



# ANÁLISE DE KNICKPOINTS E KNICKZONAS NA ESTRUTURA DE IMPACTO DE ARAGUAINHA (MT/GO): CONTROLE ESTRUTURAL DA DRENAGEM A PARTIR DE ÍNDICES GEOMORFOMÉTRICOS

Dyenne Queiroz Silva <sup>1</sup>  
André Henrique Bezerra dos Santos <sup>2</sup>

## RESUMO

Crateras de impacto são estruturas resultantes da colisão de corpos celestes com a superfície terrestre, gerando ondas de choque de alta intensidade. A formação ocorre em três estágios: contato/compressão, escavação e modificação. Estruturas com mais de 4 km de diâmetro, como a Cratera de Araguainha, apresentam soerguimento central, formando um domo típico de crateras complexas. Localizada na divisa entre Mato Grosso e Goiás, Araguainha possui cerca de 40 km de diâmetro e é a maior cratera de impacto da América do Sul. Descoberta na década de 1970, a região é objeto de estudos geológicos, mas carece de análises geomorfológicas aprofundadas. Este trabalho teve por objetivo caracterizar anomalias na rede de drenagem da Cratera de Araguainha, associadas à estrutura de impacto. Para isso, utilizou-se geoprocessamento com dados SRTM, cartas topográficas (resolução de 90m), imagens de satélite e o plugin TauDEM no QGIS. Foram delimitadas as bacias hidrográficas e extraída automaticamente a rede de drenagem hierarquizada com base em Strahler (1952). Foram analisados oito cursos d'água que atravessam a cratera, com base na geração de perfis longitudinais e cálculo dos índices geomorfométricos RDEt (total) e RDEs (segmento). O índice RDE foi utilizado para identificar anomalias conforme a razão RDEs/RDEt: valores  $>10$  indicam anomalias de primeira ordem; entre 2 e 10, de segunda ordem; e  $<2$ , ausência de anomalia. A análise revelou que sete dos oito cursos apresentaram anomalias de primeira ordem. O Rio Araguaia (8ª ordem), o maior da área com 259,7 km, apresentou oito anomalias de primeira ordem (máximas de 158,72; 134,01; 72,01) e cinco de segunda. Próximo à borda leste da cratera, identificou-se um cânion (observado em campo), resultante da erosão em arenitos da Formação Aquidauana, entre Ponte Branca (MT) e Doverlândia (GO). O Ribeirão São João (5ª ordem) mostrou anomalias ao entrar e sair da cratera, com valor máximo de 15,86 no interior da estrutura. Entre os cursos que nascem dentro do domo, destacam-se o Ribeirão Bisca com trajeto próximo ao pico soerguido. O curso apresentou 2 anomalias de primeira ordem e 9 de segunda, associadas a uma cachoeira visível no Google Earth e a fraturas litológicas. As anomalias observadas reforçam o padrão de drenagem anelar da cratera, típico de estruturas de impacto. Os canais se ajustam a falhas, fraturas e contatos litológicos, que direcionam os fluxos e influenciam diretamente os perfis longitudinais. A presença de knickpoints e knickzonas está fortemente associada à estrutura geológica interna da cratera. Dessa forma, a pesquisa contribui para o aprofundamento do conhecimento geomorfológico da Cratera de Araguainha, evidenciando a influência de estruturas de impacto na organização da drenagem e reforçando a importância de análises integradas entre dados morfométricos e observações de campo.

## INTRODUÇÃO

Crateras de impacto de hipervelocidade são estruturas formadas pela colisão de um bólido extraterrestre com a crosta terrestre, sendo responsável por transformações significativas no relevo. A Cratera de Araguainha, também conhecida como Domo de Araguainha, constitui

<sup>1</sup> Graduanda do Curso de Licenciatura em Geografia do Instituto Federal de São Paulo - IFSP, dyenne.q@aluno.ifsp.edu.br;

<sup>2</sup> Professor orientador: doutor, Departamento de Humanidades - IFSP, andrehsantos@ifsp.edu.br



um exemplo desse tipo de feição. Formada em torno de 250 milhões de anos, possui um diâmetro de 40 km, sendo a maior cratera de impacto da América do Sul. Localizada na divisa entre os estados de Mato Grosso e Goiás, abrange os municípios de Araguainha, Ponte Branca e Alto Araguaia (MT), e Doverlândia, Mineiros e Santa Rita do Araguaia (GO).

