

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS - MG

Instituto de Ciências da Natureza

Curso de Geografia – Bacharelado

MARIANA CUPINI

**A INFLUÊNCIA MORFOESTRUTURAL NA EVOLUÇÃO DA PAISAGEM DA
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO POUSO ALEGRE – MG**



ALFENAS - MG

2023

MARIANA CUPINI

**A INFLUÊNCIA MORFOESTRUTURAL NA EVOLUÇÃO DA PAISAGEM DA
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO POUSO ALEGRE – MG**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Geografia pela Universidade Federal de Alfenas.

Orientador: Prof. Dr. Felipe Gomes Rubira

ALFENAS / MG

2023

Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal de Alfenas
Biblioteca Unidade Educacional Santa Clara

Cupini, Mariana.

A INFLUÊNCIA MORFOESTRUTURAL NA EVOLUÇÃO DA PAISAGEM
DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO POUSO ALEGRE – MG / Mariana
Cupini. - Alfenas, MG, 2023.

68 f. : il. -

Orientador(a): Felipe Gomes Rubira.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia) -
Universidade Federal de Alfenas, Alfenas, MG, 2023.
Bibliografia.

1. Estudos morfométricos. 2. Rede de drenagem. 3. Relevo. 4. Índices.
5. Parâmetros . I. Rubira, Felipe Gomes , orient. II. Título.

Ficha gerada automaticamente com dados fornecidos pelo autor.

MARIANA CUPINI

**A INFLUÊNCIA MORFOESTRUTURAL NA EVOLUÇÃO DA PAISAGEM DA
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO POUSO ALEGRE – MG**

O Presidente da banca examinadora abaixo assina a aprovação do Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Geografia pela Universidade Federal de Alfenas.

Aprovada em: 11 de dezembro de 2023

Prof. Dr. Felipe Gomes Rubira
Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG)

Assinatura:

Prof. Dr. Ronaldo Luiz Mincato
Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG)

Assinatura:

Prof. Dr. Clibson Alves dos Santos
Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG)

Assinatura:

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha família, especialmente aos meus pais, que sempre me motivaram e nunca mediram esforços para que nosso sonho pudesse ser realizado.

AGRADECIMENTOS

Ser a primeira familiar a graduar em uma Universidade Pública é, com certeza, a maior conquista e esperança que pude realizar por mim e pelos meus. Isso só foi possível pelo apoio e incentivo que minha família me proporcionou durante todos esses anos de estudos e dedicação. Desse modo, agradeço especialmente à minha mãe, Andréia, que esteve ao meu lado como uma base fortalecedora e um porto seguro em todos os momentos, me concedendo conforto e esperança para alcançar meus objetivos. Agradeço ao meu pai, João Paulo, que não mediu esforços em apoiar meus estudos e me ensinar a importância da educação. À todos os meus tios e tias, agradeço pelo companheirismo, amizade e bem-querer. Aos meus avós Fátima, Geraldo e Wilma, agradeço por me ensinarem o valor da família, da importância de não perder a esperança e renascer em situações necessárias.

À minha família, também se estende amigos dos quais as circunstâncias da vida nunca me deixarão esquecer. Agradeço, com muito carinho, à Gabriella, ao Matheus e ao Gustavo, pela amizade genuína e por permanecerem comigo durante toda essa jornada. Aos demais amigos e amigas, agradeço por todos os momentos felizes proporcionados.

Ao meu professor orientador, Prof. Dr. Felipe Rubira, agradeço pelo incentivo, progresso acadêmico e conhecimento obtido durante a pesquisa. À Universidade Federal de Alfenas, agradeço pela imensa carga de aprendizado e experiências que levarei comigo por toda a vida.

Agradeço a Deus por ter me concedido força e determinação para traçar esse caminho, que por muitas vezes pareceu longo e cansativo, mas que com muita coragem e esforço se fez realizado. Por fim, à todos que direta ou indiretamente fizeram parte de minha formação, o meu muito obrigado.

EPÍGRAFE

*“Educação não transforma o mundo. Educação muda as pessoas. Pessoas mudam o mundo.”
(FREIRE 1979, p.84)*

RESUMO

O entendimento dos padrões da rede de drenagem, assim como dos processos inerentes à sua dinâmica, revela-se crucial na análise e estudo de uma bacia hidrográfica. A esculturação promovida pela rede de drenagem molda e estrutura o relevo por meio dos processos de erosão e deposição, sendo também influenciada pelas variadas formações geológicas. A abordagem da influência morfoestrutural na evolução da paisagem da bacia do rio Pouso Alegre, por meio de estudos morfométricos, tem como objetivo proporcionar o conhecimento da dinâmica hidrogeomorfológica regional e, assim, compreender a configuração atual da bacia hidrográfica e suas características geomórficas. O conceito de stream power e a correlação entre as variáveis do relevo através da Teoria Geossistêmica corroboram a influência direta da resistência geológica na evolução dos canais fluviais, desempenhando papel fundamental no entendimento da evolução da paisagem mediante a dinâmica erosiva e deposicional dos padrões de drenagem. A distribuição espacial das anomalias na bacia hidrográfica do rio Pouso Alegre revela uma clara ligação com falhas tectônicas, transições litológicas e áreas de intensa declividade, rugosidade e dissecação. O Planalto de Oliveira desempenha papel crucial na dinâmica fluvial da bacia, destacando-se pela resistência erosiva promovida por sua litologia e pela formação de knickpoints pronunciados relacionados aos afloramentos de leocogranitos. Em contraste, observa-se maior estabilidade morfoestrutural nos patamares de Campo Belo e Formiga, evidenciando reajustes adaptativos pretéritos a partir do baixo curso, com o intuito de promover a estabilidade natural da bacia. O estudo da hidrogeomorfologia regional da bacia hidrográfica do rio Pouso Alegre por meio da morfometria forneceu subsídios cruciais para a análise da evolução da paisagem a longo prazo. Os dados gerados são essenciais para embasar tomadas de decisões e auxiliar na gestão de bacias hidrográficas, visando a compreensão integrada entre processos naturais e antrópicos.

Palavras-chave: Morfometria; estrutura; relevo; drenagem; evolução da paisagem.

ABSTRACT

Understanding drainage network patterns and the inherent dynamics is crucial for the analysis and study of a watershed. The sculpting effect driven by the drainage network shapes and structures the terrain through erosion and deposition processes, which are also influenced by various geological formations. The approach of morphostructural influence on the landscape evolution of the Pouso Alegre river basin, through morphometric studies, aims to provide knowledge of regional hydrogeomorphological dynamics and, consequently, comprehend the current configuration of the watershed and its geomorphic characteristics. The concept of stream power and the correlation between relief variables through Geosystemic Theory confirm the direct influence of geological resistance on the evolution of river channels, playing a fundamental role in understanding landscape evolution through the erosive and depositional dynamics of drainage patterns. The spatial distribution of anomalies in the Pouso Alegre river basin is clearly linked to tectonic faults, lithological transitions, and areas of intense slope, roughness, and dissection. The Oliveira Plateau plays a crucial role in the fluvial dynamics of the basin, standing out for erosive resistance promoted by its lithology and the formation of pronounced knickpoints related to leucogranite outcrops. In contrast, greater morphostructural stability is observed in the plateaus of Campo Belo and Formiga, highlighting past adaptive adjustments from the lower course to promote the natural stability of the basin. The study of the regional hydrogeomorphology of the Pouso Alegre river basin through morphometry has provided crucial insights for the analysis of long-term landscape evolution. The generated data are essential to support decision-making and assist in watershed management, aiming for an integrated understanding of natural and anthropic processes.

Keywords: Morphometry; terrain structure; drainage; landscape evolution.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Localização da área e hipsometria da bacia hidrográfica do rio Pouso Alegre.....	20
Figura 02 – Geologia da bacia hidrográfica do rio Pouso Alegre.....	21
Figura 03 – Unidades geomorfológicas da bacia do rio Pouso Alegre.....	22
Figura 04 – Caracterização ambiental da BH do rio Pouso Alegre.....	23
Figura 05 – Morfologia do Knickpoint.....	27
Figura 06 – Principais Geomorphons.....	29
Figura 07 – densidade dos knickpoints maiores que 5 metros na BH do rio Pouso Alegre.....	31
Figura 08 – knickpoints maiores que 5 m, 10 m, 15 m e 20 m do rio Pouso Alegre e de toda rede de drenagem.....	32
Figura 09 – knickpoints maiores que 20 m e associação com as zonas de cisalhamento e contatos litológicos.....	33
Figura 10 – Magnitude dos padrões de pontos em redes dos knickpoints.....	34
Figura 11 – Magnitude dos padrões de pontos em redes dos knickpoints maiores que 5 m, 10 m, 15 m e 20 m do rio Pouso Alegre e da rede de drenagem.....	35
Figura 12 – Gradiente de encostas da bacia hidrográfica do rio Pouso Alegre.....	36
Figura 13 – ksn da rede de drenagem da bacia hidrográfica do rio Pouso Alegre.....	37
Figura 14 – ksn médio por comprimento de fluxo do rio Pouso Alegre e da rede de drenagem.....	37
Figura 15 – Anomalias ksn com intervalo de confiança.....	38
Figura 16 – Perfil longitudinal do rio Pouso Alegre, índice SL, curva de melhor ajuste, litologias e sedimentos associados ao percurso fluvial.....	39
Figura 17 – A) lineamentos estruturais e diagrama de roseta. B) densidade de lineamentos.....	40
Figura 18 – Fator de simetria topográfica transversa da bacia do rio Pouso Alegre.....	41
Figura 19 – Fator de assimetria de bacias de drenagem da bacia do rio Pouso Alegre.....	41
Figura 20 – Parâmetros morfológicos da bacia do rio Pouso Alegre.....	42
Figura 21 – Cortes esquemáticos transversais ao vale do canal principal entre interflúvios da bacia.....	43
Figura 22 – Orientação das vertentes da bacia hidrográfica do rio Pouso Alegre.....	44
Figura 23 – Geomorphons da Bacia Hidrográfica do Rio Pouso Alegre.....	45
Figura 24 – A) densidade hidrográfica. (B) densidade de drenagem.....	46
Figura 25 – Curva Hipsométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Pouso Alegre.....	47

Figura 26 – Coeficiente de compacidade, índice de circularidade e fator forma da bacia hidrográfica do rio Pouso Alegre.....	48
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Parâmetros da hierarquia fluvial da bacia do rio Pouso Alegre (MG).....	24
Tabela 02 – Parâmetro para mensuração das anomalias de drenagem do canal principal.....	26
Tabela 03 – Parâmetros morfoestruturais e morfotectônicos.....	28
Tabela 04 – Parâmetros morfológicos do relevo.....	28
Tabela 05 – Parâmetros morfométricos da rede de drenagem.....	30
Tabela 06 – Parâmetros morfológicos e morfométricos da bacia.....	30

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA – Agência Nacional de Águas

BDGEX – Banco de Dados Geográficos do Exército

BH – Bacia hidrográfica

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

Dd – Densidade de drenagem

Dh – Densidade hidrográfica

FABD – Fator de assimetria da bacia de drenagem

Ff – Fator forma

FSTT – Fator de simetria topográfica transversa

HI – Integral hipsométrica

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

Ic – Índice de circularidade

Icr – Índice de concentração de rugosidade local

IDE SISEMA – Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos

Ir – Índice de rugosidade

Is – Índice de sinuosidade

Kc – Índice de compacidade

KSN – Índice de inclinação normalizado

MDE – Modelo digital de elevação

Rr – Relação relevo

SRTM – Shuttle Radar Topography Mission

UFV – Universidade Federal de Viçosa

UHE – Usina Hidrelétrica de Energia

UNIFAL – Universidade Federal de Alfenas

USGS – United States Geological Survey

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. OBJETIVOS	15
2.1 OBJETIVO GERAL.....	15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3. JUSTIFICATIVA	15
4. REFERENCIAL TEÓRICO	16
4.1 BACIA HIDROGRÁFICA E REDE DE DRENAGEM	16
4.2 MORFOMETRIA E A COMPARTIMENTAÇÃO DO RELEVO DE BACIAS	17
4.3 A RELAÇÃO ENTRE ESTRUTURAS GEOLÓGICAS E MORFOMETRIA	18
4.4 GEOTECNOLOGIAS APLICADAS ÀS ANÁLISES AMBIENTAIS	20
5. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA	21
6. METODOLOGIA.....	25
6.1 MATERIAIS	25
6.2 MÉTODOS.....	26
6.2.1 Perfis longitudinais, knickpoints e potência fluvial.....	26
6.2.2 Parâmetros morfoestruturais e morfotectônicos	28
6.2.3 Parâmetros do relevo	29
6.2.4 Parâmetros da drenagem.....	30
6.2.5 Parâmetros da forma da bacia	31
7. RESULTADOS	32
7.1 PERFIS LONGITUDINAIS, KNICKPOINTS E POTÊNCIA FLUVIAL.....	32
7.2 AVALIAÇÃO MORFOESTRUTURAL E MORFOTECTÔNICA.....	41
7.3 IDENTIFICAÇÃO DOS PADRÕES MORFOLÓGICOS	43
7.4 VARIAÇÃO DOS PADRÕES DE DRENAGEM	47
7.5 CARACTERIZAÇÃO DA FORMA DA BACIA	48
8. DISCUSSÕES	49
8.1 A INFLUÊNCIA MORFOESTRUTURAL NA EVOLUÇÃO DA PAISAGEM.....	49
8.1.1 O alto estrutural do Planalto de Oliveira	49
8.1.2 Patamares de Campo Belo e Formiga e a estabilidade morfoestrutural	51
8.1.3 Reflexos na hidrogeomorfologia local.....	53
9. CONCLUSÃO.....	54
10. REFERÊNCIAS	54

1. INTRODUÇÃO

A análise e estudo de uma bacia hidrográfica requerem um profundo entendimento dos padrões da rede de drenagem e dos processos inerentes à sua dinâmica. A rede de drenagem desempenha um papel fundamental na escultura do relevo, influenciando sua configuração por meio dos processos de erosão e deposição (TIZ; CUNHA, 2000). Por sua vez, as superfícies geomorfológicas influenciam o padrão da rede de drenagem e a dinâmica de variáveis hidrológicas, tais como vazão, percurso, direção de fluxo, volume, densidade de drenagem, erosão e deposição (TRENTIN; ROBAINA; SANTOS, 2009; JUNIOR; ANDREOLI 2015). Da mesma forma, as variadas formações rochosas influenciam o relevo e a rede de drenagem, determinando: (i) a intensidade da erosão hídrica nas vertentes e em canais fluviais, devido à maior ou menor resistência das rochas; e (ii) a tendência ao escoamento superficial e/ou infiltração, devido ao grau de fraturamento e cisalhamento geológico (GUIRRA, 2017; MORINAGA, 2014).

O estudo morfométrico é crucial para compreender a configuração da bacia hidrográfica, sua base geológica e superfícies geomorfológicas associadas (COSTA, 2015). Além disso, revela processos endógenos e exógenos que ocorreram ao longo do tempo, fornecendo *insights* sobre a resistência do substrato, gradiente fluvial, controle estrutural, história geológica e geomorfológica, entre outros aspectos (RAY et al., 2014). Outrossim, a análise dos índices morfométricos proporciona o conhecimento da dinâmica hidrogeomorfológica e, com isso, é possível elaborar estudos sobre o grau e/ou suscetibilidade à incidência de erosão, calcular riscos de degradação ambiental da bacia, além de fornecer resultados para diagnósticos de enchentes e inundações (SIQUEIRA et al., 2012; SEHNEM et al. 2015; MAHALA, 2019).

Autores como Whaikar e Nilawar (2014), Mahala (2019), Ray et al. (2014), López-Ramos et. al. (2022), Charizopoulos et al. (2019) e Siqueira et al. (2012), aderem a perspectiva facilitadora e conveniente do uso de sistemas de informações geográficas (SIGs) e das técnicas de sensoriamento remoto para manipular imagens e a elaborar de dados relacionados à morfometria das bacias hidrográficas. Além disso, esses estudos evidenciam que os dados morfométricos podem apoiar o gerenciamento e o planejamento estratégico de órgãos públicos, contribuindo para a resolução de problemas e a identificação de áreas prioritárias para preservação e conservação ambiental (SILVA, 2011).

Através destas premissas, percebe-se que a realização de uma análise geomorfológica integrada, considerando os demais elementos do sistema ambiental, é imperativa. Conforme

preconizado pela teoria Geossistêmica, a interdisciplinaridade e a abordagem multiescalar desempenham um papel essencial na condução de estudos geográficos (SOTCHAVA, 1962, 1977, 1978). Neste contexto, esta pesquisa tem como objetivo analisar os parâmetros morfológicos e morfométricos da bacia hidrográfica do rio Pouso Alegre (MG). A finalidade é mensurar, identificar e avaliar os mecanismos de controle inerentes ao seu desenvolvimento.

Com o propósito de atingir esse objetivo, investigamos hipóteses relacionadas a fatores-chave na configuração da paisagem, como a influência litológica, tectônica e interferência antrópica. Nossa hipótese postula que a influência litoestrutural e tectônica, devido à diversidade de rochas do Cráton do São Francisco e à presença de falhas resultantes da Orogenia Neoproterozóica Brasileiro-Pan Africana em faixas orogênicas que circundam o Cráton homônimo, exerce um controle substancial sobre os processos que moldam a dinâmica fluvial e o relevo na bacia do rio Pouso Alegre.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar parâmetros do relevo e da drenagem da bacia hidrográfica do rio Pouso Alegre para avaliar influências estruturais, tectônicas, esculturais e antrópicas sobre o desenvolvimento das atuais configurações.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar os fatores condicionantes da gênese e evolução do relevo local;
- Identificar setores anômalos ao longo dos perfis longitudinais;
- Avaliar o controle exercido pelas estruturas geológicas e reativações tectônicas;
- Determinar a preferência do deslocamento lateral do canal principal;
- Mensurar o grau de dissecação e entalhamento da drenagem;
- Identificar setores com maior capacidade de infiltração e escoamento superficial;
- Determinar a tendência de suscetibilidade a enchentes e cheias na bacia hidrográfica;

3. JUSTIFICATIVA

Este trabalho justifica-se pela obtenção de dados ambientais inéditos resultantes das análises propostas. A evolução geomorfológica é o resultado de diversos processos endógenos e exógenos que atuaram ao longo do tempo no meio natural. O estudo em escala regional

contribui para uma compreensão mais precisa das formas e dinâmicas hidrogeomorfológicas atuais.

Além disso, este estudo enfoca a abordagem quantitativa da geomorfologia científica em sua forma pura, relacionada aos processos naturais que esculpem o relevo. Os dados e informações obtidos através da pesquisa científica básica representam a base fundamental para pesquisas ambientais aplicadas, voltadas para o planejamento, conservação, gerenciamento de vulnerabilidades e preservação de recursos naturais. Em resumo, é imprescindível dispor, em um primeiro momento, de dados puros que revelem as capacidades, fragilidades e suscetibilidades do meio físico, para que sejam posteriormente aplicados em estudos de cunho aplicado/prático em prol do equilíbrio ambiental, social e econômico.

