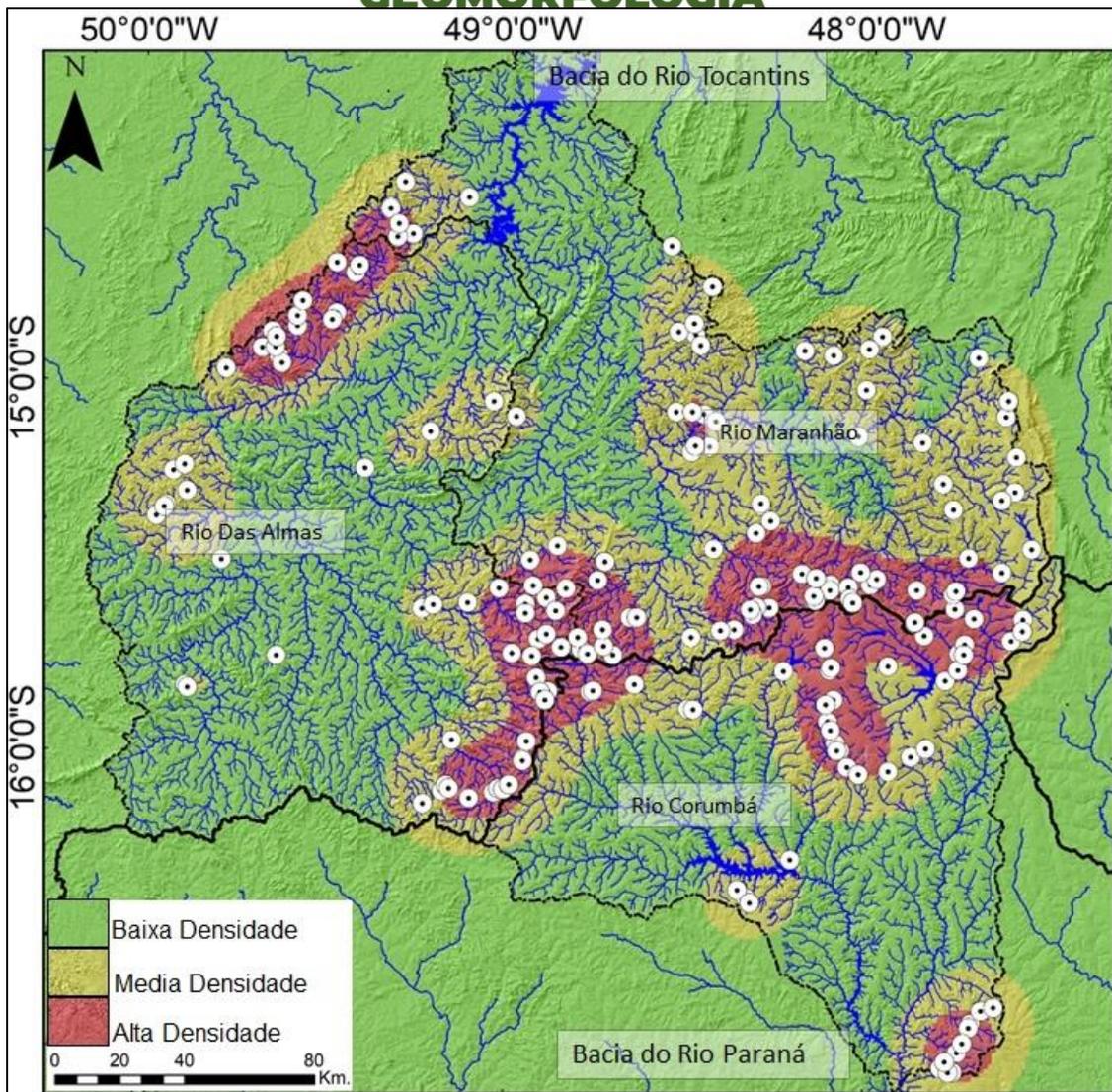
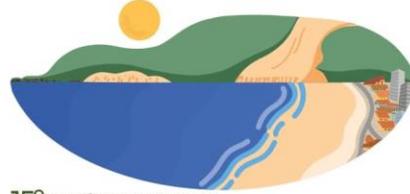


Figura 4. Densidade de Knickpoints.