Objeto de estudo desde a década de 1960, quando foi identificada como estrutura geológica anômala, tendo sua origem meteorítica confirmada por Álvaro Crósta (Crósta et al., 1981) cujo trabalho demonstrou a presença de feições diagnósticas como cones de estilhaçamento, brechas de impacto e deformações planares em minerais. Atualmente, a cratera é reconhecida como um sítio de patrimônio geológico pela União Internacional das Ciências Geológicas (UICG) e integra a proposta de criação do Geoparque Astroblema de Araguainha–Ponte Branca, dada sua relevância científica, didática e potencial geoturístico.

Este trabalho tem como foco a análise morfoestrutural da Cratera de Araguainha a partir da aplicação do índice Relação Declividade-Extensão (RDE), como método para investigar o controle estrutural exercido pela cratera sobre a rede de drenagem local. Parte-se da hipótese que o impacto provocou deformações capazes de condicionar o padrão atual da drenagem, o que pode ser identificado por meio da análise de perfis longitudinais dos cursos fluviais e da aplicação do índice RDE. A investigação busca compreender em que medida o relevo da cratera, resultante de processos tectônicos e erosivos posteriores ao impacto, influencia na organização e nas anomalias da rede hidrográfica, como cotovelos de rio, colos, gargantas, knickpoints e knickzonas.

A relevância do estudo se justifica pelo fato de que, embora a Cratera de Araguainha tenha sido amplamente estudada do ponto de vista geológico, ainda são escassas as abordagens que exploram sua dimensão geomorfológica, especialmente no que diz respeito ao comportamento da drenagem e aos condicionantes estruturais impostos pelo impacto.

## **METODOLOGIA (OU MATERIAIS E MÉTODOS)**

A presente pesquisa utilizou ferramentas de geoprocessamento para análise da drenagem na área da Cratera de Araguainha, com base em dados SRTM, imagens de satélite, cartas topográficas e geológicas, retiradas do site TOPODATA, IBGE, CPRM e SGB. A delimitação da bacia foi realizada no software QGIS, por meio do plugin TauDEM. A partir dos dados altimétricos, foi elaborado um Modelo de Elevação Digital (MDE), usado no plugin para obtenção da rede hidrográfica no Domo de Araguainha. A hierarquia fluvial foi baseada no método de Strahler (1952). O padrão de drenagem foi interpretado como indicativo de



ajustes à estrutura geológica e às heranças de superfícies geomorfológicas passadas (Twidale, 2004).

Foram analisados oito cursos de drenagem, priorizando rios que atravessam a estrutura de impacto e com extensão acima de 15 km, para garantir uma boa cobertura da área. Os perfis longitudinais foram elaborados para cursos de 8ª (1), 7ª (2), 6ª (1), 5ª ordem (4). As distâncias entre segmentos dos canais foram medidas entre curvas de nível sucessivas com variação altimétrica de 20 metros, para a construção dos perfis e, posteriormente, a aplicação do índice geomorfométrico RDE (Relação Declividade-Extensão). A partir dos dados de altimetria e distância da nascente foram calculados os valores de RDEs (segmento) e RDEt (total). O RDEs foi calculado com a fórmula:

$$RDE = (\Delta H / \Delta L) \cdot L$$

Em que  $\Delta H$  representa a diferença altimétrica entre duas curvas de nível,  $\Delta L$  o comprimento do canal entre as curvas de nível e  $L$  o comprimento total do canal até a foz ou ponto de exutório. O RDEt foi obtido pela fórmula:

$$RDEt = \Delta H / \ln(L)$$

Em que  $\Delta H$  representa a amplitude total do curso e  $L$  o comprimento. Para a identificação de anomalias foi calculado a razão entre RDEs/RDEt, conforme proposto por Etchebehere et al. (2004) e Silva et al. (2016). Valores superiores a 10 indicam anomalias de primeira ordem; entre 2 e 10, de segunda ordem; e inferiores a 2 não indicam anomalias.