Os dados resultantes da pesquisa podem ser reutilizados em estudos e análises ambientais futuros, fornecendo suporte a outros pesquisadores que necessitem de informações sobre a área. Da mesma forma, esses dados podem contribuir para uma análise integrada que embasa e fundamenta as tomadas de decisão por parte de gestores públicos, particularmente no que se refere a tópicos como o planejamento e a gestão ambiental.

Na perspectiva de uma progressão linear de aprendizado, é de extrema importância que o pesquisador geógrafo seja capaz de conduzir estudos desde o início, a fim de consolidá-los posteriormente de maneira prática e aplicada por meio de análises ambientais que contribuam para a gestão sustentável do meio ambiente.

4. REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 BACIA HIDROGRÁFICA E REDE DE DRENAGEM

A bacia hidrográfica caracteriza-se como um sistema aberto, uma área geográfica natural destinada a drenar e armazenar águas provenientes da influência do clima e da tectônica (LIMA; ZAKIA, 2000; CRUZ, 2003; COSTA et al., 2015). O processo no qual os afluentes conduzem a água precipitada até o rio principal é conhecido como fluxo hídrico, resultando em complexas geometrias designadas como rede de drenagem (BERNARDI et al., 2012).

A rede de drenagem segue o ciclo hidrológico, que envolve o deslocamento da água entre o oceano, o continente e a atmosfera, com alterações em sua composição química ao longo do ciclo (TUCCI, 1993). Esse ciclo é composto por dinâmicas como evaporação, evapotranspiração, precipitação, percolação, infiltração e drenagem (escoamento superficial) (TUNDISI, 2003; SPEIDEL; RUEDILSILI; AGNEW, 1988; BERNARDI, et al. 2012). No entanto, além das influências climáticas, o comportamento hídrico da rede de drenagem de uma

bacia hidrográfica é igualmente moldado por variáveis associadas à tectônica e à geologia da região. A combinação desses fatores determina a geomorfologia, pedologia, vegetação e outras variáveis do sistema ambiental (TEODORO et al, 2007; TEIXEIRA; OLIVEIRA; TEIXEIRA, 2011; RIGHI; TRENTIN; TRENTIN, 2021).

Assim, a interpretação dos estudos relacionados ao entendimento da bacia hidrográfica, bem como outros estudos de Geografia Física, deve seguir a concepção geossistêmica (SOTCHAVA, 1962, 1977, 1978). Essa teoria correlaciona elementos da paisagem, como pedologia, climatologia, hidrografia, geologia, biogeografia e geomorfologia, com suas dinâmicas, que afetam os geossistemas, um todo único e complexo (NEVES, 2014). É crucial compreender a bacia hidrográfica e sua rede de drenagem como um sistema integrado, considerando variáveis ambientais naturais e antrópicas em contexto temporal e espacial (TEIXEIRA; OLIVEIRA; TEIXEIRA, 2011).

4.2 MORFOMETRIA E A COMPARTIMENTAÇÃO DO RELEVO DE BACIAS

O conceito de bacia hidrográfica tem evoluído ao longo do tempo e abrange diversas definições, como um sistema aberto que recebe e perde energia (LIMA; ZAKIA, 2000); uma compartimentação geográfica natural delimitada entre interflúvios (FERNANDES, 1999 *apud* TEODORO et al., 2007); um conjunto de terras drenadas por um rio e seus afluentes (RODRIGUES; FILHO, 2001). Assim, torna-se evidente que além de ser um sistema hidrológico, a bacia hidrográfica também representa uma compartimentação do relevo, usada para unidades de gestão, planejamento e pesquisa (BERNARDI et al., 2012). Internamente, congrega formas como os interflúvios, vales fluviais, encostas, terraços fluviais, planícies de inundação, meandros abandonados, barras de pontal, margens e leitos fluviais.

A compartimentação do relevo desempenha um papel crucial na compreensão da morfogênese e morfodinâmica das superfícies geomorfológicas, possibilitando a caracterização de aspectos tectônicos, litológicos e da esculturação associada a paleoclimas, climas atuais e rede de drenagem nas morfoestruturas e morfoesculturas regionais (IBGE, 2009; SANTOS; MORAIS, 2012; RIBEIRO; ALBUQUERQUE, 2019). Além disso, é fundamental para estudos ambientais que visam compreender a influência das formas de relevo na distribuição das classes pedológicas, variação da vegetação e biodiversidade de ecossistemas locais. Também contribui para análises de risco de inundações, deslizamentos de massa e estudos ambientais com foco em planejamento e ordenamento territorial (ROSS, 1992; PENTEADO-ORELHANA, 1985; BADE et al., 2016).

As geotecnologias, que englobam técnicas de sensoriamento remoto, geoprocessamento e sistemas de informações geográficas (SIGs), aprimoraram a compartimentação do relevo, conferindo-lhe maior robustez e precisão. Essa melhoria decorre da integração de novas metodologias e índices capazes de quantificar as formas de relevo e suas influências geomorfológicas (GUADAGNIN; TRENTIN, 2014; FARIAS; SILVA, 2015). Nesse cenário, a aplicação da morfometria para a compartimentação do relevo em bacias hidrográficas se tornou uma abordagem amplamente adotada, uma vez que essas unidades espaciais desempenham um papel crucial na escultura das formas de relevo e são fundamentais para o ordenamento territorial (GUADAGNIN; TRENTIN, 2014).

Os índices morfométricos, obtidos por procedimentos quantitativos, permitem compreender a dinâmica do relevo e da rede de drenagem de uma bacia hidrográfica (SANTOS; MORAIS, 2012). Sua aplicação contribui para a compreensão da morfogênese e morfodinâmica das superfícies na medida em que avalia o papel da rede de drenagem na esculturação de morfoestruturas, e da resistência dessas estruturas à erosão diferencial nos testemunhos deformacionais herdados (SAMPAIO; AUGUSTIN, 2012).

Esses índices proporcionam diagnósticos espaço-temporais dos processos do meio físico com base em recortes de fácil aplicação (TRENTIN; SANTOS; ROBAINA, 2009) e auxiliam na orientação de políticas públicas relacionadas ao planejamento e à preservação ambiental em bacias hidrográficas (PEREIRA et al., 2015).

4.3 A RELAÇÃO ENTRE ESTRUTURAS GEOLÓGICAS E MORFOMETRIA

As deformações tectônicas exercem influência sobre a variação do substrato geológico e desempenham um papel decisivo na configuração da rede de drenagem e do relevo da bacia hidrográfica. A disposição das estruturas geológicas, por sua vez, fornece fundamentos essenciais para compreender a evolução do relevo e da rede de drenagem atual, uma vez que falhas e dobramentos frequentemente influenciam a configuração geométrica da bacia ao reorganizar o trajeto dos cursos d'água (PENTEADO, 1978; PSOMIADIS et al., 2020). Em seguida, a estrutura geológica, o relevo e a rede de drenagem são moldados pela ação exógena atmosférica, que está associada ao clima vigente e determina o tipo e a intensidade dos processos morfogenéticos que esculpem o relevo (LOPES et al, 2016).

Alguns autores enfatizam que a geomorfologia se interessa menos pela origem das rochas do que pelo seu papel na suscetibilidade destrutiva em relação às ações erosivas (PENTEADO, 1978; BASTOS; MAIA; CORDEIRO, 2015). Sob a ótica geomorfológica a

litologia exerce influência determinante perante a intensidade dos processos de escoamento superficial (grau de coesão, permeabilidade e plasticidade da rocha), desagregação mecânica (grau de macicez e tamanho dos grãos da rocha) e decomposição química (grau de solubilidade e heterogeneidade mineralógica da rocha). Todas essas propriedades desempenham um papel crucial na avaliação da suscetibilidade à erosão de um relevo diante das variações climáticas regionais.

Penck (1924) pioneiramente explorou a geologia integrada às formas de relevo. Ele afirmou que as forças endógenas conduzem o lento e contínuo processo de formação do relevo, enquanto as forças exógenas, por meio das ações de denudação, esculpem e moldam essas estruturas (HACKSPACHER, 2011). Posteriormente, Hack (1973) desenvolveu um índice chamado *stream-gradient index*, que comparava a energia dos rios entre segmentos fluviais pré-determinados por cotas altimétricas. Esse índice permitiu compreender a influência geológica e tectônica na rede de drenagem em relação ao desenvolvimento de *knickpoints* (FONSECA; AUGUSTIN, 2014; MELO; MONTEIRO, 2021).

Recentemente, avanços em geotecnologia para análises espaciais têm permitido o aperfeiçoamento, desenvolvimento e uso de parâmetros morfométricos sofisticados em estudos que investigam a influência das estruturas geológicas na configuração da rede de drenagem e do relevo regional (GARBRECHT; MARTZ, 2000; PISSARA et al., 2004; TEODORO et al., 2007; VESTENA; KOBAYAMA, 2010; ELESBON et al., 2011; FERREIRA et al., 2015; SEHNEM et al., 2015; MAHALA, 2019). Podemos mencionar parâmetros e índices, tais como: (i) densidade de lineamentos estruturais (HOBBS, 1903, 1912; O'LEARY; FREIDMAN; POHN, 1976); (ii) densidade hidrográfica e densidade de drenagem (HORTON, 1945); (iii) frequência dos canais de primeira ordem (STRAHLER, 1952); (iv) relação de relevo, índice de sinuosidade e fator forma (SCHUMM, 1956); (v) perfis longitudinais e perfis transversais aos vales fluviais (HACK, 1957); (vi) índice de rugosidade (HOBSON, 1972); (vii) índice de gradiente de comprimento de fluxo (HACK, 1973); (viii) coeficiente de compactidade e índice de circularidade (VILLELA; MATTOS, 1975); (ix) fator de assimetria da bacia de drenagem (HARE; GARDNER, 1985); (x) fator de simetria topográfica transversa (COX, 1994); (xi) índice normalizado de declividade (KIRBY; WHIPPLE, 2012); e (xii) análise *chi* para determinação da direção preferencial da migração do divisor (PERRON; ROYDEN, 2013; ROYDEN; PERRON, 2013; WILLETT, et al., 2014).

A literatura demonstra que a utilização das técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto, em conjunto com dados geológicos e índices morfométricos, possibilita

a realização de análises geomorfológicas mais eficazes e econômicas. Simultaneamente, reforça a importância da variável geológica na compreensão da dinâmica evolutiva do relevo e no funcionamento hidrológico das bacias hidrográficas (SIQUEIRA et al., 2012; RAY et al., 2014; WHAIKAR; NILAWAR, 2014; SAMPAIO, AUGUSTIN, 2014; COSTA, 2015; CHARIZOPOULOS et al., 2019; MAHALA 2019; LÓPEZ-RAMOS et al., 2022). A título de exemplo, destaca-se o trabalho de Fritzsons e Mantovani (2010b), que conduziram um estudo morfométrico em bacias hidrográficas com relevos cársticos associados à presença de dolomitos no estado do Paraná.

Portanto, a análise dos parâmetros morfométricos não apenas determina as características passadas e atuais da bacia, mas também tem a capacidade de apontar tendências futuras (SILVA; PAEZ, 2018). Além disso, compreender esses parâmetros, juntamente com a interpretação da estrutura geológica, é fundamental para questões relacionadas à gestão e ao planejamento dos recursos hídricos em âmbitos ambientais, urbanos e rurais (MACHADO et al., 2011).

4.4 GEOTECNOLOGIAS APLICADAS ÀS ANÁLISES AMBIENTAIS

Os softwares, conhecidos como Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), desempenham um papel crucial na automatização, manipulação, processamento e gerenciamento de dados espaciais (CÂMARA et al., 1996). A partir da década de 1970, com o advento do Sensoriamento Remoto e a incorporação desses sistemas (GRIGIO, 2003), observou-se uma otimização significativa de funções que, anteriormente, demandariam considerável tempo para processamento manual, sendo aplicadas em análises geoespaciais em diversas áreas de estudo (CÂMARA et al., 2001).

As geotecnologias, nessa perspectiva, destacam-se como fontes fundamentais na geração de conhecimento, permitindo o ágil gerenciamento de dados, interligação de variáveis múltiplas, manipulação e análise de dados georreferenciados, entre outras funções. Além disso, há vasto acervo de informações em bancos de dados (BACANI et al., 2015), disponibilizadas gratuitamente para utilização, como imagens de satélite e radar, shapefiles em diferentes escalas, dados multitemporais, entre outros.

Nesse contexto, a utilização das geotecnologias para facilitar as análises ambientais tornou-se consenso entre os pesquisadores contemporâneos, destacando-se sistematizações metodológicas de autores como Ross (1992, 1994), Cox (1994), Hare e Gardner (1985),

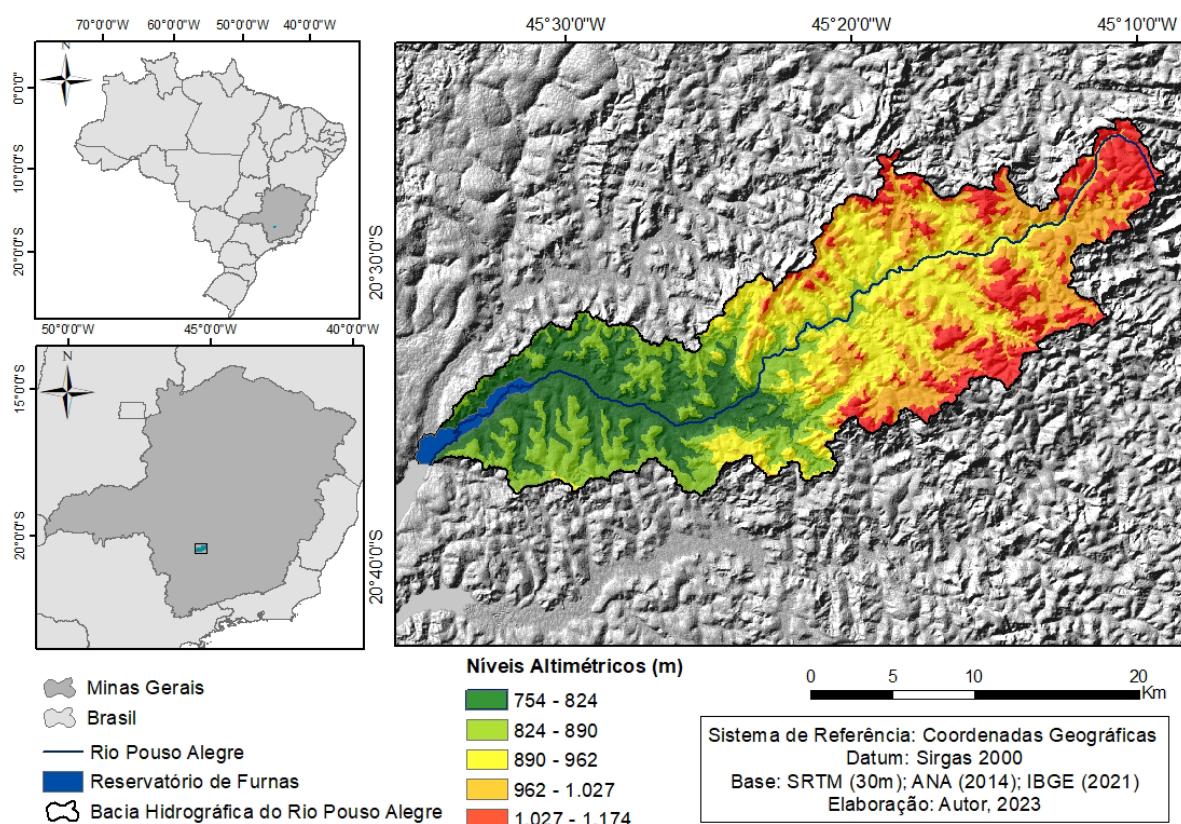
Christofoleti (1969), Villela e Mattos (1975), e outros pesquisadores renomados que empregam a manipulação de dados espaciais em SIGs como base para suas pesquisas.

Com o suporte dos Sistemas de Informações Geográficas, é possível elaborar mapas temáticos essenciais para a gestão e planejamento territoriais e ambientais, além de ser uma ferramenta auxiliar para diagnosticar possíveis fragilidades ou suscetibilidades do sistema ambiental, bem como preveni-las (FENTA et al., 2019; ANGILERI, et al., 2016; SPÖRL; ROSS, 2004).

5. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

A bacia hidrográfica do rio Pouso Alegre (MG) localiza-se na mesorregião sudoeste do estado de Minas Gerais e possui altitudes que variam entre 754 m e 1174 m (Figura 1). Constitui-se como uma sub-bacia do rio Grande (MG), sistema de drenagem de relevante importância socioeconômica regional, responsável pelo abastecimento dos reservatórios da UHE de Furnas, Funil, Itutinga e Camargos.

Figura 1: Localização da área e hipsometria da bacia hidrográfica do rio Pouso Alegre.

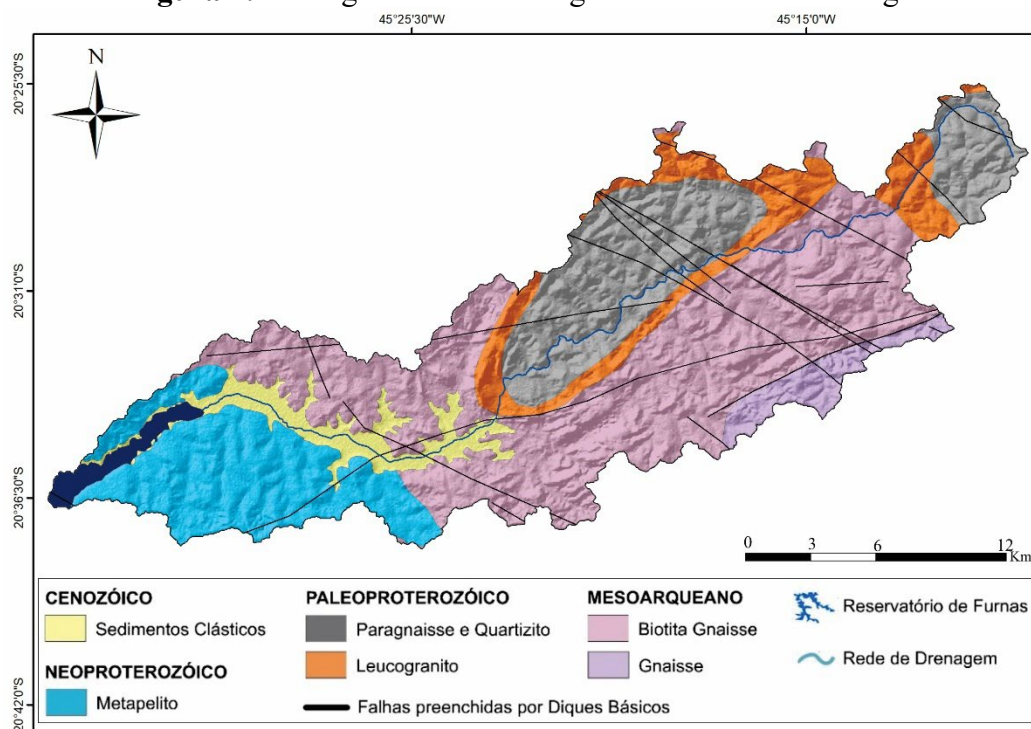


Fonte: Autor (2023).