Convém sublinhar que as áreas de maior densidade de knickpoints coincidem espacialmente com domínios geológicos compostos predominantemente por embasamentos cristalinos, especialmente no domínio metamórfico (figuras 2 e 4). Essas litologias caracterizam-se por elevada resistência mecânica e heterogeneidade estrutural, fatores que contribuem diretamente para a formação de desníveis topográficos e rupturas nos perfis longitudinais dos canais de drenagem.

Além disso, quando um rio transpassa substratos geológicos antigos, constituídos por rochas ígneas, os elementos estruturais presentes nesses litotipos, tais como: fraturas, falhas, lineamentos e foliações, podem atuar na modificação das características morfológicas e hidrológicas do corpo hídrico. Dessa forma, a rede de drenagem pode



15º SIMPÓSIO NACIONAL DE
GEOMORFOLOGIA

adquirir feições consideradas anômalas, o que evidencia a influência de atividade tectônica pretérita na configuração atual da drenagem (Stevaux e Latrubesse, 2017).

Com o intuito de robustecer a análise geomorfológica, as curvas hipsométricas das bacias hidrográficas foram calculadas (Figura 4). A análise conjunta do mapa de densidade de knickpoints e da curva hipsométrica de cada bacia possibilita revelar uma correlação direta entre a concentração dessas feições e o estágio morfogênético das drenagens, fornecendo uma compreensão mais abrangente da evolução do relevo. Pavano et al. (2016) demonstram que bacias cuja curva hipsométrica apresenta forma assimétrica sigmoide e elevada integral (HI entre 0,35 e 0,5) tendem a exibir alta densidade de knickpoints.