## REFERENCIAL TEÓRICO

As crateras de impacto constituem feições geológicas de relevância para a compreensão da dinâmica terrestre e da evolução do relevo (Crósta et al., 2018). Apesar de sua origem extraterrestre, essas estruturas possuem papel fundamental na reconfiguração da superfície terrestre, especialmente quando consideradas as evidências acumuladas desde meados do século XX sobre seus efeitos geomorfológicos (French, 1998). A cratera de impacto é resultado de colisões hipervelozes entre projéteis cósmicos e a superfície terrestre, como consequência, são geradas intensas ondas de choque, capazes de modificar as características estruturais das rochas impactadas (French, 1998).



O processo de formação dessas crateras ocorre em três estágios: contato/compressão, escavação e modificação. A propagação das ondas de choque, responsável pela escavação e subsequente deformação do substrato, gera uma estrutura transitória com formato de tigela. No último estágio, as paredes íngremes colapsam e preenchem o interior da cratera. Em crateras complexas, o terceiro estágio é marcado pelo soerguimento de rochas mais profundas (pico central). Em estruturas complexas como a Cratera de Araguainha, tais feições podem ser parcialmente preservadas e reconhecidas através de análise morfoestrutural, sensoriamento remoto e dados topográficos de alta resolução (French, 1998; Crósta et al., 2018).

O perfil longitudinal representa a variação altimétrica ao longo do canal fluvial e, quando em equilíbrio, apresenta uma curvatura côncava suave rumo à foz (Christofolletti, 1980). Contudo, irregularidades na forma do perfil, como knickpoints e knickzonas podem indicar interferências estruturais, variações litológicas ou reorganizações fluviais, especialmente em áreas sujeitas a processos tectônicos ou de impacto (Twidale, 2004; Antón et al., 2012). Dessa forma, o perfil longitudinal é utilizado na identificação de distúrbios morfoestruturais e na inferência de áreas sob influência tectônica ativa (Etchebehere et al., 2004, 2006).