A geologia regional da região está associada à extremidade meridional do domínio morfoestrutural do Cráton do São Francisco. Este Cráton constitui parte do Escudo Atlântico Sul e engloba terrenos desde o Arqueano, caracterizadas por rochas metamórficas de elevado grau, como gnaisses, granitoides e granulitos, até o Neoproterozoico, relacionado a rochas supracrustais e plutônicas (Figura 2). Durante o Neoproterozoico, a extremidade meridional do Cráton do São Francisco foi impactada pelos efeitos da Orogênese Brasileira, associada à formação do supercontinente Gondwana (RIBEIRO et al., 1995; HASUI, 2010). Esse evento tectônico resultou em dobramentos, falhamentos e metamorfismo devido à colisão de blocos crustais que deram origem ao cinturão móvel conhecido como Faixa Brasília.

Os efeitos desses eventos tectônicos manifestam-se na região de estudo. A bacia é predominantemente constituída por maciças rochas metamórficas, exemplificadas por variações de gnaisses, as quais exibem notável concentração de lineamentos estruturais, à exceção da porção sudoeste da bacia, composta por metapelitos (Figura 2). Os sedimentos dos metapelitos foram depositados em paleoambientes caracterizados por baixa capacidade energética hidrodinâmica, submetendo-se, posteriormente, a processos metamórficos. Observam-se falhas preenchidas por diques básicos, apresentando direções preponderantes NE-SW e NW-SE (Figura 2).

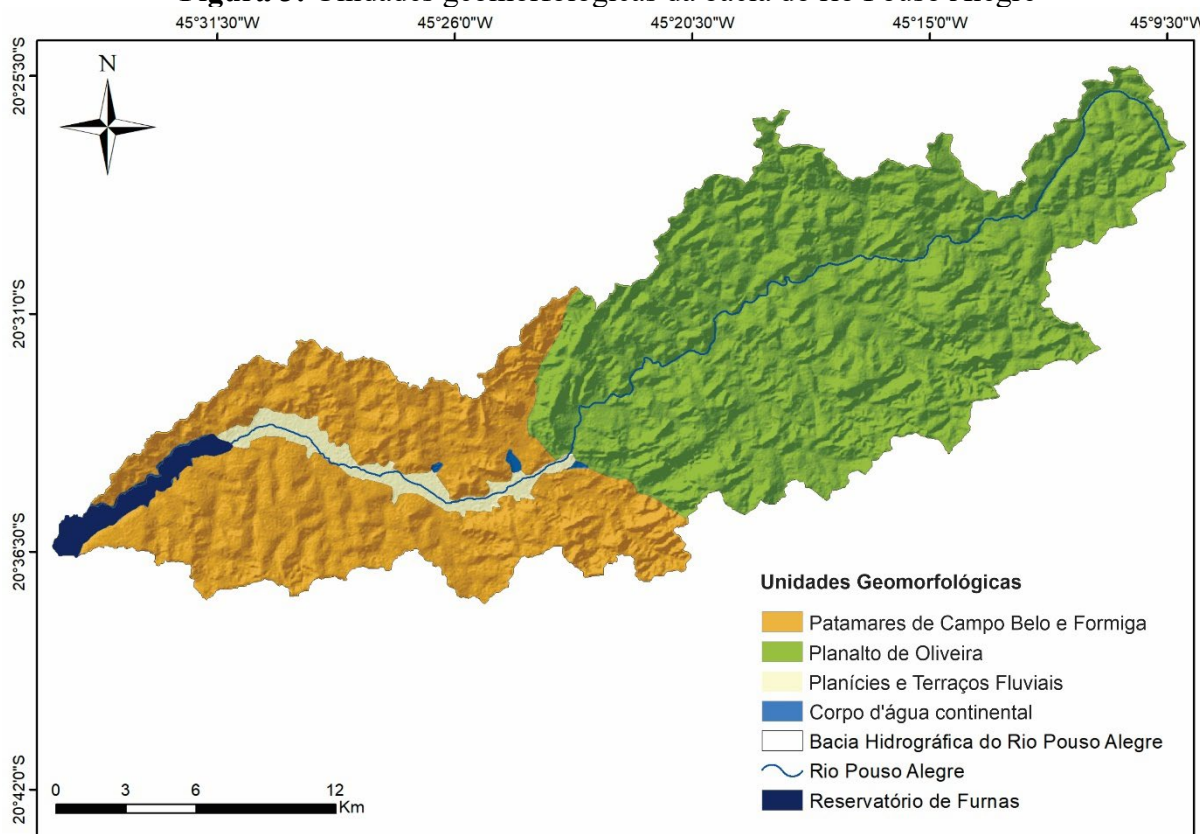
Figura 2: Geologia da bacia hidrográfica do rio Pouso Alegre.



Fonte: CPRM (2020).

O relevo mantém uma estreita interdependência com os escarpamentos resultantes das variações litológicas e das deformações provocadas por falhas tectônicas, integrados à região geomorfológica do Planalto Centro-Sul Mineiro (IBGE, 2021). Destacam-se os setores que evidenciam intrusões de Leucogranito, correlacionados ao Planalto de Oliveira, unidade geomorfológica vinculada às maiores altitudes e declividades mais acentuadas da bacia (Figura 1, 2 e 3). Em contraste, as zonas geomórficas dos metapelitos estão associadas aos Patamares de Campo Belo e Formiga, relacionados a altitudes inferiores e declividades planas e suavemente onduladas da bacia (Figura 1, 2 e 3). Adicionalmente, observam-se as planícies e terraços fluviais vinculados ao rio Pouso Alegre e ao Reservatório de Furnas (Figura 3).

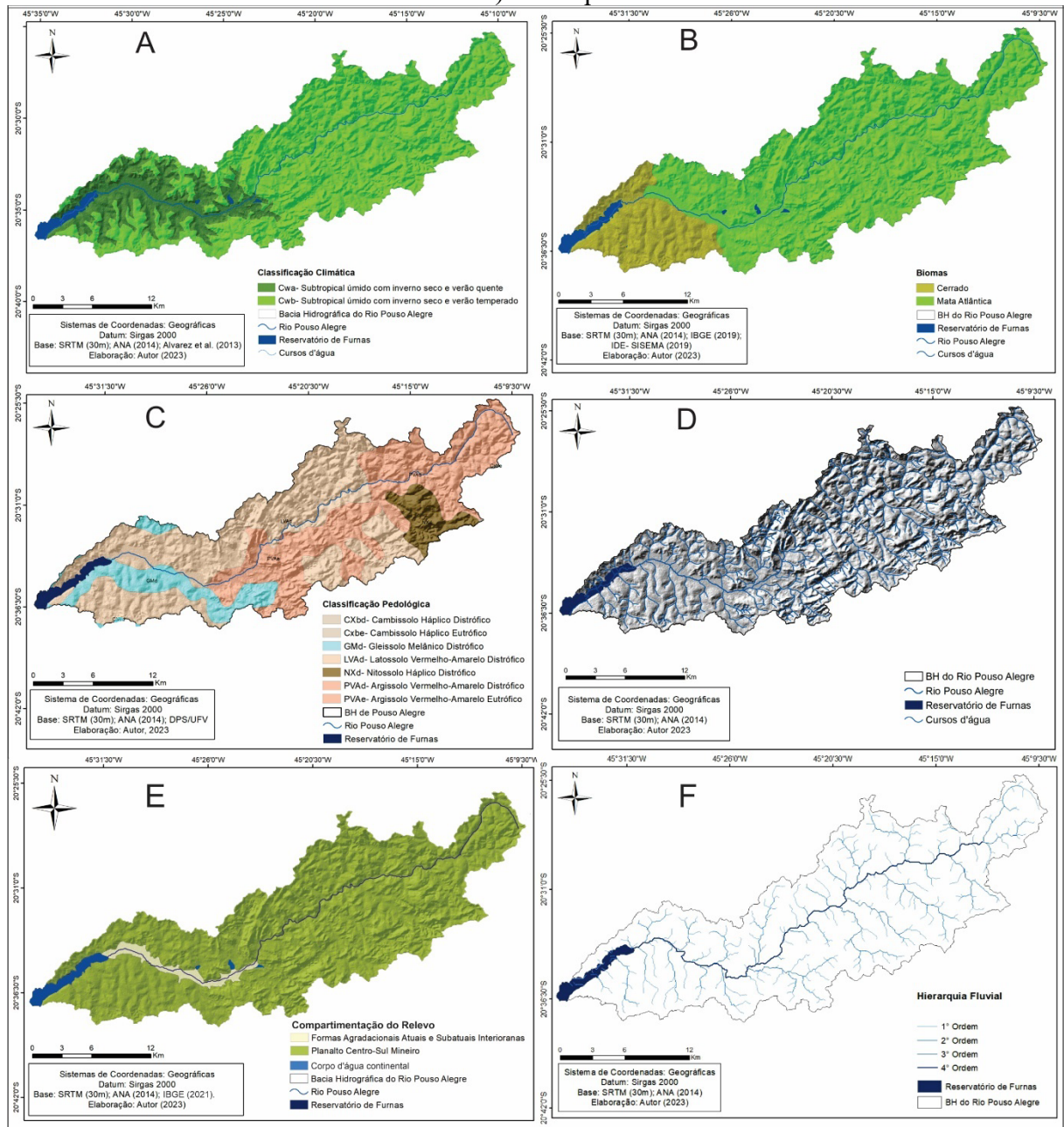
Figura 3: Unidades geomorfológicas da bacia do rio Pouso Alegre



Fonte: IBGE (2023).

O clima segundo a classificação de Köppen (1936) varia de montante a jusante entre: (i) subtropical úmido com inverno seco e verão temperado (Cwb); e (ii) subtropical úmido com inverno seco e verão quente (Cwa) (Figura 4A). Essas tipologias climáticas favoreceram o desenvolvimento da Mata Atlântica em maiores altitudes (Cwb) e do Cerrado em áreas adjacentes ao baixo curso do canal principal (Cwa) (Figura 4B).

Figura 4: Caracterização ambiental da BH do rio Pouso Alegre. A) classificação climática. B) biomas. C) classificação pedológica. D) rede de drenagem. E) compartimentação do relevo. F) hierarquia fluvial.



Fonte: Autor (2023).

Quanto à drenagem, observa-se uma maior quantidade de nascentes e cursos d'água nos setores associados ao Planalto de Oliveira. Em contraste, a região a jusante, relacionada aos Patamares de Campo Belo/Formiga e ao reservatório da UHE de Furnas, exibe uma capacidade reduzida de escoamento fluvial (Figura 3D). A hierarquia fluvial é caracterizada por canais de até quarta ordem, com predominância de rios de primeira ordem (258) e segunda ordem (119).

Observa-se uma diminuição na quantidade de canais fluviais a partir da terceira (63) e quarta ordem (69) (Tabela 1).

Tabela 1: Parâmetros da hierarquia fluvial da bacia do rio Pouso Alegre (MG)

Ordem dos canais	Número total de canais	Comprimento total dos canais (km)
1	258	220,28 km
2	119	108,76 km
3	63	54,81 km
4	68	53,85 km

Fonte: Autor (2023)

A extensão total da drenagem da bacia é de 437,7 km. Dentre esse total, 220,28 km correspondem aos canais de 1ª ordem, 108,76 km aos canais de 2ª ordem, 54,81 km aos canais de 3ª ordem e 53,85 km aos canais de 4ª ordem (Tabela 1).

6. METODOLOGIA

6.1 MATERIAIS

Foram utilizados os seguintes softwares e bases cartográficas:

- Softwares ArcGis v.10.8, Global Mapper 22.0, PCI Geomática 2016, RockWorks16, Corel Draw 2020, Saga Gis 2.3.2 e MatLab 2021a;
- Cartas topográficas dos municípios de Formiga, Baiões, Itapecerica, Camacho e Ponte Vila, na escala de 1:50.000, disponibilizados pelo Geoportal do Exército (BDGEX) (<https://bdgex.eb.mil.br/bdgexapp>);
- Imagens de radar da missão SRTM, com resolução espacial de 30 metros, disponibilizada pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS) na plataforma Earthexplorer (<https://earthexplorer.usgs.gov/>);
- Imagens de radar ALOS PALSAR-FBS com resolução espacial de 30m reamostrada para 12,5m, disponíveis da plataforma online Alaska Satellite Facility (<https://asf.alaska.edu/>);
- *Shapefile* da geologia disponibilizados pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2020) na escala de 1:1.000.000 (<https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/21828>);
- *Shapefile* da rede de drenagem disponibilizados pela Agência Nacional das Águas (ANA, 2014), na escala de 1:100.000, associada à base hidrográfica otocodificada da bacia do rio Grande,

(<https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/b13fa102-148d-4c4a-b7cd-02f23027e5c1>);

- *Shapefile* das classes de solos com escala 1:650.000 (UFV et al., 2010), disponível no site do Departamento de Solos Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Viçosa (<https://dps.ufv.br/software/>);
- *Shapefile* das classificações de bioma do estado de Minas Gerais, compatíveis com a escala 1:250.000, disponibilizado pelo website da Infraestrutura de Dados Espaciais (IDE SISEMA) (<https://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/webgis>);
- *Shapefile* da compartimentação do relevo disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2021; 2023) na escala de 1:250.000 (<https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/geomorfologia/10870-geomorfologia.html?=&t=downloads>);
- *Scripts* do pacote de ferramentas *topotoolbox* hospedadas no software MatLab 2021a para extração dos perfis longitudinais, identificação dos *knickpoints*, mensuração das magnitudes das anomalias, obtenção dos valores de k_{sn} e determinação do gradiente de encostas (<https://topotoolbox.wordpress.com/blog-archive/>).

6.2 MÉTODOS

Por meio das bases cartográficas e *softwares* mencionados foram elaborados mapas temáticos de geologia, pedologia, bioma, clima, drenagem e compartimentação do relevo. Posteriormente, a partir de modelo digital de elevação (MDE) e *scripts*, foram desenvolvidos os índices morfométricos que subsidiaram a análise da pesquisa.

6.2.1 Perfis longitudinais, knickpoints e potência fluvial

O perfil longitudinal do canal principal foi construído com base nas curvas de nível das cartas topográficas com equidistância de 20 m. Os valores da distância entre os trechos segmentados foram calculados no software ArcGis v.10.8. Em seguida os dados foram exportados para uma planilha Excel, onde foi criado um gráfico de dispersão com linhas suaves (distância x elevação) sobreposto a uma curva logarítmica de melhor ajuste. Na sequência, uma linha secundária foi sobreposta ao perfil longitudinal, representativa da variação dos valores do *Stream Length-Gradient Index* (HACK, 1973). Esse procedimento teve o propósito de quantificar a magnitude dos *knickpoints* conforme Seeber e Gornitz (1983) (Tabela 2). Por fim,

foi elaborada uma barra litológica localizada abaixo do gráfico, a qual acompanha o curso do rio desde a nascente até a foz, destacando as transições rochosas associadas aos *knickpoints* mapeados.

O índice de inclinação do canal normalizado (k_{sn}) é uma métrica adicional na avaliação da potência fluvial (*stream power*), calculada por meio de uma função potencial que correlaciona a declividade normalizada pela área de contribuição dos canais a montante. Em comparação com o método de Hack (1973), que se baseia na relação entre elevação e distância ao longo do perfil do rio, o k_{sn} oferece maior precisão (KIRBY; WHIPPLE, 2012; PEIFER; CREMON; ALVES, 2020) (Tabela 2). A aplicação do k_{sn} em Modelos Digitais de Elevação (MDE) proporciona agilidade e eficácia, permitindo uma análise rápida e comparativa para toda a drenagem da bacia hidrográfica (KIRBY; WHIPPLE, 2012; SOUZA; MARTINS; GOMES, 2017; COSTA, 2020; PEIFER; CREMON; ALVES, 2020; LOPES, 2022; VIEIRA, 2023). Assim, aplicamos o k_{sn} em toda rede de drenagem utilizando o pacote de ferramentas *topotoolbox* hospedadas no software MATLAB v.2021a. Primeiro calculamos o índice de concavidade comum usando a função *slopearea* ($teta = 0,45$). Em seguida, agregamos, plotamos e suavizamos os valores de k_{sn} em segmentos de fluxo por meio das funções *k_{sn}*, *STREAMObj2mapstruct* e *STREAMObj/smooth*.

Tabela 2: Parâmetro para mensuração das anomalias de drenagem

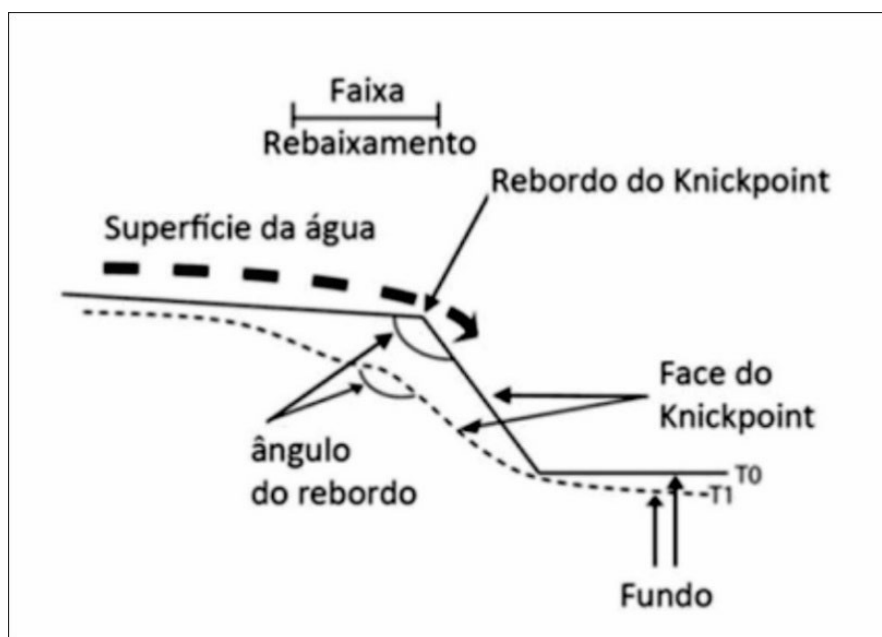
Índice	Equação	Variáveis	Valores Indicativos	Referências
(SL)	$SL_k = \frac{\Delta H \times L}{\Delta L}$	H = Amplitude entre as curvas L = distância acumulada até os pontos médios dos trechos ΔL = distância dos trechos	i) < 6 anomalias de baixa magnitude (1º ordem)	Hack (1973)
	$SL_t = \frac{\Delta Hr}{\log L}$	ΔHr = Amplitude total do rio $\log L$ = logaritmo natural da distância total acumulada	(ii) > 6 anomalias de alta magnitude (2º ordem)	Seeber e Gornitz (1983)
(k_{sn})	$k_{sn} = SA^{-\theta_{ref}}$	S = é o valor gradiente A = área da bacia de drenagem a montante θ_{ref} = índice de concavidade de referência	Valores elevados indicam a presença de rupturas ao longo do perfil longitudinal e elevado <i>Stream Power</i>	Kirby e Whipple (2012) Whipple et al. (2016)

Fonte: Autor (2023).