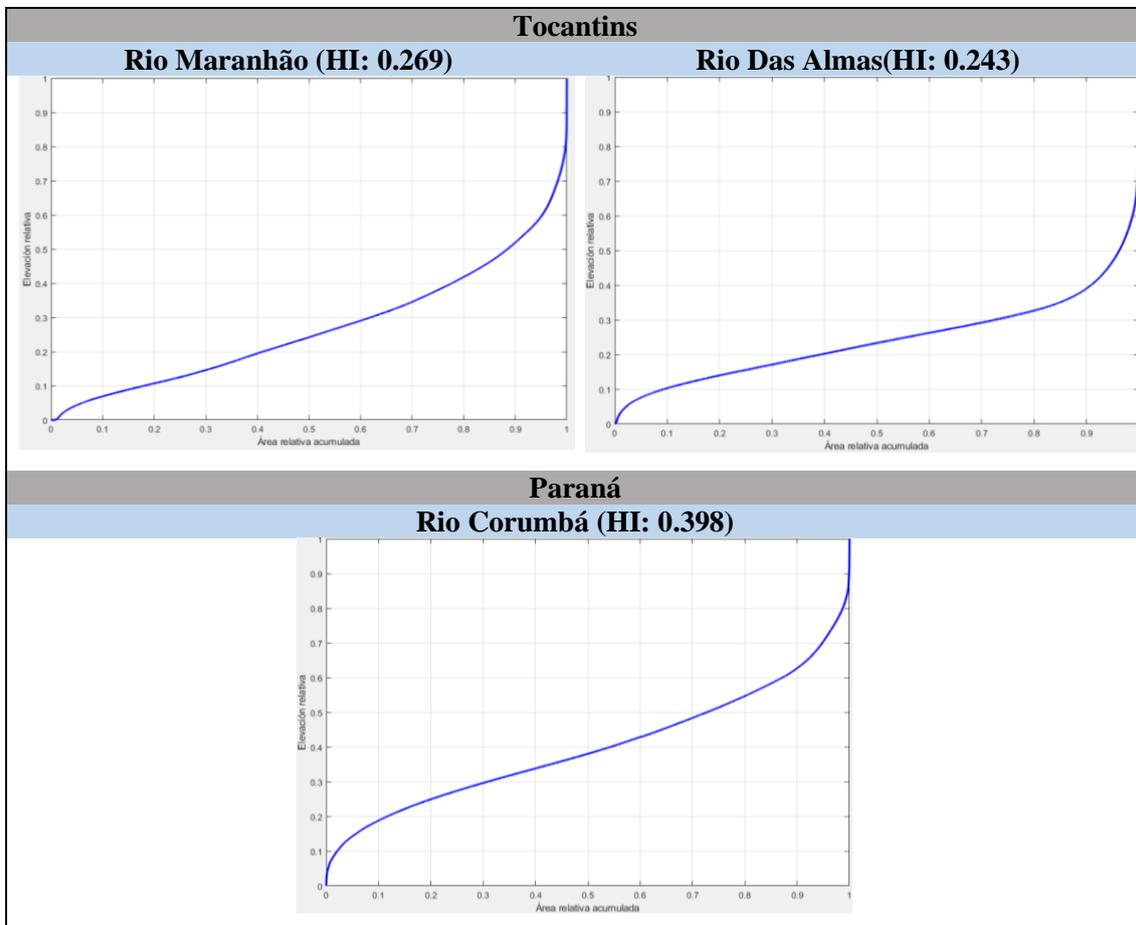


Figura 4. Curvas Hipsométricas das bacias estudadas.

A análise das curvas hipsométricas das bacias estudadas permite identificar diferenças significativas quanto ao grau de dissecação do relevo e ao estágio evolutivo das drenagens. A bacia do rio Corumbá apresenta um índice hipsométrico de 0,398, indicando um estágio morfogênético intermediário a maduro, com relevo relativamente dissecado, mas ainda preservando setores elevados com energia potencial residual. Por



sua vez, as bacias do rio das Almas ($HI = 0,243$) e do rio Maranhão ($HI = 0,269$) exibem curvas tipicamente côncavas, associadas a estágios senis, nos quais o perfil longitudinal foi amplamente suavizado e a energia disponível para erosão já se encontra bastante reduzida. Esses padrões indicam que tais sistemas fluviais tendem a apresentar maior estabilidade morfológica, com rede de drenagem ajustada à base erosiva.

Quando correlacionados aos dados de knickpoints, os valores do índice hipsométrico revelam aspectos importantes sobre a dinâmica atual das drenagens. Apesar do HI relativamente elevado da bacia do rio Corumbá (0,398), observa-se a ocorrência de 47 knickpoints, o que é coerente com sua condição morfogenética de maturidade. Já as bacias do rio das Almas ($HI = 0,243$) e do rio Maranhão ($HI = 0,269$), ambas com curvas hipsométricas típicas de sistemas senis, apresentam, respectivamente, 61 e 91 knickpoints. Esse padrão anômalo sugere que essas drenagens, apesar do avanço do processo erosivo, ainda apresentam zonas de desequilíbrio. Assim, os knickpoints funcionam como indicadores de reorganização fluvial, atuando sobre perfis já energeticamente estabilizados.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo teve como objetivo principal analisar os perfis longitudinais dos rios nas sub-bacias do Corumbá, rio das Almas e rio Maranhão, buscando entender a reorganização fluvial no divisor de águas Tocantins/Paraná, em Goiás. A análise combinada de MDE, densidade de knickpoints, geologia e curvas hipsométricas foi fundamental para essa investigação.

Os resultados demonstram uma clara correlação entre a concentração de knickpoints e a litoestrutura regional. As maiores densidades de knickpoints coincidem com domínios de embasamentos cristalinos. Ademais, a análise hipsométrica complementou essa observação e acrescentou outras informações, indicando que bacias com alta densidade de knickpoints exibem curvas tipicamente côncavas e menores valores de integral hipsométrica. Isto sugere um estágio de desequilíbrio, onde os knickpoints funcionam como indicadores de reorganização fluvial, apontando para um processo de migração do divisor atuando como frentes de reequilíbrio erosivo.