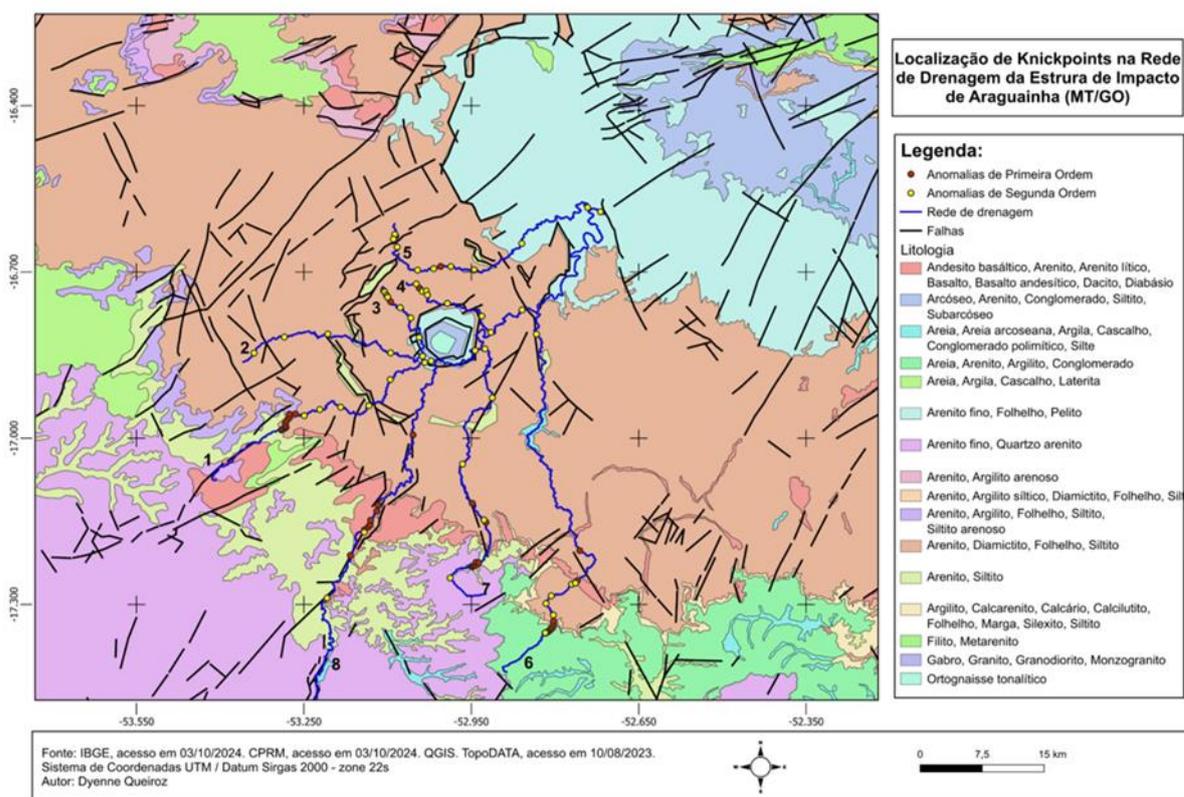
Aliado ao perfil longitudinal, o índice geomorfométrico RDE (Relação Declividade–Extensão), também conhecido como índice SI ou de Hack (1973), tem sido utilizado para detectar anomalias morfométricas relacionadas à presença de estruturas geológicas ou deformações crustais. O RDE quantifica, para cada segmento do curso fluvial, a relação entre a declividade local e sua extensão horizontal, possibilitando distinguir áreas de instabilidade ou de possível controle estrutural. Anomalias de primeira ordem indicam deformações ativas ou falhas, enquanto de segunda ordem sugerem variações estruturais ou litológicas herdadas (Etchebehere et al., 2004; Silva et al., 2016; Antón, 2014; Brito e Souza, 2023).

Estudos recentes demonstram que as crateras de impacto podem induzir padrões de drenagem específicos, como os radiais, centrípetos ou anelares. Tais padrões revelam a influência da estrutura de impacto sobre o comportamento hidrológico regional (Twidale, 2004; Santos e Oliveira, 2015). A rede anelar, por exemplo, é caracterizada pela orientação dos canais principais ao longo de estruturas circulares e tributários que se dispõem radialmente, refletindo o controle estrutural resultante do impacto (Twidale, 2004; Small, 1972). Nesse contexto, a aplicação conjunta da análise de perfis longitudinais, do índice RDE e da interpretação dos padrões de drenagem revela-se eficaz para a compreensão das feições geomorfológicas em áreas com estruturas de impacto, como a Cratera de Araguainha.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A partir dos dados de topografia disponíveis, elaborou-se um Modelo Digital de Elevação do qual foram ser extraídos atributos primários, que consistem em produtos retirados diretamente dos dados de elevação usados extensivamente nos estudos em geomorfologia. A rede hidrográfica foi extraída automaticamente a partir dos dados SRTM, com uso da extensão TAUDEM no QGIS. O padrão de drenagem é reconhecido como indicador de ajuste da atividade fluvial à estrutura e às inclinações herdadas de superfícies geomorfológicas antigas. Com base na análise utilizando o software Qgis foram gerados perfis longitudinais para os cursos. A construção do perfil longitudinal estabelece uma análise gráfica entre comprimento (eixo x) e altitude (eixo y) do curso d'água, é a partir desse perfil que há a compreensão de possíveis anomalias na rede de drenagem, anomalias que podem ser definidas por knickpoints (Christofolleti, 1980).