Para extrair os *knickpoints* (Figura 5), medir as magnitudes de 5 m, 10 m, 15 m e maiores que 20 m, calcular o k_{sn} médio e estabelecer o intervalo de confiança, utilizamos as funções *knickpoint finder* e *point pattern on stream networks* (PPS) do TopoToolbox no MATLAB

2021a (SCHWANGHART; KUHN, 2010; SCHWANGHART; SCHERLER, 2017; SCHWANGHART; MOLKENTHIN; SCHERLER, 2021). Posteriormente, extraímos os perfis longitudinais da rede de drenagem, eliminamos os ruídos inerentes ao MDE suavizando-os pela função *constrained regularized smoothing* (CRS) e, posteriormente, os sobrepusemos às anomalias mapeadas (SCHWANGHART; SCHERLER, 2014). Em seguida, exportamos os dados no formato “*shapefile*” e os manipulamos no ArcGIS 10.8.1, onde elaboramos o mapa de densidade de *knickpoints* utilizando a função *Kernel Density*.

Figura 5: Morfologia do knickpoint



Fonte: Souza, Martins e Gomes (2017). Adaptado de Gardner (1983).

6.2.2 Parâmetros morfoestruturais e morfotectônicos

Parâmetros morfoestruturais e morfotectônicos também foram avaliados. Para a elaboração da densidade de lineamentos estruturais e diagrama de rosetas, foi necessário extrair os lineamentos através do *hillshade* do mosaico MDE em diferentes azimutes de iluminação (315°, 360°, 45° e 90°). A densidade foi calculada no software ArcGIS 10.8 por meio do processamento do *shapefile* dos lineamentos extraídos no software PCI Geomática 2016. Na sequência o diagrama de rosetas foi gerado a partir do software RockWorks16. Índices como o fator de simetria topográfica transversa (FSTT) e o fator de assimetria da bacia de drenagem (FABD) foram utilizados para avaliar o grau da inclinação tectônica da bacia hidrográfica e migração lateral do canal fluvial principal em relação ao seu eixo médio (Tabela 3).

Tabela 3: Parâmetros morfoestruturais e morfotectônicos

Índice	Equação	Variáveis	Valores Indicativos	Referências
FABD	$AF = 100 \cdot \frac{Ar}{At}$	Ar = Área direita da bacia em km ² At = Área total da bacia em km ²	(i) próximos a 50 revelam pouco ou nenhum basculamento (ii) > 50 indica possível inclinação tectônica para esquerda (iii) < 50 indica possível inclinação tectônica para direita	Hare e Gardner (1985)
FSTT	$T = \frac{Da}{Dd}$	Da = distância da linha média do eixo da bacia até o canal principal em km Dd = distância entre a linha média da bacia até o divisor da bacia de drenagem mais próximo do curso atual do rio em km	(i) próximo a 0,0 refletem trechos simétricos com pouco deslocamento lateral do rio em relação ao eixo médio. (ii) próximo a 1,0 indicam maior grau de assimetria dos trechos em relação ao eixo médio, impulsionados pela ação tectônica (basculamento).	Cox (1994)

Fonte: Autor (2023).

6.2.3 Parâmetros do relevo

Também foram avaliadas variáveis morfológicas como declividade, dissecação e rugosidade média do relevo da bacia. Para esse propósito foram aplicados os índices de Relação Relevo (Rr) e Rugosidade (Ir) (Tabela 4). Posteriormente, empregou-se o índice de concentração de rugosidade local (Icr) para quantificar, classificar e espacializar os padrões de rugosidade com base nas variações de inclinação (SAMPAIO; AUGUSTIN, 2014). Em seguida, para a elaboração do índice de dissecação do relevo foi utilizado o MDE para o mapeamento do grau de entalhamento dos vales, bem como a dimensão interfluvial média da bacia hidrográfica (ROSS, 1992; 1994; GUIMARÃES et al., 2017). Além disso, a partir do MDE também foi realizado o mapeamento da direção das vertentes através da ferramenta *aspect* inserida no software ArcGis 10.8.

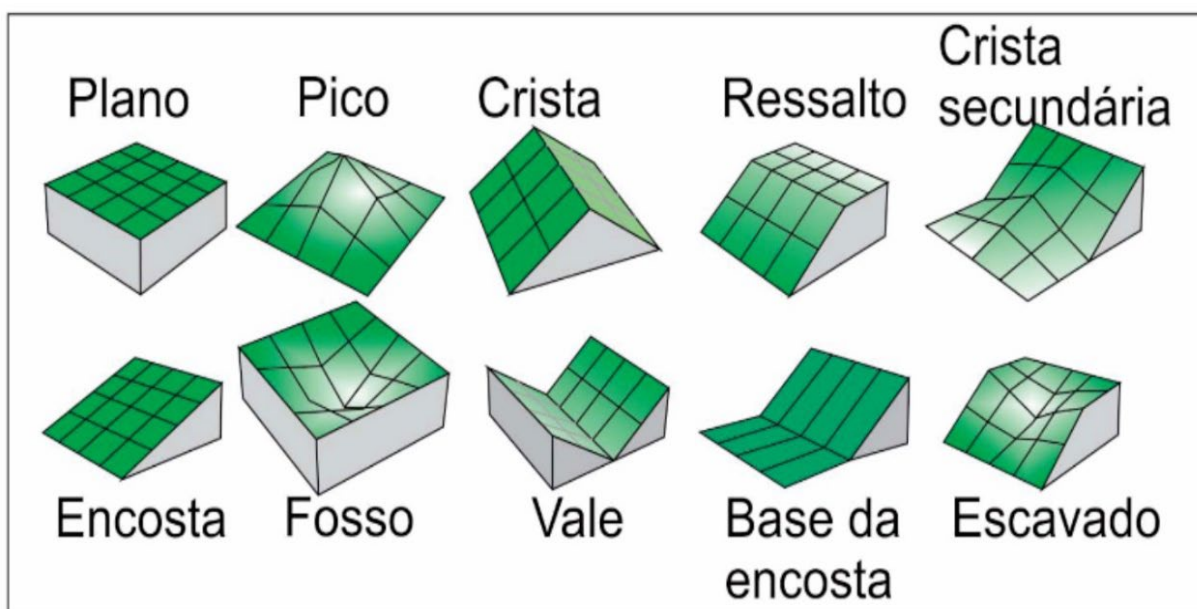
Tabela 4: Parâmetros morfológicos do relevo

Índice	Equação	Variáveis	Valores Indicativos	Referências
(Rr)	$Rr = \frac{Hm}{Lc}$	Hm = amplitude altimétrica da bacia em m; Lc = comprimento do canal principal em km	(i) < 10.00 m/km (razão baixa) (ii) 10.00–30.00m/km (razão média) (iii) 30.00 – 60.00 m/km (razão alta) (iv) > 60.00 (razão muito alta)	Schumm (1956) Christofoleti (1969)
(Ir)	$Ir = Hm \cdot Dd$	Hm = amplitude altimétrica da bacia em m; Dd = Densidade de Drenagem em km/km	(i) < 150.00 (baixa) (ii) 150.00 – 550.00 (média) (iii) 550.00 – 950.00 (alto) (iv) > 950.00 (muito alto)	Melton (1957) Hobson (1972)

Fonte: Autor (2023).

Empregamos Geomorphons para automatizar a categorização de diferentes padrões de relevo por meio de técnicas matemáticas e algoritmos computacionais. Essa abordagem classificou as células do MDE em formas básicas de relevo, proporcionando a representação da distribuição espacial das morfologias (Figura 6). Seguindo a metodologia proposta por Jasiewicz e Stepinski (2013), consideramos as variações nos níveis de cinza entre a célula central e suas vizinhas, atribuindo valores de “1” se maior, “-1” se menor, e “0” se igual. No software SAGA GIS, calculamos as direções, os valores de elevação e representamos os geomorphons através das funções *Terrain Analyst*, *Terrain Classification* e *Geomorphons* (ROBAINA; TRENTIN; LAURETE, 2016).

Figura 6: Principais Geomorphons



Fonte: Robaina, Trentin e Laurete (2016).

6.2.4 Parâmetros da drenagem

Parâmetros morfométricos da rede de drenagem também foram empregados para avaliar a capacidade da bacia de originar novos cursos d'água e o grau de sinuosidade do canal, bem como identificar as áreas de maior transferência de sedimentos e eficiência de escoamento pluvial durante picos de cheias. Para esse propósito foram aplicados os índices de densidade hidrográfica (Dh), densidade de drenagem (Dd) e sinuosidade (Is) (Tabela 5). Os cálculos foram realizados pelo *software* ArcGis 10.8.

Tabela 5: Parâmetros morfométricos da rede de drenagem.

Índice	Equação	Variáveis	Valores Indicativos	Referências
(Dh)	$Dh = \frac{n}{A}$	N = número total de canais; A = área da bacia em km ² .	(i) < 3 (baixa) (ii) entre 3 - 7 (média) (iii) entre 7 e 15 (alta) (iv) > 15 (muito alta)	Horton (1945) Lollo (1995)
(Dd)	$Dd = \frac{Lt}{A}$	Lt = comprimento total dos canais em km ² ; A = área da bacia em km ²	(i) < 0,5 (muito baixa) (ii) 0,5 - 1,5 (baixa) (iii) 1,5 e 2,5 (média) (iv) 2,5 e 3,5 (alta) (v) > 3,5 (muito alta)	Horton (1945)
(Is)	$Is = \frac{100 (L - Lt)}{L}$	L = comprimento do canal principal em km; Lt = comprimento vetorial do canal principal em km	(i) < 20 % (muito reto) (ii) 20 - 29,9 % (reto) (iii) 30,0-39,9% (divagante) (iv) 40 - 49,9 % (sinuoso) (v) > 50% (muito sinuoso)	Schumm (1956)

Fonte: Autor (2023).

6.2.5 Parâmetros da forma da bacia

A partir do MDE realizamos o cálculo da integral hipsométrica (IH) utilizando a ferramenta *Hypsometric Integral Toolbox* no software ArcGIS 10.8. Posteriormente, efetuamos o cálculo por meio da planilha eletrônica do Excel (Tabela 2).

Tabela 6: Parâmetros morfológicos e morfométricos da bacia

Índices	Fórmulas	Variáveis	Valores Indicativos	Referências
(IH)	$\frac{V}{H \cdot A} = \int_0^1 x dx$	V = Volume do terreno H = Altitude acumulada A = Área acumulada	0 > 3 = bacia muito erodida, em estágio peneplana. 0,35 > 0,6 = bacia em estágio maduro, em equilíbrio. 0,6 > 1 = bacia em estágio de juventude, em desequilíbrio.	Strahler (1952) Muñoz (2013)
(Kc)	$K = 0.28 \times \frac{P}{\sqrt{A}}$	P = perímetro da bacia em km A = Área da bacia em km ²	(i) 1,0-1,25 (alta propensão) (ii) 1,25 – 1,50 (tendência média) (iii) > 1,50 (não sujeita a inundações)	Villela e Mattos (1975)
(Ic)	$IC = 12.57 \times \frac{A}{P^2}$	P = perímetro da bacia em km A = Área da bacia em km ²	(i) > 0,51 (favorece inundação) (ii) < 0,51 (favorece escoamento)	Schumm, (1956)
(Ff)	$Ff = \frac{L}{B}$	L = largura média da bacia em km B = comprimento axial da bacia em km	(i) ≥ 0,75 (sujeita a enchentes) (ii) 0,75 - 0,50 (tendência média) (iii) ≤ 0,50 (não sujeita a enchentes)	Villela e Mattos (1975)

Fonte: Autor (2023).

A curva resultante da integral hipsométrica quantifica o grau de maturidade da morfologia da bacia em relação à variável erosão (MUÑOZ, 2013). Conforme Strahler (1952) e seguindo a teoria da evolução do relevo de Davis (1899), a equação varia de 0 a 1. Valores

elevados, acima de 0,6, indicam um estágio de juventude geodinâmica, caracterizado por uma bacia em desequilíbrio, apresentando curvas do tipo convexo. Por outro lado, valores médios, entre 0,35 e 0,6, correspondem a um estágio maduro da bacia, ou seja, em equilíbrio, com curvas do tipo côncavo-convexo em formato de 'S' (GROHMANN; RICCOMINI, 2012). Por fim, valores baixos, inferiores a 0,3, indicam relevos fortemente erodidos, em estados peneplanos, e apresentam curvas do tipo côncavo (VARGAS; SORDI, 2016; BERTOLINI; DEODORO; ZAMBOT, 2021).

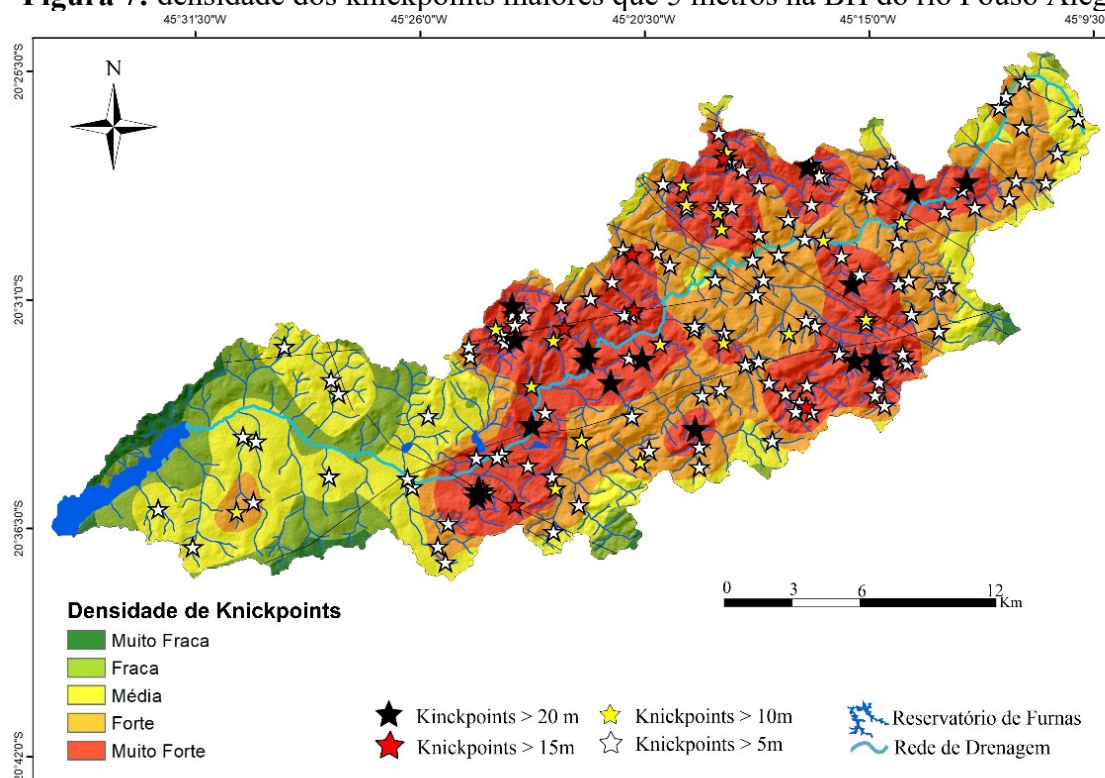
Por fim, também foram calculados parâmetros morfológicos e morfométricos da bacia para avaliar tendências de escoamento ou enchentes. Para tanto, foram aplicados os índices coeficiente de compacidade (K_c), circularidade (I_c) e fator forma (F_f) (Tabela 6).

7. RESULTADOS

7.1 PERFIS LONGITUDINAIS, KNICKPOINTS E POTÊNCIA FLUVIAL

No total foram identificados 235 knickpoints na bacia, sendo: 158 maiores que 5 m; 42 maiores que 10 m; 24 maiores que 15 m; e 11 entre 20 e 56 m. Destes, 14 estão atrelados ao canal principal: 14 > 5m; 5 > 10 m; e 3 > 20m (Figura 7).

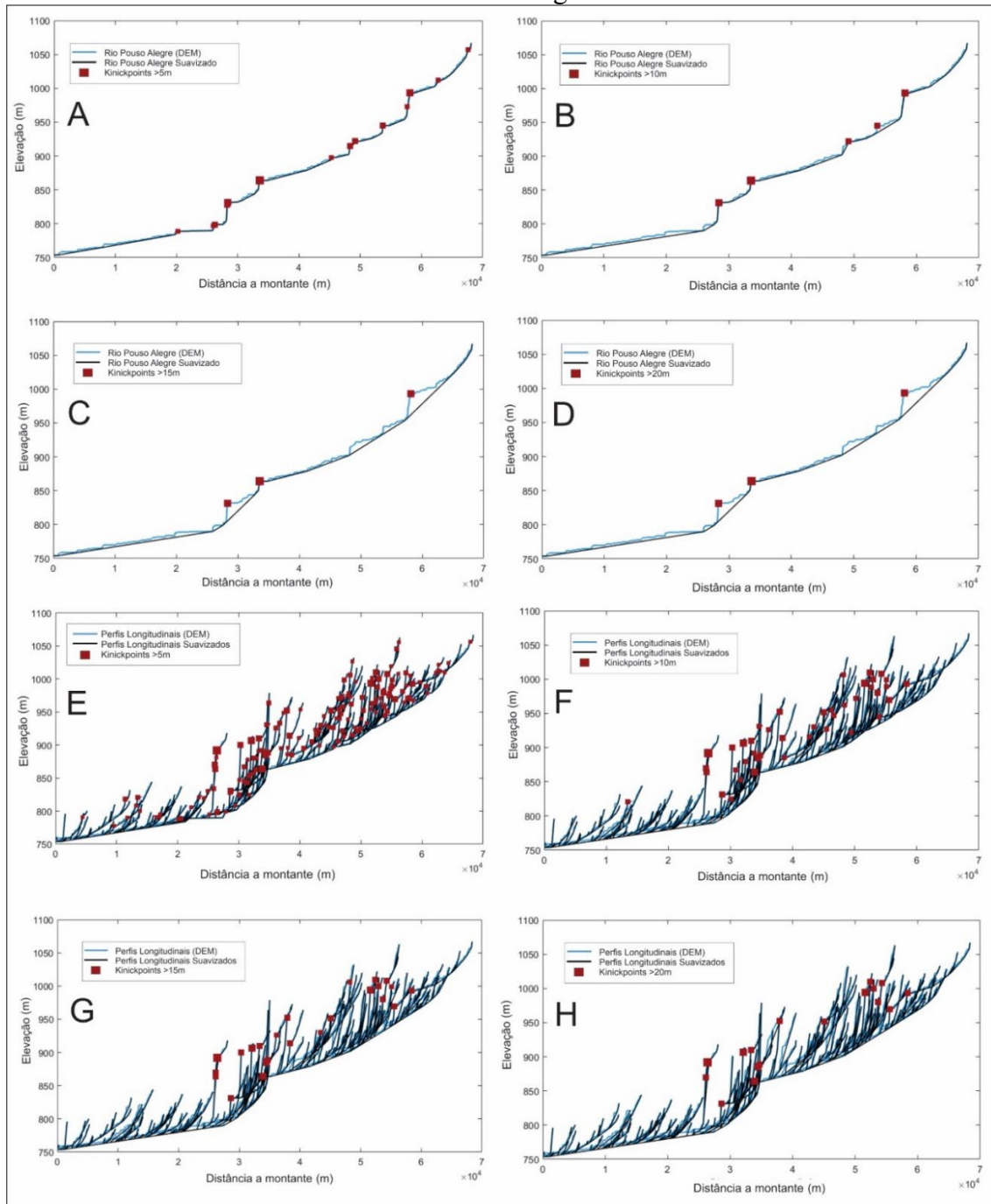
Figura 7: densidade dos knickpoints maiores que 5 metros na BH do rio Pouso Alegre.