REFERÊNCIAS

BISHOP, P. Drainage rearrangement by river capture, beheading and diversion. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, v. 19, n. 4, p. 449-473, 1995.

CASSEMIRO FERNANDA APERICIDA DA SILVA, ANDRÉ AUGUSTO RODRIGUES SALGADO, RODRIGO WAGNER PAIXÃO, ÉRIC ANDRADE REZENDE, The timing of large drainage rearrangement in South America: A study based on morphological and ecological evidence, *Geomorphology*, Volume 468, 2025.

CUNHA, SANDRA BATISTA DA. Geomorfologia fluvial. In: CUNHA, SANDRA BATISTA DA; GUERRA, ANTONIO JOSÉ TEIXEIRA (Org.). *Geomorfologia: exercícios, técnicas e aplicações*. 6. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2013. p. 157–190.

FERREIRA, C.; GOMES, A.; ANTÓN, L., Knickpoints na bacia hidrográfica do Douro: análise da sua distribuição e implicações estruturais. In: *Seminário Latino-Americano de Geografia Física*, 6. *Seminário Ibero-Americano de Geografia Física*, 2. 2010. Coimbra. *Boletim de Resumos...* Universidade de Coimbra, 2010. p. 1-13.

FRANCESCO PAVANO, FRANK J. PAZZAGLIA, STEFANO CATALANO; Knickpoints as geomorphic markers of active tectonics: A case study from northeastern Sicily (southern Italy). *Lithosphere* 2016;; 8 (6): 633–648. doi: <https://doi.org/10.1130/L577.1>

GALLEN, S. F. Lithologic controls on landscape dynamics and aquatic species evolution in post-orogenic mountains. *Earth and Planetary Science Letters*, v. 493, p. 150-160, 2018.

HOWARD, A.D., DIETRICH, W.E., SEIDL, M.A. Modeling fluvial erosion on regional to continental scales. *J. Geophys. Res.* 99 (B7), 1994. 13971–13986.

MATLAB. Matlab software (version R2021a). Natick, Massachusetts: The Math Works. 2021.



NASCIMENTO, M. A. S. Geomorfologia do Estado de Goiás. In: Boletim Goiano de Geografia. v.12, p.1-22, Jan/Dez 1992.

PUPIM, D. N. F. BIERMAN, P. R., ASSINE, M. L., ROOD, D. H., SILVA, A., & MERINO, E. R. Erosion rates and landscape evolution of the lowlands of the Upper Paraguay river basin (Brazil) from cosmogenic Be. *Geomorphology*, 234, 151-160. 2015. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.01.016>

SCHERLER, D. & SCHWANGHART, W. (2020) Drainage divide networks – part 1: Identification and ordering in digital elevation models. *Earth Surface Dynamics*, 8(2), 245–259. <https://doi.org/10.5194/esurf-8-245-2020>

STEVAUX, J.C.; LATRUBESSE, E.M. Geomorfologia fluvial. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.

STRUTH, L.; GARCIA-CASTELLANOS, D.; VIAPLANA-MUZAS, M.; VERGÉS, J. Drainage network dynamics and knickpoint evolution in the Ebro and Duero basins: from endorheism to exorheism. *Geomorphology*, v. 327, p. 554-571, 2019.

VASCONCELOS, P. M., FARLEY, K. A., STONE, J., PIACENTINI, T., & FIFIELD, L. K. Stranded landscapes in the humid tropics: Earth's oldest land surfaces. *Earth and Planetary Science Letters*, 519, 152-164, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2019.04.014>

WILLETT, S. D. et al., Dynamic reorganization of river basins. *Science*, v. 343, n. 6175, p. 1248765, 2014.