Figura 1: Mapa de localização de knickpoints

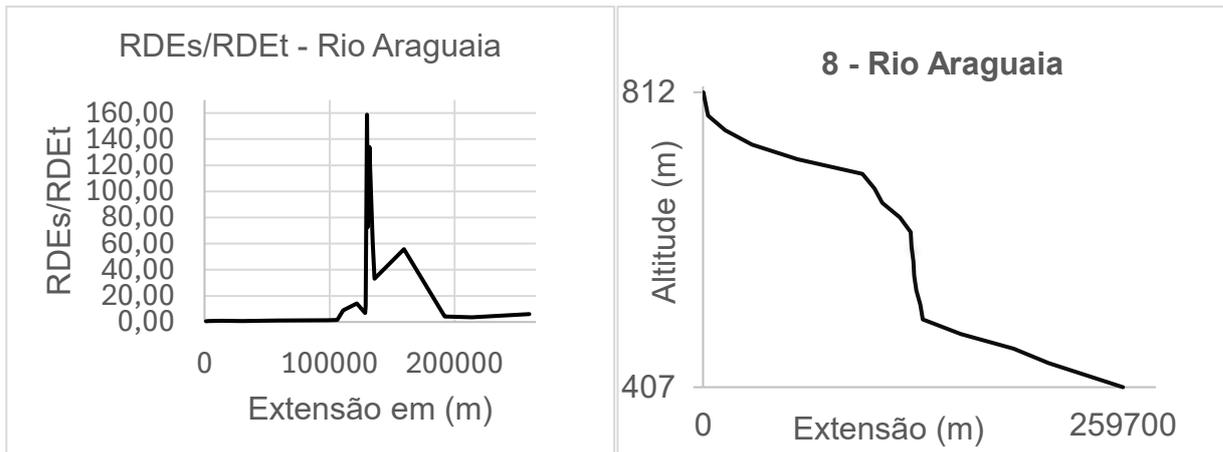


Cursos analisados: 1 - Rio Araguainha, 2 - Ribeirão Correia, 3 - Córrego Bisca, 4 - Córrego Fundo Sete Voltas, 5 - Ribeirão São João, 6 - Rio Diamantino, 7 - Ribeirão do Salto e 8 - Rio Araguaia. Fonte: elaborado pela autora.

Após a reconstrução das linhas de drenagem foi realizada a análise de oito cursos d'água que passam por dentro da Cratera. A figura 1 representa graficamente as anomalias encontradas

nos cursos analisados O primeiro a ser mencionado é o Rio Araguaia que divide os estados de Mato Grosso e Goiás. Para esse curso em específico, não foi gerado um perfil longitudinal até sua foz no Rio Tocantins, foi definido na pesquisa um exutório.

Figura 2: Perfil Longitudinal e RDEs/RDEt do Rio Araguaia



Fonte: elaborado pela autora.

É o maior curso em extensão, com 259,7 km (até o exutório), e o de maior ordem sendo o único de 8ª ordem. Ao aplicar o RDE/RDEt foram encontradas 8 anomalias de primeira ordem, com os três maiores valores sendo 158,72; 134,01 e 72,01. Anomalias de segunda ordem foram 5 no total com o menor valor sendo 3,64. Antes de chegar à área da cratera, o Rio Araguaia conta com 9 anomalias, 7 de primeira ordem, elas estão relacionadas a contatos litológicos, falhas e zona de cisalhamento. Próximo a saída cratera, o curso apresenta a penúltima anomalia, de segunda ordem, relacionada a uma falha geológica. Outro curso apresenta anomalia nesta falha: o Rio Diamantino. Depois de aproximadamente 5 km os dois rios se encontram.