Fonte: Autor (2023).

As maiores concentrações de anomalias do canal principal estão localizadas no alto e, principalmente, no médio curso fluvial, especialmente quando se trata de anomalias superiores a 10 metros (Figuras 8A, 8B, 8C e 8D). Esse padrão se estende aos perfis e anomalias em toda a rede de drenagem, indicando uma notável influência morfoestrutural na configuração atual da paisagem (Figuras 8E, 8F, 8G e 8H).

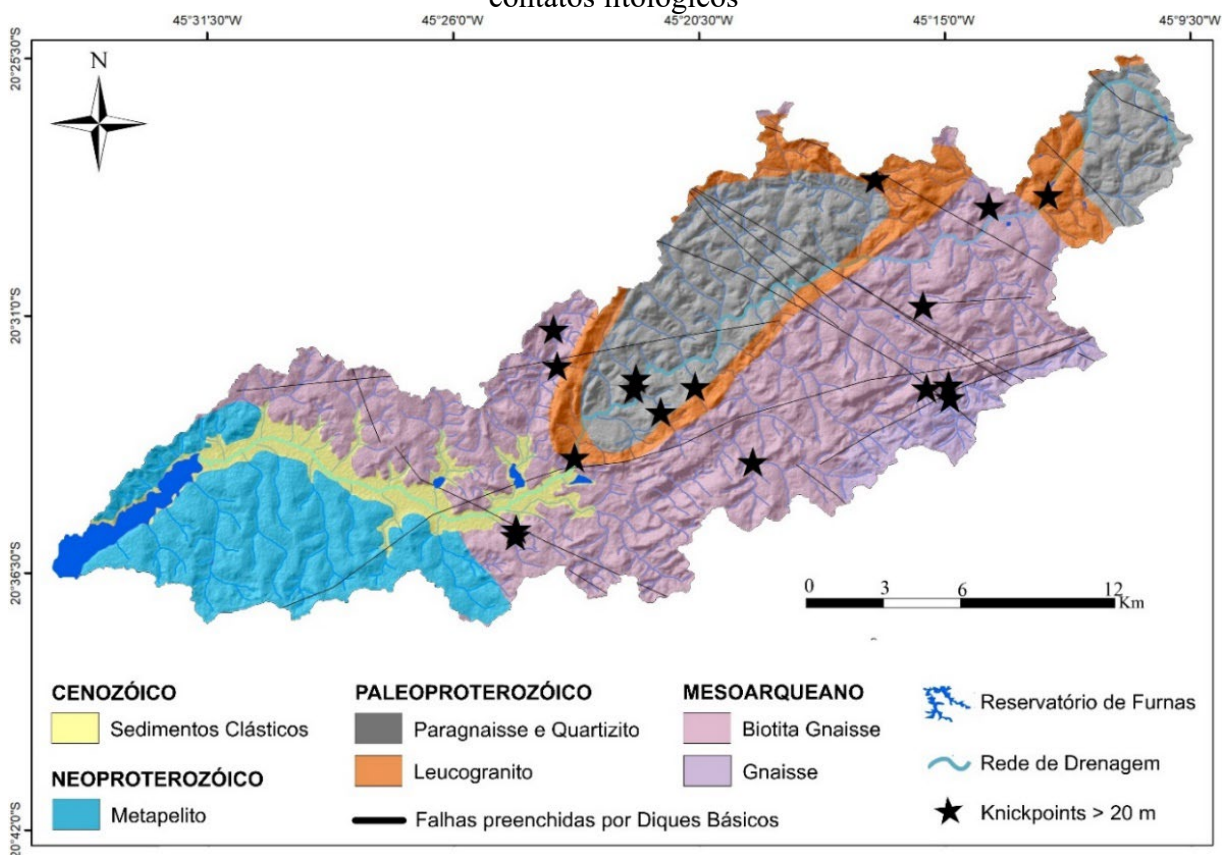
Figura 8: knickpoints maiores que 5 m, 10 m, 15 m e 20 m do rio Pouso Alegre e de toda rede de drenagem



Fonte: Autor (2023).

Dois distintos patamares são observados, claramente separados pelas intrusões de Leucogranitos, que sustentam os maiores *knickpoints* da bacia (Figura 9). Um destes patamares está associado ao Planalto de Oliveira, composto por rochas ígneas e metamórficas mesoarqueanas a paleoproterozóicas, relacionadas às maiores altitudes e declividades da bacia. O outro está relacionado à zona geomórfica dos metapelitos, associada aos Patamares de Campo Belo e Formiga, e está ligado às menores altitudes e declividades da bacia (Figuras 1, 2, 3 e 9).

Figura 9: *knickpoints* maiores que 20 m e associação com as zonas de cisalhamento e contatos litológicos



Fonte: Autor (2023).

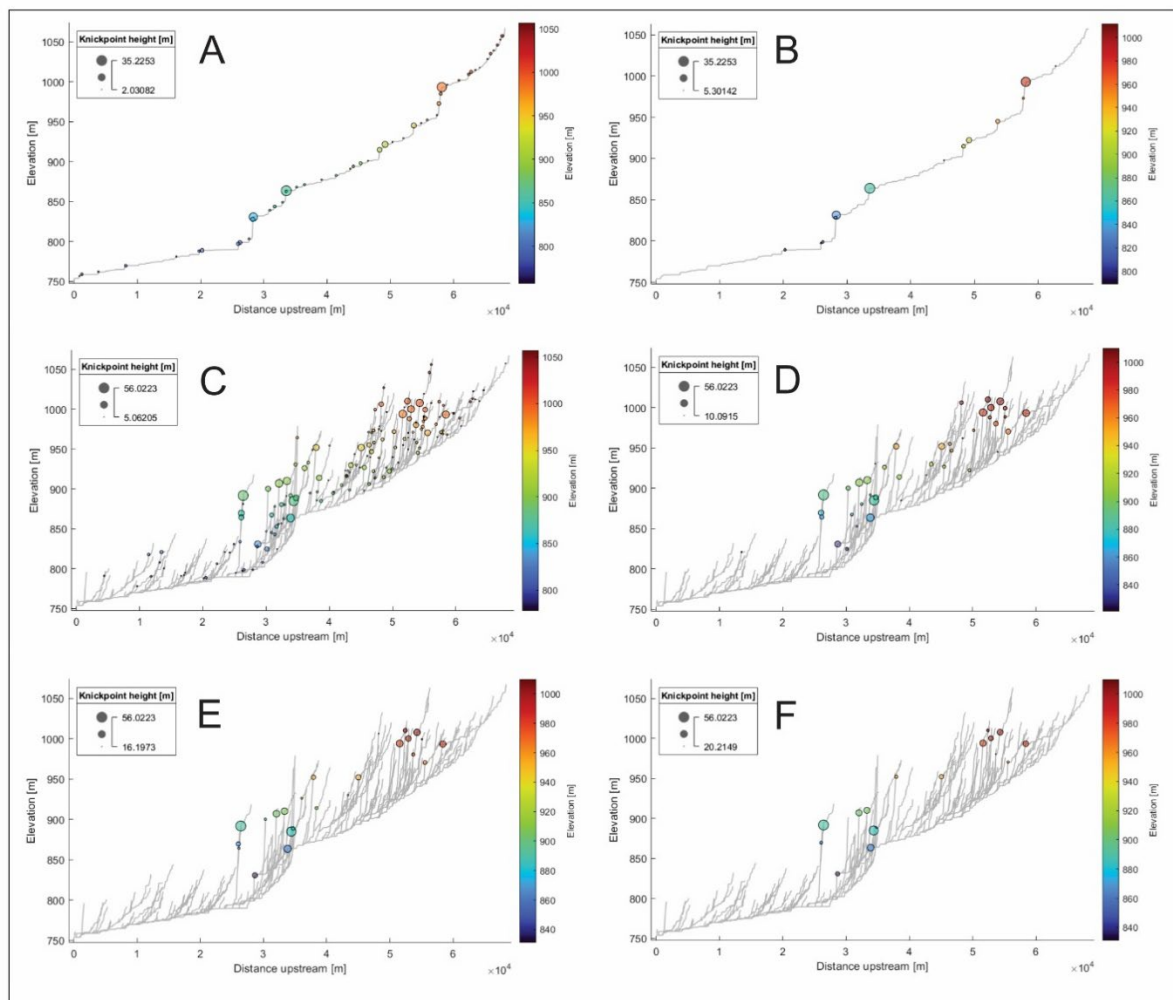
Observamos menos anomalias na zona geomórfica associada ao baixo curso, indicando maior estabilidade geológica nos metapelitos (Figuras 8 e 9). Os afluentes que fluem nessa unidade geomorfológica e convergem com o baixo curso do rio Pouso Alegre exibem morfologias predominantemente côncavas, ilustram o efeito de reajustes adaptativos pretéritos e apontam para o equilíbrio geomórfico nessa região.

Por outro lado, a presença significativa de *knickpoints* no alto e médio curso do rio principal e afluentes que percorrem os terrenos paleoproterozóicos e mesoarqueanos indica

desequilíbrio geomórfico no Planalto de Oliveira (Figuras 8 e 9). Isso sugere mudanças contínuas na paisagem, induzidas por reajustes erosivos atuais promovidos por atividade tectônica mais recente, que pode ter resultado em mudanças na inclinação do leito do rio e na erosão diferencial. Isso levou à formação de mais knickpoints por meio de mudanças abruptas nos canais fluviais.

Ao analisar as magnitudes dos *knickpoints* identificamos variações entre 2 e 35 metros no rio principal e amplitudes de até 56 metros na rede de drenagem da bacia (Figuras 10A a 10F). A distribuição espacial das anomalias nos perfis compostos também destaca a influência do alto estrutural relacionado à transição entre rochas metamórficas e ígneas do Planalto de Oliveira com as metapelíticas dos Patamares de Campo Belo e Formiga (Figura 10).

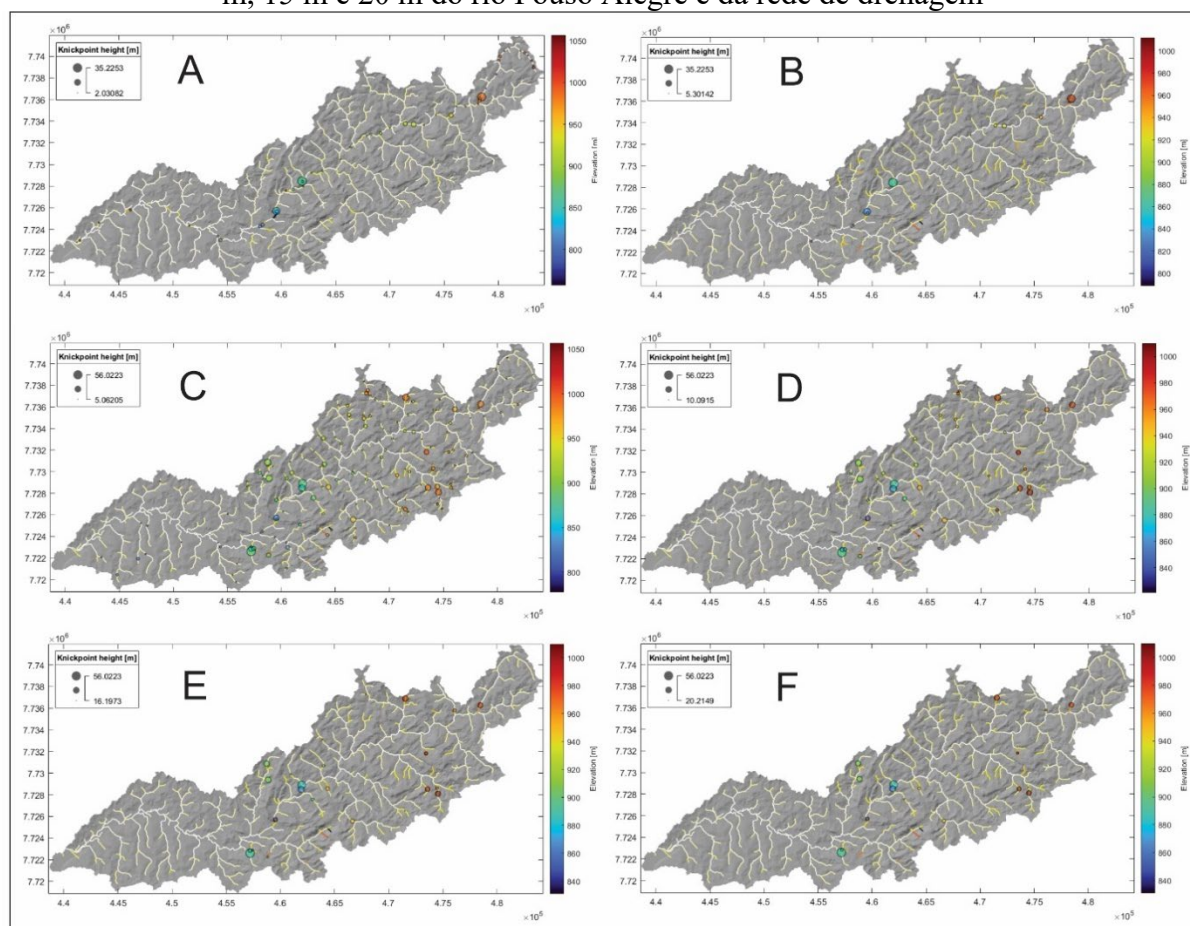
Figura 10: (A e B) Magnitude dos padrões de pontos em redes dos *knickpoints* maiores que 2 m e 5 m do rio Pouso Alegre. (C, D, E e F) magnitude dos padrões de pontos em redes dos *knickpoints* maiores que de 5 m e 10 m, 15 m e 20 m da rede de drenagem



Fonte: Autor (2023).

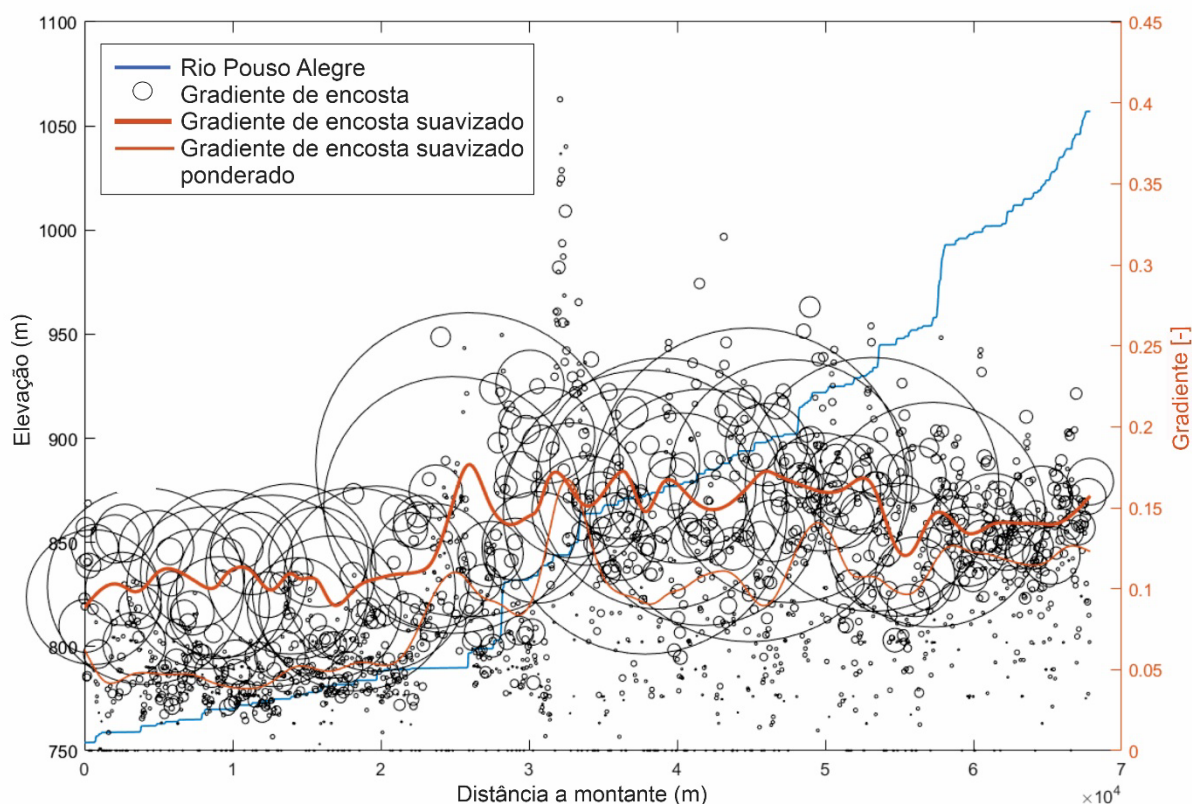
Ao analisar a distribuição espacial das magnitudes das anomalias na bacia hidrográfica, evidenciamos as relações anteriormente descritas referentes às intrusões de Leucogranitos. Essas intrusões sustentam os *knickpoints* de maior magnitude, demarcando a transição entre o Planalto de Oliveira e os Patamares de Campo Belo e Formiga (Figura 11).

Figura 11: Magnitude dos padrões de pontos em redes dos *knickpoints* maiores que 5 m, 10 m, 15 m e 20 m do rio Pouso Alegre e da rede de drenagem



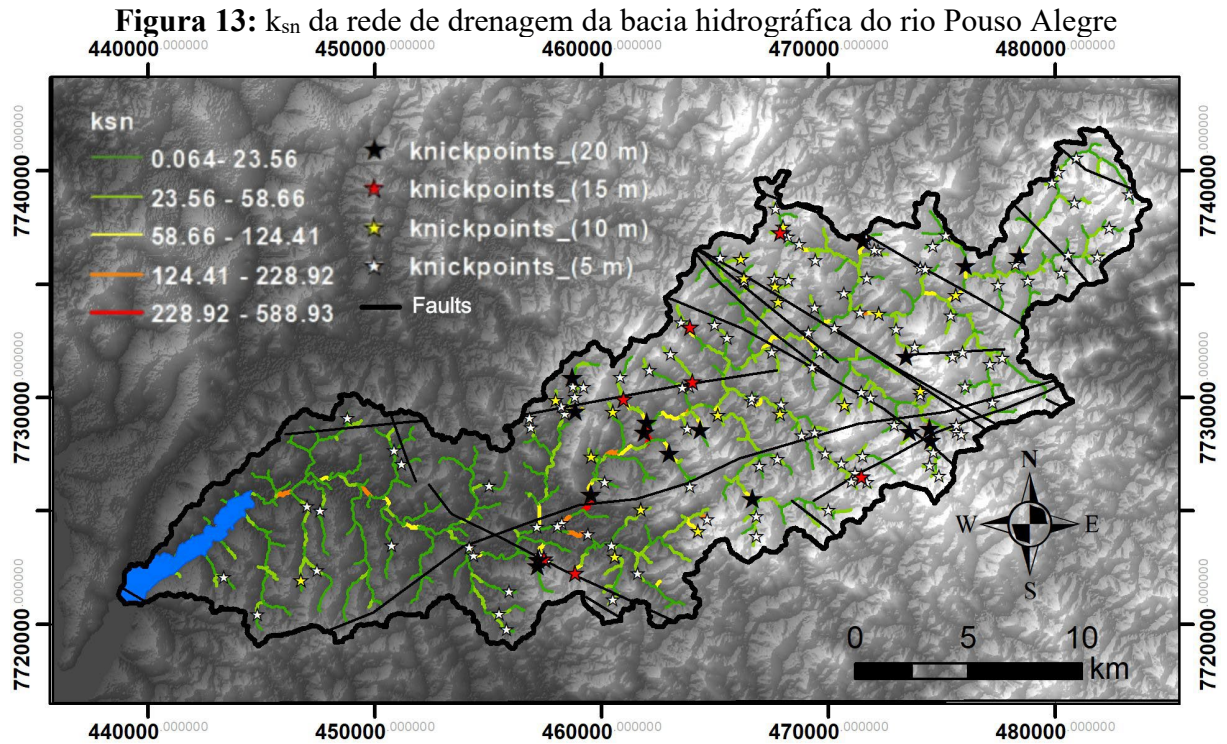
Fonte: Autor (2023).

As variações do gradiente seguem a mesma dinâmica. Observa-se o aumento do gradiente das encostas adjacentes ao rio Pouso Alegre após a primeira grande ruptura, sobretudo na transição entre os dois compartimentos geomorfológicos em destaque (Figura 11). A concentração mais expressiva de encostas elevadas ao longo do médio e alto curso indica uma inclinação mais pronunciada em comparação com as áreas a montante e a jusante (Figura 11). Os resultados indicam que a área central foi particularmente impactada por eventos tectônicos, resultando no desenvolvimento de elevações mais acentuadas e nas zonas com os *knickpoints* mais pronunciados (Figura 11).

Figura 12: Gradiente de encostas da bacia hidrográfica do rio Pouso Alegre

Fonte: Autor (2023).

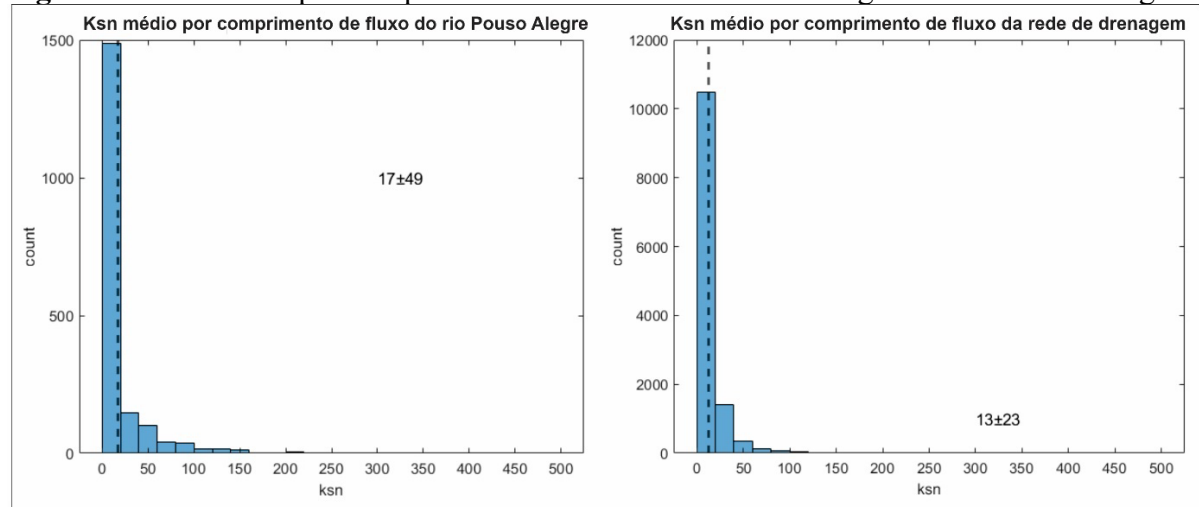
A configuração do gradiente das encostas exerce influência na potência do fluxo de água na região. Observa-se que os maiores valores de k_{sn} na bacia (588.93 e 228.92 [$m^{0.9}$]) estão associados às intrusões de leucogranitos e à presença dos *knickpoints* de maiores magnitudes. Os valores muito elevados, representados pela cor vermelha (588.93-228.92 [$m^{0.9}$]), e elevados, representados pela cor laranja (228.92-124.41 [$m^{0.9}$]), localizam-se imediatamente a jusante das rupturas. Enquanto os valores médios (124.41-228.92 [$m^{0.9}$]), representados pela cor amarela, situam-se em segmentos imediatos que antecedem as quedas (Figura 13). Trechos que apresentam essa transição, marcada pela sucessão destes valores, evidenciam as *knickzones* existentes na bacia. Por outro lado, os valores baixos (58.66-23.56 [$m^{0.9}$]) e muito baixos (23.56633-00.064 [$m^{0.9}$]), representados pelas tonalidades em verde, indicam condições de virtual repouso e zonas de acomodação de sedimentos, originando leitos aluviais com canais sinuosos que recobrem a rocha e a protegem da erosão fluvial (Figura 13).



Fonte: Autor (2023).

Apesar de alguns setores apresentarem elevados valores de k_{sn} , esses se limitam, conforme mencionado anteriormente, às adjacências das maiores rupturas mapeadas (Figura 13). No entanto, ao analisar a média entre todos os segmentos fluviais, observa-se um baixo *stream power* por comprimento médio do fluxo do rio Pouso Alegre ($17 \pm 49[m^{0.9}]$) e da drenagem da bacia ($13 \pm 23[m^{0.9}]$) (Figura 14).

Figura 14: k_{sn} médio por comprimento de fluxo do rio Pouso Alegre e da rede de drenagem.

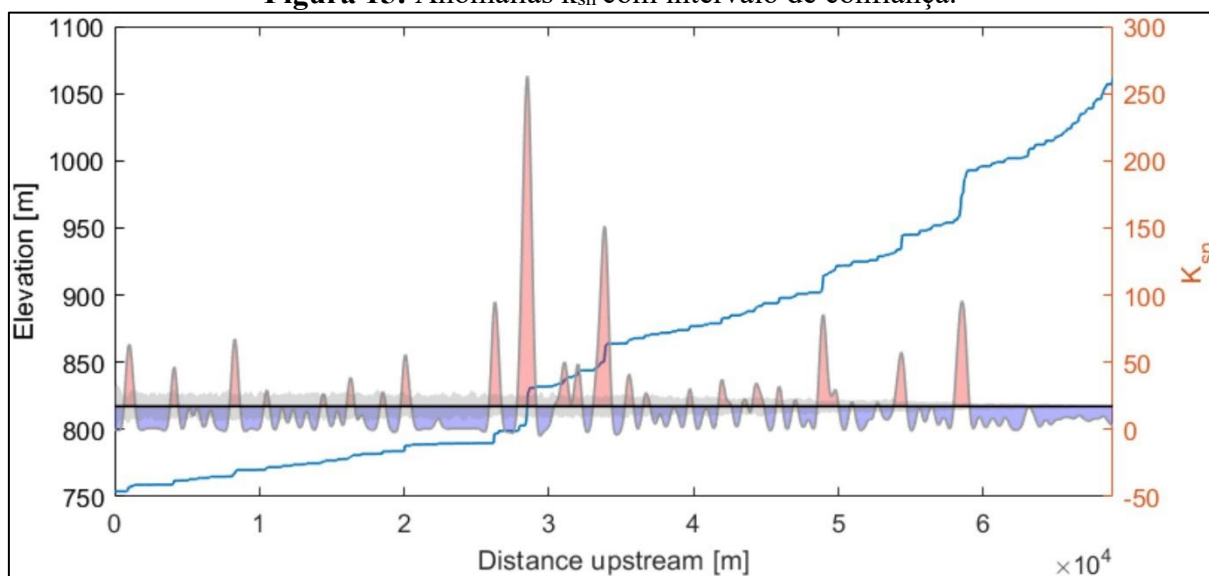


Fonte: Autor (2023).

Esses valores não se equiparam aos encontrados em zonas tectonicamente ativas, mas, de maneira análoga, funcionam como registros potenciais de erosão no leito rochoso em ambientes tectonicamente inativos de margem passiva. Assim, os resultados identificaram setores com reajustes erosivos mais intensos que, por sua vez, retroalimentam a incisão do canal, gerando empuxo correspondente nas vertentes e, assim, aumentam o gradiente das encostas adjacentes ao canal principal (Figura 12 e 13).

A partir do cálculo do k_{sn} médio, elaboramos o gráfico das anomalias com intervalo de confiança de 90%. O gráfico identifica as anomalias positivas e negativas, associando-as às elevações, aos picos de k_{sn} e ao erro inerente aos perfis longitudinais derivados MDE (Figura 15). Observa-se uma maior aceitação no alto curso, onde o limite de confiança permanece estreito, refletindo a maior precisão das estimativas em áreas íngremes e elevadas da bacia. Após o alto curso, a aceitação diminui e permanece frequentemente estável até a confluência do rio com o reservatório da UHE de Furnas, principalmente em áreas planas com leitos aluviais, onde o processamento de dados encontra dificuldades para determinar o fluxo de direção e acumulação a partir das células do MDE. Apesar do leve aumento, ainda é perceptível a relação de baixo erro entre os ruídos, o que valida o modelo de *stream power* desenvolvido para drenagem. Destacam-se as anomalias positivas, relacionadas a picos de elevação de valores de k_{sn} em relação à média calculada para o rio ($17 \pm 49 [m^{0.9}]$), presentes em *knickpoints* distribuídos na zona de transição associada aos afloramentos de leucogranitos (Figura 15).

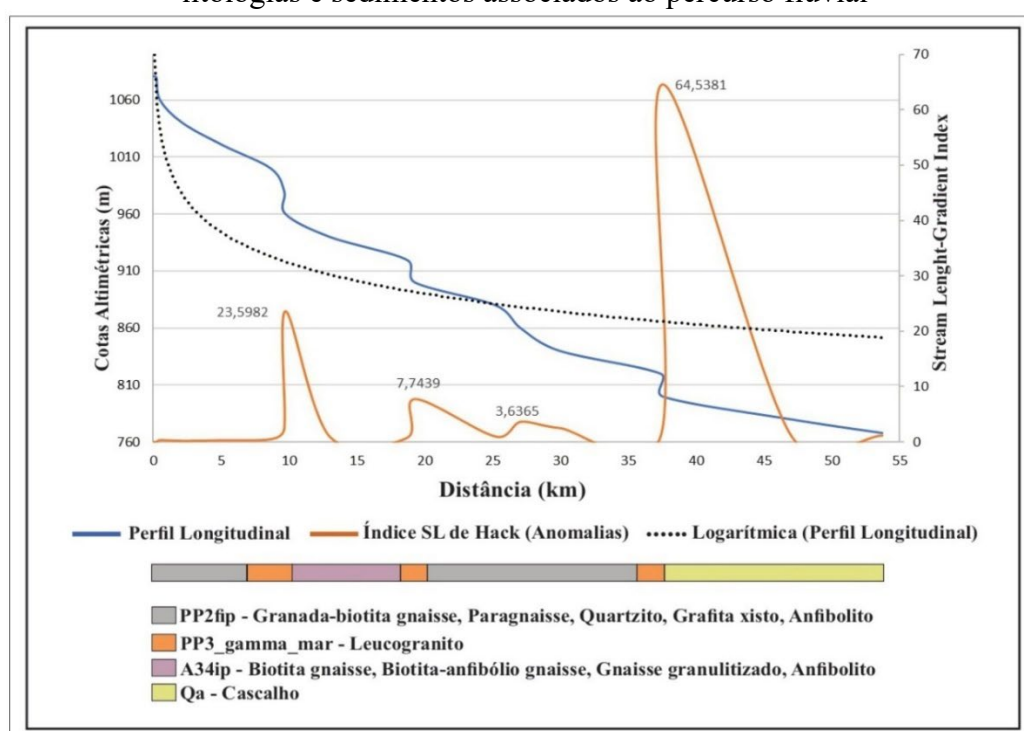
Figura 15: Anomalias k_{sn} com intervalo de confiança.



Fonte: Autor (2023).

O perfil longitudinal do canal principal também foi submetido ao índice SL, o qual revelou os valores das quatro maiores anomalias do rio Pouso Alegre, que foram, respectivamente, 23,59 (de segunda ordem), 7,74 (de primeira ordem), 3,63 (de primeira ordem) e 64,53 (de segunda ordem) (Figura 16). A curva de melhor ajuste destaca setores com predisposição a reajustes erosivos e zonas com tendência à acomodação de sedimentos de um sistema geomórfico em transiente, que busca se reajustar sob a influência da erosão diferencial proporcionada pelos afloramentos de leucogranitos (Figura 16).

Figura 16: Perfil longitudinal do rio Pouso Alegre, índice SL, curva de melhor ajuste, litologias e sedimentos associados ao percurso fluvial



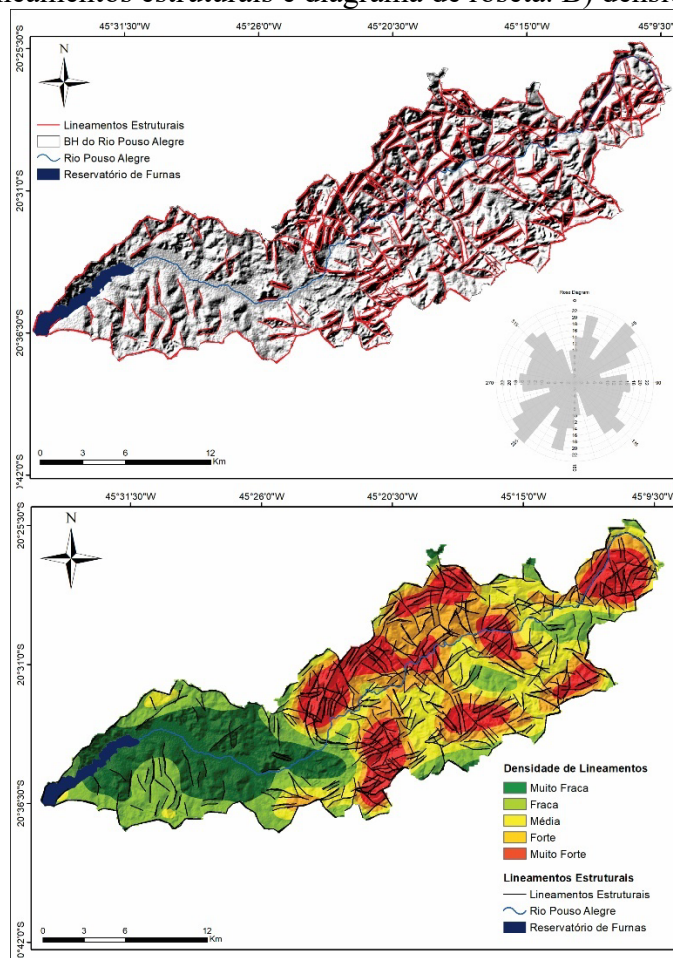
Fonte: Autor (2023).

Ao associar o perfil longitudinal do rio Pouso Alegre com as estruturas geológicas, pode-se compreender que dos quatro *knickpoints* mapeados, três possuem gênese estrutural de segunda ordem, e todos eles estão relacionados a afloramentos de leucogranitos (Figura 9). O primeiro, com o valor de 23,5982, está localizado no alto curso fluvial em transição de Leucogranitos para Gnaisses (Figura 16). O segundo, com o valor de 7,7439, situa-se no médio curso fluvial, em transição de leucogranitos para paragneisses (Figura 16). O terceiro, com o valor de 64,538, espacializa-se no baixo curso fluvial, em transição de leucogranitos para sedimentos clásticos associados a leitos aluviais, adjacente a uma falha preenchida por dique máfico (Figura 16).

7.2 AVALIAÇÃO MORFOESTRUTURAL E MORFOTECTÔNICA

A análise da densidade de lineamentos estruturais identificou os domínios com maior dinamicidade morfotectônica, principalmente associados aos interflúvios e aos altos e médios cursos dos tributários mais volumosos, incluindo o rio Pouso Alegre. Os lineamentos se distribuem em várias direções, sem uma concentração direcional única; no entanto, observa-se uma frequência mais elevada nas direções NW-SE e NE-SW (Figura 17).

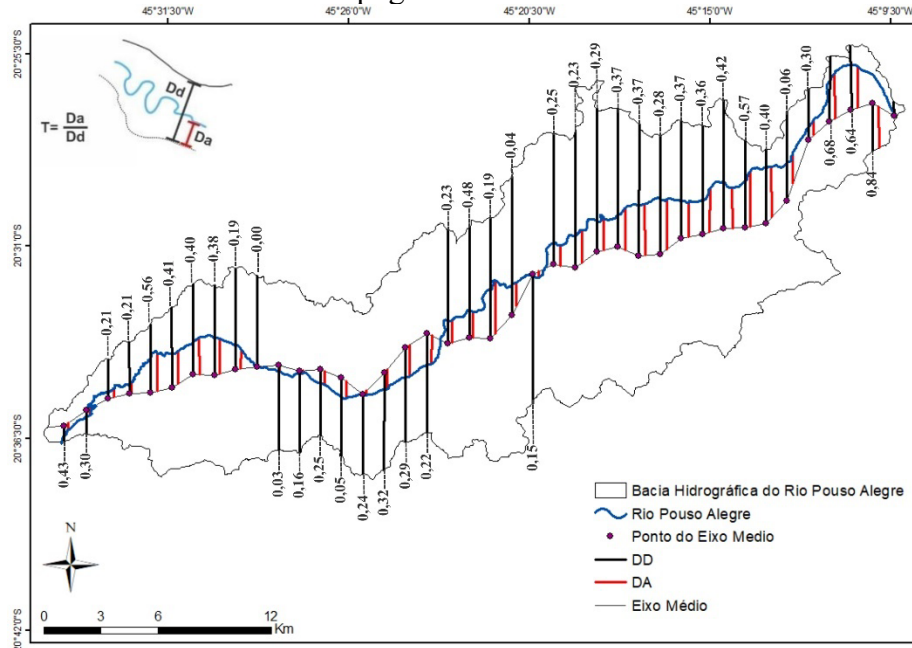
Figura 17: A) lineamentos estruturais e diagrama de roseta. B) densidade de lineamentos



Fonte: Autor (2023).