Em trabalho de campo realizado para observação da estrutura do domo, observamos um cânion, conforme figura 3, que é tido como resultante da erosão em arenitos da formação Aquidauana entre a cidade de Ponte Branca – MT e Doverlândia – GO. O cânion é formado após o encontro dos rios citados acima, e está localizado na borda da cratera, na área leste, região mais erodida da cratera.



15º SIMPÓSIO NACIONAL DE  
**GEOMORFOLOGIA**

Figura 3: Cânion entre Ponte Branca e Doverlândia

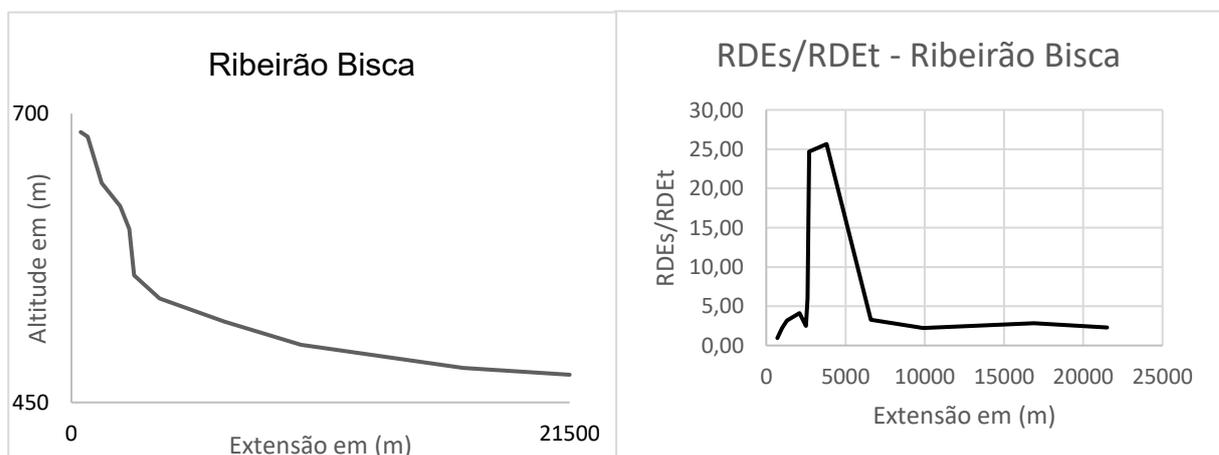


Fonte: Acervo próprio.

Outro curso que apresenta anomalias na saída cratera é o Ribeirão São João de 5ª ordem, esse curso nasce à noroeste da cratera e seu curso segue sentido nordeste até encontrar o Rio Araguaia, quilômetros após deixar a estrutura de impacto. O maior valor de RDEs/RDEt é de 15,86 e está dentro do domo. Esse curso apresenta anomalias ao adentrar e ao sair da estrutura meteorítica.

Dos cursos analisados apenas dois nascem dentro da cratera: Ribeirão Bisca (Figura 4) e Fundo Sete Voltas (Figura 5). O Ribeirão Bisca é um curso anômalo, com exceção do primeiro segmento, apresenta 2 anomalias de primeira ordem e 9 de segunda ordem, os valores variam de 2,22 a 25,65. Esse curso nasce próximo a um lineamento (superfície em s) e passa pela base sul do pico soerguido. As anomalias correspondem a knickpoints e uma cachoeira observada via Google Earth.