A aplicação do FSTT (Figura 18) revelou basculamento tectônico de blocos rochosos localizados e não generalizados, com valores assimétricos concentrados no alto curso fluvial (0,84 / 0,64 / 0,68 / 0,30 / 0,06 / 0,40 / 0,57) e, em menor medida, no médio curso (0,42 / 0,36 / 0,37 / 0,28 / 0,37 / 0,37 / 0,29 / 0,23 / 0,25 / 0,15 / 0,04 / 0,19 / 0,48 / 0,23 / 0,22 / 0,29 / 0,32). Por vezes, esses valores foram nulos no baixo curso fluvial, especialmente em trechos simétricos com pouco deslocamento lateral do rio (0,24 / 0,05 / 0,25 / 0,16 / 0,03 / 0,00 / 0,19 / 0,38 / 0,40 / 0,41 / 0,56 / 0,21 / 0,21 / 0,21 / 0,30 / 0,43).

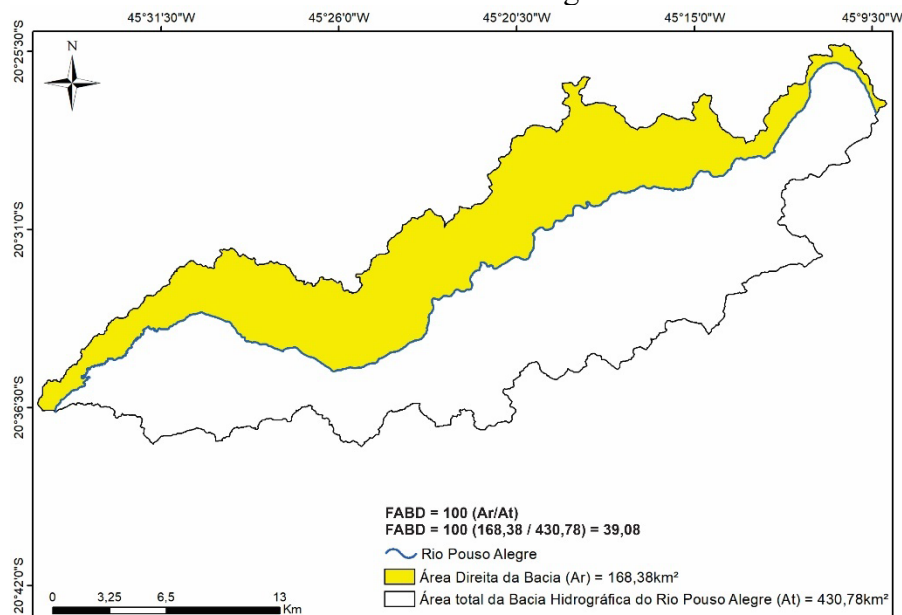
Figura 18: Fator de simetria topográfica transversa da bacia do rio Pouso Alegre



Fonte: Autor (2023).

A análise do FABD (Figura 19) confirma essa tendência de basculamentos setorizados e não generalizados, evidenciando pouca atividade tectônica de basculamento na bacia. Isso é demonstrado por um valor de 39,08 km², obtido a partir da divisão entre a área total da bacia (430,78 km²) e a área calculada à direita do canal principal (168,38 km²).

Figura 19: Fator de assimetria de bacias de drenagem da bacia do rio Pouso Alegre



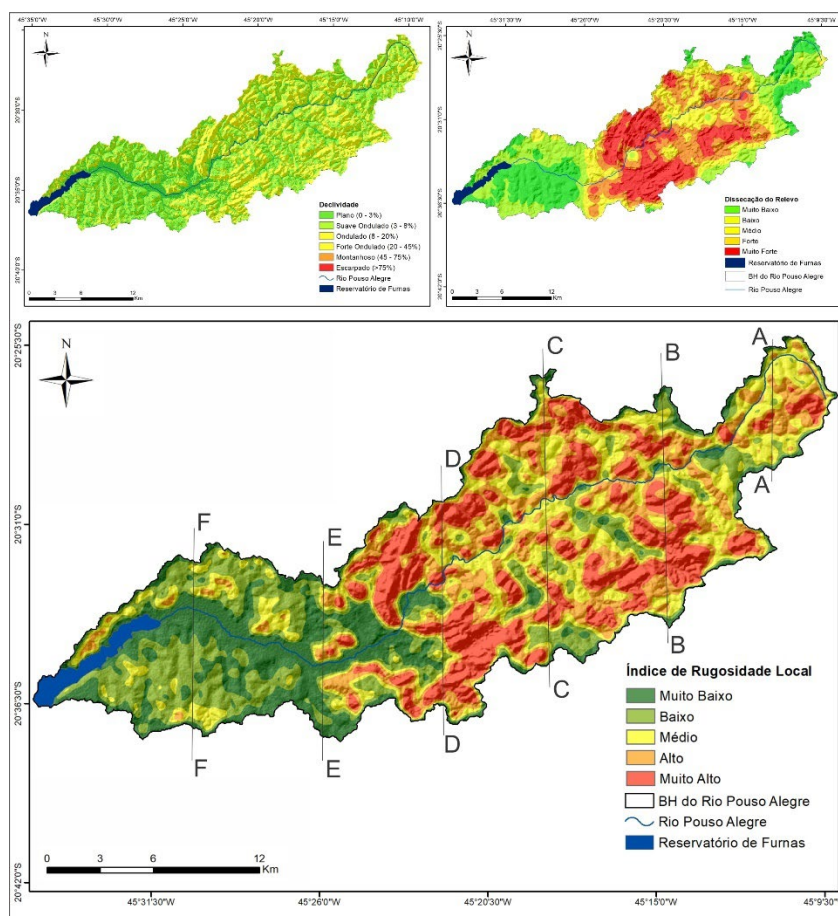
Fonte: Autor (2023).

7.3 IDENTIFICAÇÃO DOS PADRÕES MORFOLÓGICOS

O cálculo do índice de rugosidade para a bacia revela um padrão de alta rugosidade (Ir: 634,20 km). A relação de relevo, com um desnível médio de 7,82 km entre a cabeceira e o nível de base do rio principal, destaca-se pela baixa razão de declividade média. Notavelmente, as maiores concentrações de declividade (Figura 20A), dissecação (Figura 20B) e rugosidade (Figura 20C) ocorrem no setor central e superior da bacia, associadas às áreas de elevada altimetria no Planalto de Oliveira (Figura 1).

Esses padrões morfológicos relacionam-se às maiores densidades de lineamentos, *knickpoints*, valores de gradiente das encostas e potência fluvial (Figuras 7, 8, 9, 12, 13 e 17). Em contraste, os valores mais baixos desses parâmetros correlacionam-se positivamente com as áreas dos Metapelitos, apresentando relações opostas aos domínios geológicos ígneos e metamórficos do Planalto de Oliveira (Figuras 7, 8, 9, 12, 13 e 17).

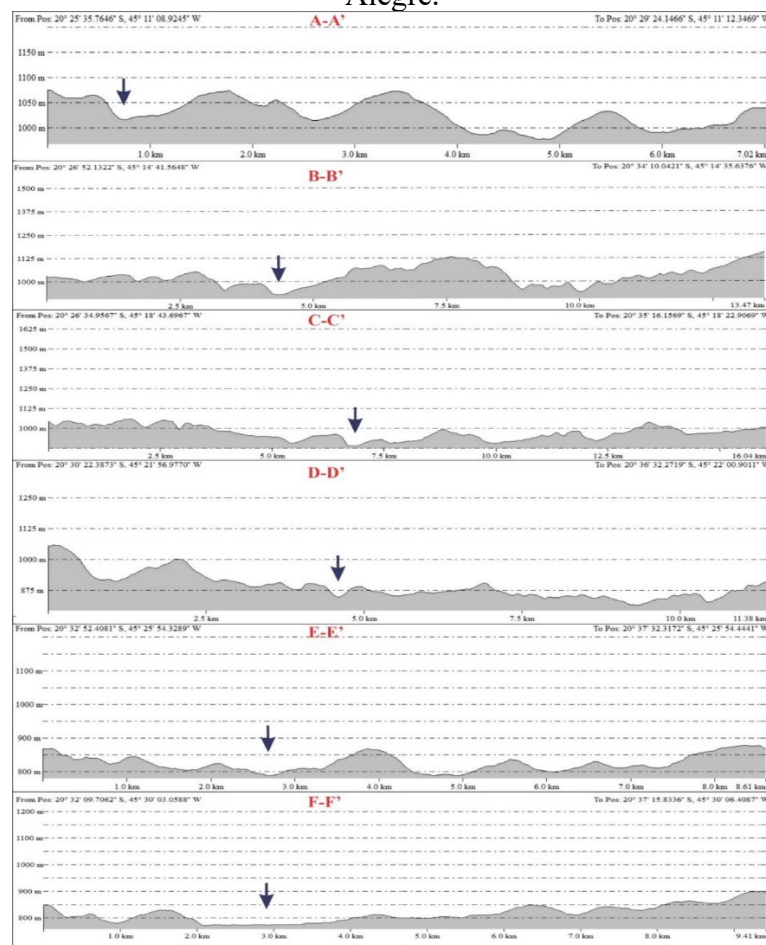
Figura 20: Parâmetros morfológicos da bacia do rio Pouso Alegre. A) declividade do relevo. B) índice dissecação do relevo. C) índice de concentração de rugosidade do relevo



Fonte: Autor (2023).

Os perfis topográficos transversais aos vales fluviais, traçados entre os interflúvios da bacia situados em zonas centrais e superiores (A'A, B'B, C'C, D'D), revelaram: (i) correlação com os maiores valores de FSTT relacionados à migração do alto e médio curso do rio Pouso Alegre em relação ao eixo médio da bacia; (ii) direcionamento do curso d'água entre vales encaixados, vertentes mais íngremes com elevado gradiente e rugosidade topográfica; e (iii) dinâmica erosiva vinculada à incisão fluvial em leitos rochosos (Figuras 20 e 21). Em contraste, os transectos associados ao baixo curso fluvial (F'F, E'E) mostram que o rio percorre terrenos menos acidentados, com predisposição agradacional em leito aluvial, até desaguar no reservatório da UHE de Furnas. Esses perfis também revelam um padrão de vertentes com declividades mais suaves, condicionadas por interflúvios rebaixados (Figura 18 e 19), bem como áreas de maior migração lateral relacionadas ao meandramento do rio em largas planícies fluviais situadas em zonas de acomodação de sedimentos (Figuras 20 e 21).

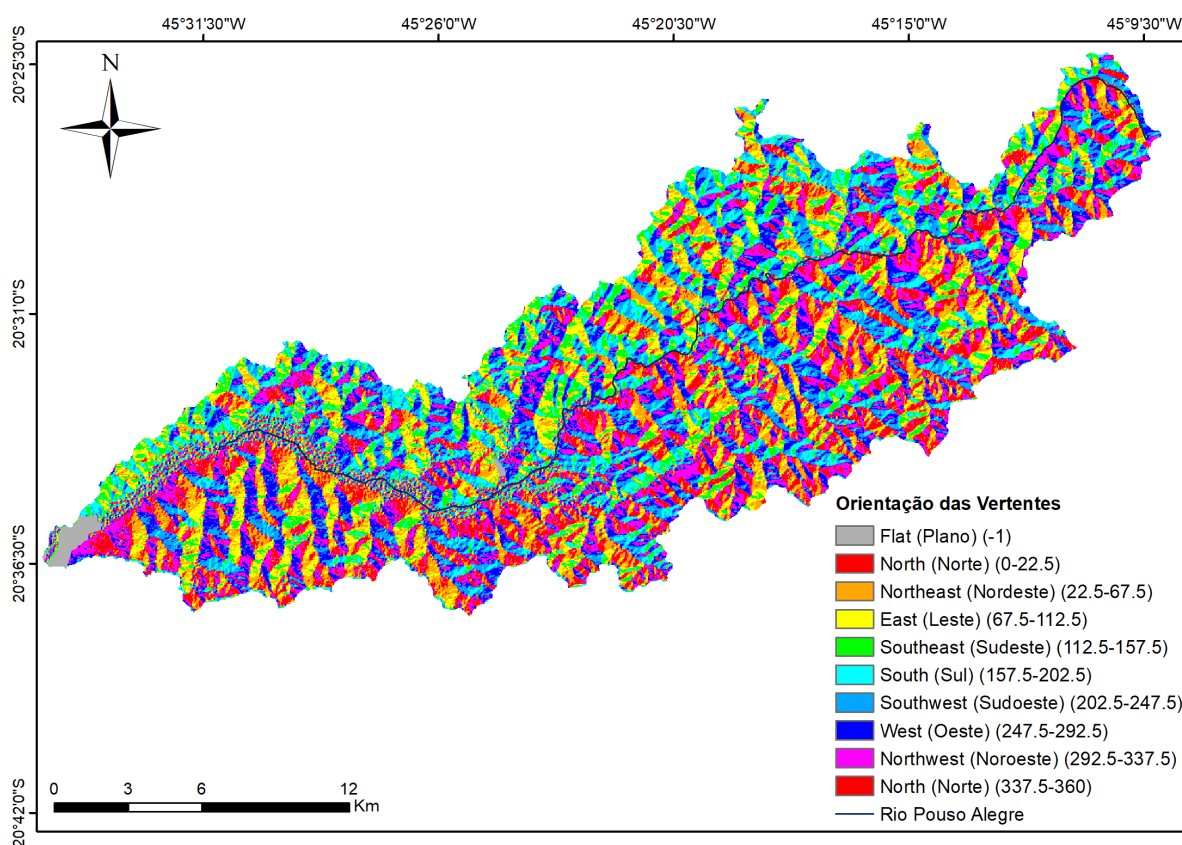
Figura 21: Cortes esquemáticos transversais ao vale do canal principal entre interflúvios da bacia (A-A', B-B', C-C', D-D', E-E' e F-F'). As setas demarcam a localização do rio Pouso Alegre.



Fonte: Autor (2023).

A orientação das vertentes exerce influência direta nos padrões de drenagem da bacia. Na porção esquerda da bacia, no sentido da nascente para a foz, observa-se uma predominância de vertentes orientadas para norte, noroeste e nordeste, enquanto na porção a direita da bacia predomina a direção sul, sudeste e sudoeste (Figuras 19 e 22). No hemisfério sul, as encostas orientadas para o norte recebem uma exposição solar mais intensa devido à maior incidência de raios solares perpendiculares, o que resulta em temperaturas mais elevadas (PILLAR, 1995; BATISTA et al., 2014). Essa característica reflete em menores taxas de umidade na parte direita da bacia, o que provavelmente exerce influência na distribuição da vegetação e nas decisões humanas quanto ao uso da terra.

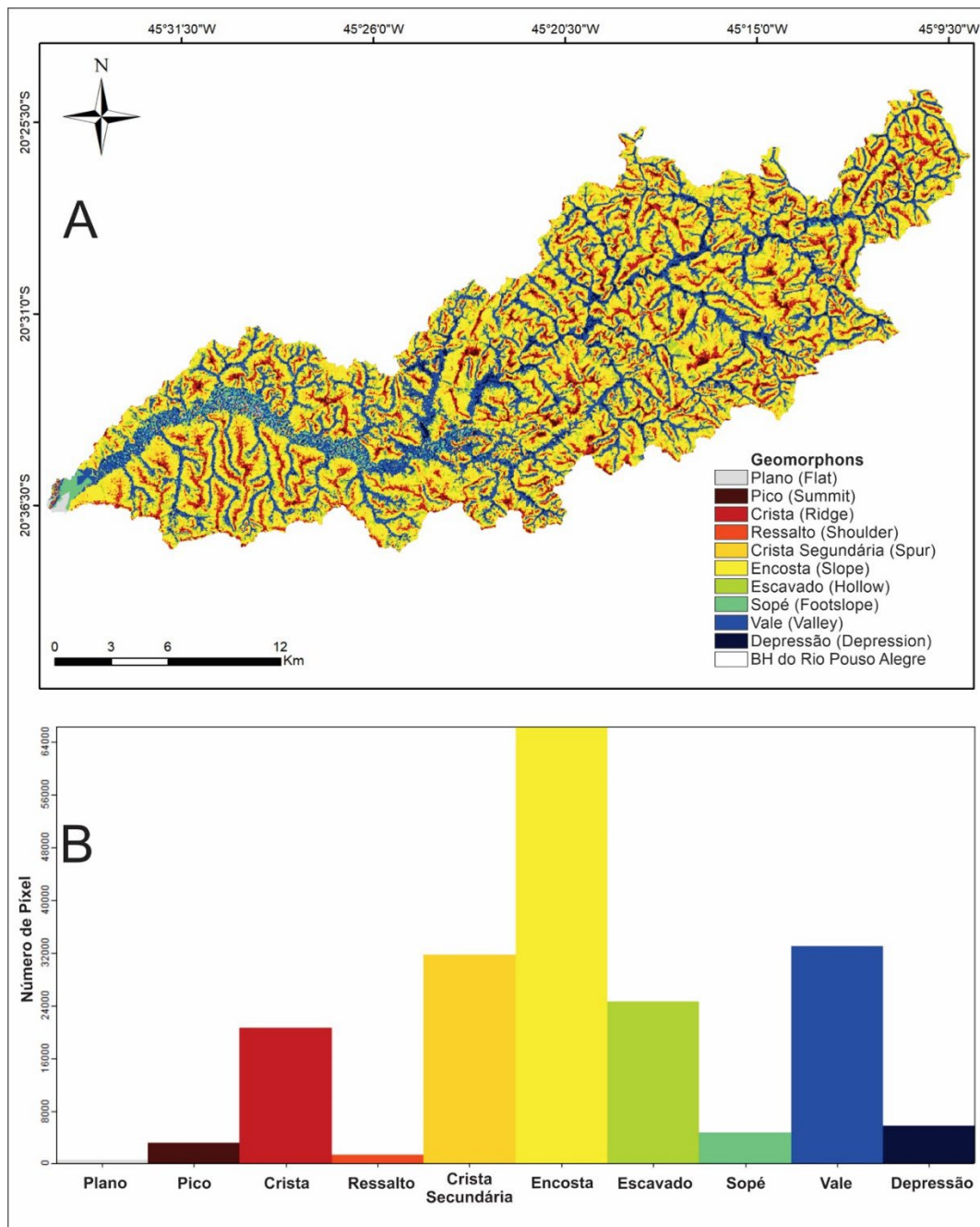
Figura 22: Orientação das vertentes da bacia hidrográfica do rio Pouso Alegre.



Fonte: Autor (2023).

A partir dos *geomorphons* (Figura 23) nota-se que a bacia do rio Pouso Alegre é majoritariamente constituída pelo relevo de encostas, seguida por vales fluviais, cristas secundárias e escavado.