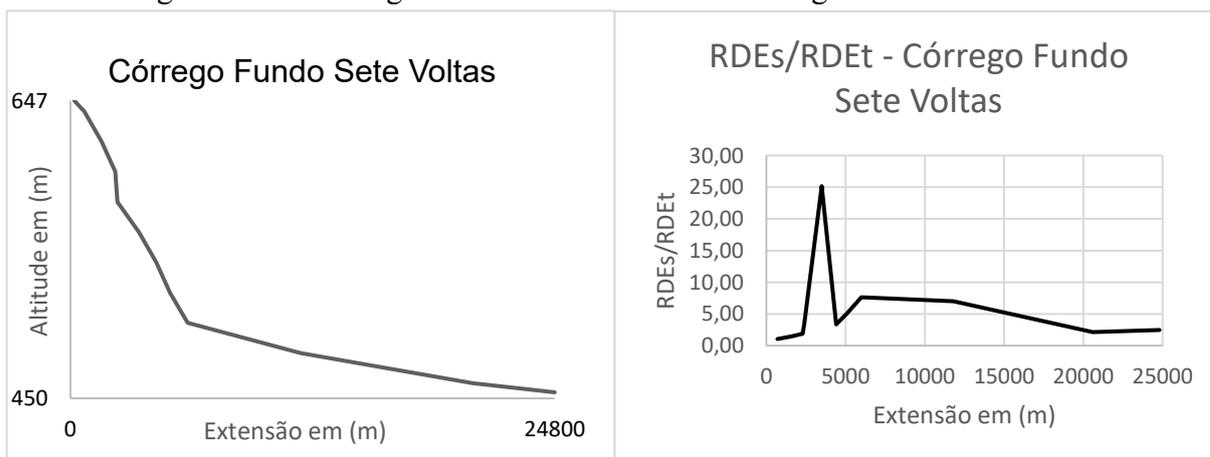
Figura 4: Perfil Longitudinal e RDEs/RDEt do Ribeirão Bisca



Fonte: Elaborado pela autora

O segundo curso, Córrego Fundo Sete Voltas (figura 5), apresenta 8 anomalias, apenas uma de primeira ordem com valor de 25,17. Como o Ribeirão Bisca o Córrego Fundo Sete Voltas também passa pela base do pico, ele nasce a noroeste da cratera segue seu curso sentido sudeste, passa pelo norte do pico e inverte o sentido do curso, seguindo sentido leste.

Figura 5: Perfil Longitudinal e RDEs/RDEt do Córrego Fundo Sete Voltas



Fonte: Elaborado pela autora

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise mostrou que sete dos oito cursos estudados apresentaram anomalias de primeira ordem, com destaque para o Córrego Bisca, onde as anomalias estão relacionadas a uma cachoeira e fraturas litológicas. Outros rios, como o Ribeirão São João, Rio Diamantino e o Rio Araguaia, também apresentaram anomalias que refletem o controle estrutural da cratera sobre o relevo e a rede de drenagem. A drenagem da cratera exhibe diversos knickpoints, associados a cachoeiras e cânion.

A pesquisa identificou diversas anomalias na rede fluvial dentro da Cratera de Araguainha que coincidem com estruturas e contatos litológicos. Como visto em Twidale (2004) a drenagem se ajusta em contatos de diferentes tipos de rochas, fraturas e falhas, linhas de fraturas facilitam a erosão o que permite a formação dos rios, knickpoints podem surgir por meio do tectonismo que alteram o nível da base, obrigando os rios a ajustarem seus perfis, o que causa os saltos de nível, em outras palavras, knickpoints representam uma mudança abrupta de declividade.

Araguainha possui um padrão de drenagem anelar, proposto por Twidale, (2004) em que os canais fluviais aproveitam as falhas existentes para se desenvolver por meio da erosão,



confirmando que a morfologia fluvial da região é fortemente influenciada pela estrutura de impacto. A pesquisa reforça a necessidade de trabalhos de campo para verificação in loco das anomalias identificadas. e a importância do estudo geomorfológico de crateras de impacto para para compreensão da organização do relevo e das redes de drenagem sob influência estrutural.

**Palavras-chave:** Cratera de impacto, drenagem, anomalias, perfil longitudinal.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Instituto Federal de São Paulo campus São Paulo, e ao Programa de Bolsa de Iniciação Científica, que possibilitaram meu desenvolvimento acadêmico.

## REFERÊNCIAS

ANTÓN, L. et al. Using river long profiles and geomorphic indices to evaluate the geomorphological signature of continental scale drainage capture, Duero basin (NW Iberia). **Geomorphology (Amsterdam, Netherlands)**, v. 206, p. 250–261, 2014.

ANTÓN, L.; RODÉS, A.; DE VICENTE, G.; PALLÀS, R.; GARCIACASTELLANOS, D.; STUART, F.M.; BRAUCHER, R.; BOURLÈS, D. Quantification of fluvial incision in the Duero Basin (NW Iberia) from longitudinal profile analysis and terrestrial cosmogenic nuclide concentrations. **Geomorphology**, v. 165–166, p. 50–61, 2012.

BRITO, A. M.; OLIVEIRA SOUZA, A. Aplicação do SI-Index e Ksn-Index no estudo de knickpoints dos afluentes do alto curso do Rio Preto, região oeste do estado da Bahia. **Revista Contexto Geográfico**, v. 9, n. 18, 2024. <https://doi.org/10.28998/contegeo.9i.18.16817>

CHRISTOFOLETTI, Antonio. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980. 188 p.

CRÓSTA, A. P.; GASPAR, J. C.; CÂNDIA, M. A. F. Feições de metamorfismo de impacto no Domo de Araguinha. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 11, n. 3, p. 139-146, 1981.

CRÓSTA, A. P.; REIMOLD, W. U.; VASCONCELOS, M. A. R.; HAUSERB, N.; OLIVEIRA, G. J. G.; MAZIVEIRO, M. V.; GOÉSE, A. M. Impact cratering: The South American record – Part 1. **Chemie der Erde**, v. 1, p. 1-61, 2018.

ETCHEBEHERE, M. L. C. et al. Detecção de prováveis deformações neotectônicas no vale do rio do Peixe, região ocidental paulista, mediante aplicação de índices RDE (Relação Declividade-Extensão) em segmentos de drenagem. **Geociências (UNESP)**, v. 25, n. 3, p. 271–287, 2006.

ETCHEBEHERE, M. L. C.; SAAD, A. R.; PERINOTTO, J. A. J.; FULFARO, V. J. Aplicação do índice “Relação Declividade-Extensão - RDE” na bacia do rio do Peixe (SP)



para detecção de deformações neotectônicas. **Revista do Instituto de Geociências - USP - Série Científica**, v. 4, n. 2, p. 43-56, 2004.

FRENCH, B. M. Traces of Catastrophe: A Handbook of Shock-Metamorphic Effects in Terrestrial Meteorite Impact Structures. **Houston: Lunar and Planetary Institute**, 1998. 120 p.

HACK, J. T. Stream-profile analysis and stream-gradient index. U.S. **Geological Survey, Journal of Research**, v. 1, n. 4, p. 421-429, 1973.

SANTOS, A. H. B.; DE OLIVEIRA, D. A influência de uma estrutura de impacto na morfodinâmica da borda meridional do Planalto Paulistano: o caso da Cratera de Colônia, em São Paulo-SP. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 16, n. 4, 2015.

SILVA, F. P.; MOREIRA, J. A.; BARRETO, J. C. B. O uso de dados geomorfométricos e estruturais como subsídio à interpretação do papel da neotectônica na evolução do relevo da bacia hidrográfica do rio Paraibuna – MG **Anais do Simpósio Nacional de Geomorfologia – SINAGEO**, 2016. Disponível em: <https://www.sinageo.org.br/2016/trabalhos/1/1-12-1503.html>. Acesso em: 22 jun. 2025.

SMALL, R. J. The Study of Landforms: A Textbook of Geomorphology. Cambridge: **Cambridge University Press**, 1972.

STRAHLER, A. N. Dynamic basis of geomorphology. **Geological Society of America Bulletin**, v. 63, p. 923-938, 1952.

TWIDALE, C. R. River patterns and their meaning. **Earth-Science Reviews**, v. 67, p. 159-218, 2004.