Figura 23: *Geomorphons* da Bacia Hidrográfica do Rio Pouso Alegre. A: mapeamento dos *geomorphons*. B: representação gráfica.



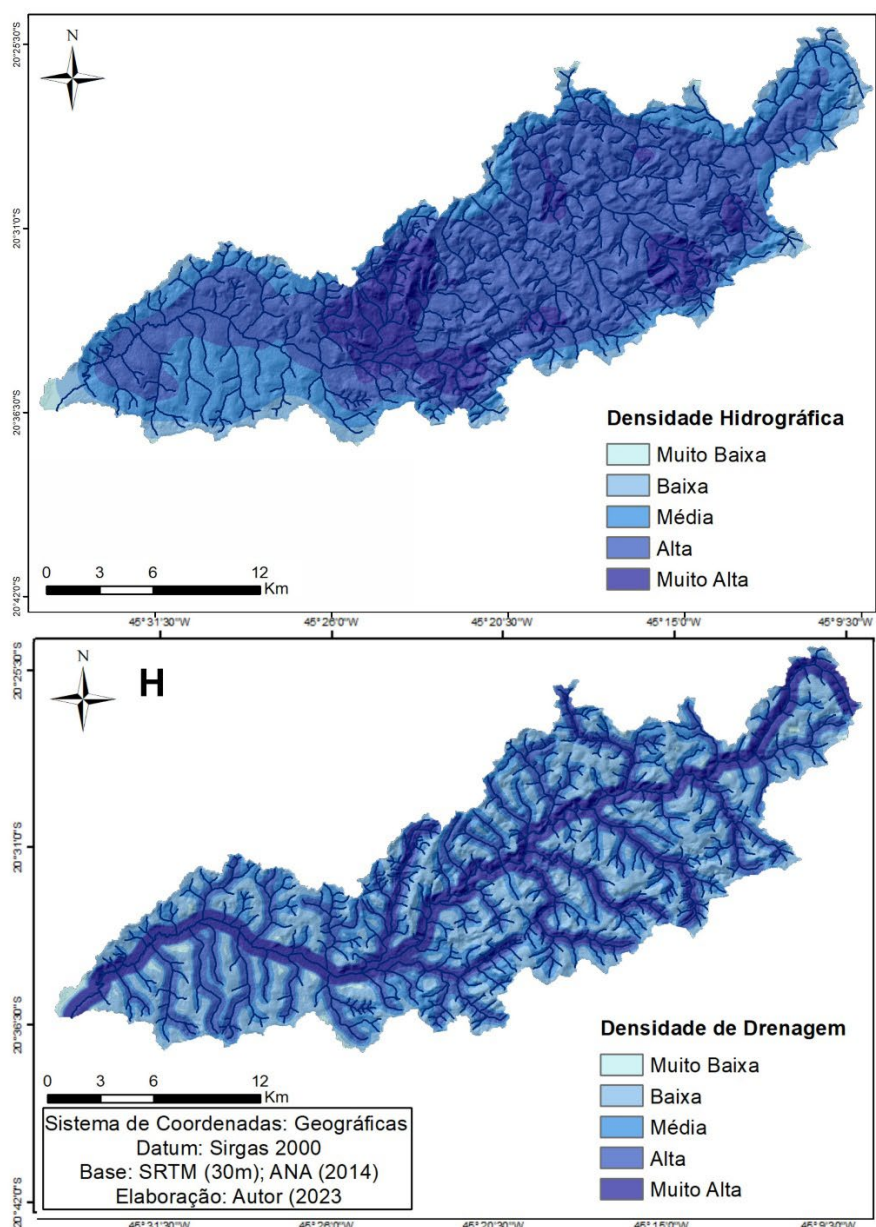
Fonte: Autor (2023).

A predominância do relevo de encostas e vales sugere a atuação significativa de processos erosivos de incisão fluvial ao longo do tempo. Os vales indicam áreas de escoamento concentrado, refletindo a influência contínua da água na formação e modificação dos canais fluviais. Cristas secundárias podem indicar variações na resistência geológica, enquanto áreas escavadas sugerem locais onde a erosão fluvial foi intensa.

7.4 VARIAÇÃO DOS PADRÕES DE DRENAGEM

De modo geral, observamos uma baixa densidade hidrográfica (D_h : 1,0) para bacia. A variação acompanha os maiores graus de dissecação do relevo, que apresentam valores elevados a muito elevados em zonas com contatos litológicos e falhas associadas a cristas quartzíticas, Paragneisses e intrusões de Leocogranitos (Figura 24A). Por outro lado, as áreas com menor densidades hidrográficas estão localizadas majoritariamente a jusante, em áreas menos dissecadas, rugosas e declivosas do relevo, que indica uma baixa capacidade geral de desenvolver novos canais nestas zonas.

Figura 24: A) densidade hidrográfica. (B) densidade de drenagem



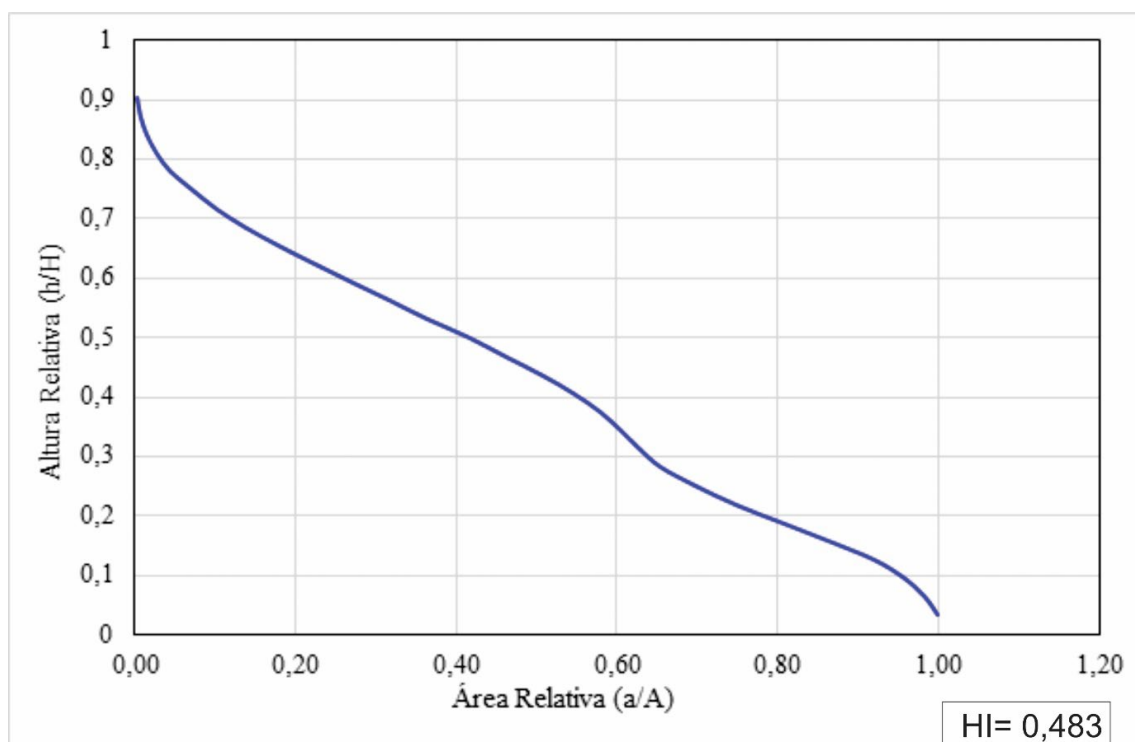
Fonte: Autor (2023).

O cálculo geral realizado para toda a bacia revela uma tendência de média densidade de drenagem (Dd : 1,51 km/km²). Os maiores valores se concentram no canal principal e nos tributários mais volumosos que confluem com o rio Pouso Alegre em áreas do alto e médio curso fluvial (Figura 14H). Estes resultados indicam áreas de maior transferência de sedimentos, potencial erosivo e eficiência de escoamento pluvial durante picos de cheias. A aplicação do índice de sinuosidade (Is : 29,95%) identificou morfologia predominante retilínea do canal fluvial. Esse resultado corrobora a densidade hidrográfica observada (Figura 24B) e mostra uma maior velocidade e eficiência de escoamento hídrico devido à baixa sinuosidade proporcionada por segmentos fluviais encaixados nas rochas.

7.5 CARACTERIZAÇÃO DA FORMA DA BACIA

A integral hipsométrica revelou um valor médio de 0,483, indicando a maturidade e equilíbrio da bacia. As modestas curvas côncavo-convexas apontam para relevos antigos e dissecados. Esse padrão sugere uma extensa história de interações entre o rio e seu entorno, moldando a paisagem ao longo de períodos geológicos significativos, características comuns em áreas cratônicas de margens passivas, antigas e estáveis.

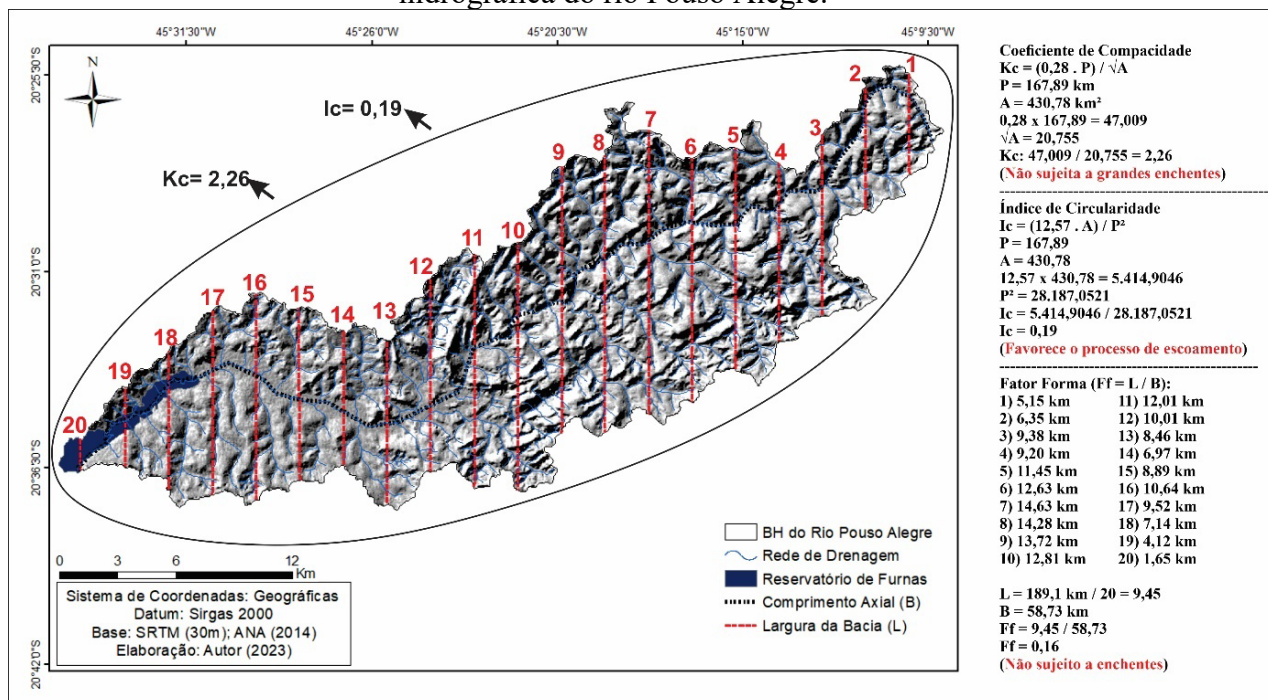
Figura 25: Curva Hipsométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Pouso Alegre



Fonte: Autor (2023).

O coeficiente de compacidade (K_c : 2,26), índice de circularidade (I_c : 0,19) e fator de forma (F_f : 0,16) da bacia corroboram com o índice de sinuosidade (I_s : 29,95%) e indicam, em conjunto, uma maior tendência ao escoamento e uma baixa propensão a enchentes na bacia hidrográfica do rio Pouso Alegre (Figura 26).

Figura 26: Coeficiente de compacidade, índice de circularidade e fator forma da bacia hidrográfica do rio Pouso Alegre.



Fonte: Autor (2023).

8. DISCUSSÕES

8.1 A INFLUÊNCIA MORFOESTRUTURAL NA EVOLUÇÃO DA PAISAGEM

A distribuição espacial das anomalias do canal principal na bacia do rio Pouso Alegre revela uma clara influência morfoestrutural na configuração da paisagem, uma vez que estão dispostas principalmente em regiões de falhas tectônicas, transições litológicas e em áreas marcadas por intensos graus de declividade, rugosidade e dissecação.

8.1.1 O alto estrutural do Planalto de Oliveira

O Planalto de Oliveira, composto por rochas ígneas e metamórficas mesoarqueanas a paleoproterozóicas, desempenha um papel crucial na morfologia fluvial do rio Pouso Alegre. A resistência dos leucogranitos a processos erosivos destaca-se como um fator determinante na formação de *knickpoints* pronunciados, indicando desequilíbrio geomorfológico na zona de

transição para os metapelitos e leitos aluviais. A influência dos leucogranitos na bacia do rio Pouso Alegre também pode ser visualizada através das maiores aglomerações atribuídas ao gradiente de encostas, maiores graus de dissecação e rugosidade do relevo, além de elevações nas concentrações da densidade de lineamentos e densidade hidrográfica.

Nesta dinâmica o perfil longitudinal do rio Pouso Alegre exhibe três *knickpoints* principais associados aos afloramentos de Leucogranitos. O primeiro, com valor de 23,5982, está no alto curso fluvial durante a transição de leucogranitos para gnaisses. O segundo, de valor 7,7439, encontra-se no médio curso fluvial, marcando a transição de leucogranitos para paragneisses. O terceiro, com valor de 64,538, localiza-se no baixo curso fluvial, indicando a transição de leucogranitos para sedimentos clásticos próximos a uma falha preenchida por dique máfico (Figura 9). A formação desse último *knickpoint* resultou possivelmente de deformação tectônica associada à falha preenchida por dique básico, criando espaços de acomodação para o desenvolvimento do baixo curso com leito aluvial no domínio metapelítico (Figura 9). Essa transição intensificou a erosão diferencial, resultando no maior *knickpoint* entre os mapeados. A propagação de energia decorrente dos reajustes erosivos pode ter originado o *knickpoint* de primeira ordem, com menor magnitude e valores SL (3,6365), localizado sobre blocos de paragneisses. Tais propagações de energia, associadas aos recuos de *knickpoints* desencadeados pela queda do nível de base promulgada por falhas tectônicas e mudanças climáticas, são bem documentadas pela literatura (BERLIN; ANDERSON, 2007; WHITTAKER; BOULTON, 2012; CASTILLO; BISPO; JANSEN, 2013; CASTILLO; FERRARI; MUÑOZ-SALINAS, 2017; BAYNES ET AL., 2022).

Pelletier et al. (2009) identificaram relações similares ao observar que os pontos de ruptura do leito rochoso de um canal fluvial no complexo central Catalina-Rincon, no Arizona, correlacionam-se com a presença de soleiras de leucogranitos excepcionalmente espessas na região. Para Kirby e Whipple (2012) e Neely, Bookhagen e Burbank (2017), *knickpoints* de degrau vertical, como os encontrados na bacia do rio Pouso Alegre, são caracterizados por uma mudança abrupta na declividade do canal, geralmente associada a uma mudança na resistência da rocha subjacente. Estas observações alinham-se à teoria do equilíbrio dinâmico e ao conceito de *stream power*, destacando a influência direta da resistência geológica na evolução dos canais fluviais (KNIGHTON, 1999; VENDITTI et al., 2020).

Em geral, os leucogranitos também tendem a ter maior resistência à erosão fluvial em comparação com os gnaisses e paragneisses (IBETSBERGER, 1996). Os leucogranitos são rochas ígneas plutônicas intrusivas compostas principalmente de minerais como quartzo,

feldspato e mica, que oferecem maior durabilidade e resistência à intemperização e à erosão (CREPANI et al., 2001; LACERDA et al., 2021). Por outro lado, os gnaisses e paragneisses são rochas metamórficas que muitas vezes se originam de rochas sedimentares ou ígneas pré-existentes, e passam por um processo de metamorfismo que pode alterar sua estrutura e composição mineral, tornando-a mais suscetível à erosão (CAMPOS NETO; CABY, 1999; NEVES, 2021; PEREIRA, 2022). Embora os gnaisses e paragneisses também sejam bastante resistentes, na área ficou evidente a maior facilidade de incisão fluvial nessas rochas, produzindo as deformações observadas nos perfis longitudinais.

Deste modo, a presença significativa de *knickpoints* em áreas cratônicas de margens passivas, antigas e estáveis, como a bacia do rio Pouso Alegre, sugere um ambiente que perpassa por mudanças contínuas na paisagem, impulsionadas por reajustes erosivos derivados de atividades tectônicas pretéritas que desenvolveram as variações litológicas identificadas (CAMPOS et al., 2023). Essas variações litológicas influenciam as inclinações no leito do rio e promovem a erosão diferencial do relevo, levando à formação de *knickpoints* (LI et al., 2021; MAQUES et al., 2021). A variação nas magnitudes dos *knickpoints* destaca a complexidade dos processos morfotectônicos e ressalta a necessidade de considerar a geologia local na interpretação da evolução da paisagem (FOSTER; KELSEY, 2012; SCHWANGHART; SCHERLER, 2020; CHILTON; SPOTILA, 2022). Essas relações também foram observadas por Mandal, Burg e Haghipour (2016) em um estudo conduzido no sul da Índia peninsular, uma região tectonicamente quiescente, na qual os marcadores fluviais geomórficos evidenciaram o caráter evolutivo transitório da paisagem.

8.1.2 Patamares de Campo Belo e Formiga e a estabilidade morfoestrutural

A análise dos patamares de Campo Belo e Formiga revela uma configuração geomorfológica mais estável, caracterizada por menores altitudes e declividades em comparação com o Planalto de Oliveira. Essa estabilidade morfológica está associada à zona geomórfica dos metapelitos e a menor influência de processos erosivos fluviais e tectônicos nessa região. A presença de *knickpoints* menos pronunciados nesses patamares e a observação de morfologias predominantemente côncavas nos afluentes associados indicam uma relativa estabilidade geológica. Tais padrões, conforme destacado por Hack (1960), representam reajustes adaptativos pretéritos e apontam para um equilíbrio geomórfico nessa região.

Em geral, os metapelitos tendem a ter menor resistência à erosão fluvial em comparação com os leucogranitos, gnaisses e paragneisses (CREPANI et al., 2001; REZENDE; CASTRO,

2014). Isso se deve às suas características mineralógicas e texturais específicas (CAMPOS NETO, 2014). Metapelitos são rochas metamórficas derivadas de rochas sedimentares, geralmente ricas em argila, e passam por processos metamórficos que envolvem recristalização mineral (CPRM, 2020). Esses minerais, por sua natureza fina e estrutura lamelar, conferem aos metapelitos uma textura mais suave e uma coesão reduzida em comparação com as rochas inerentes ao Planalto de Oiveira. Além disso, comumente os metapelitos da região desenvolvem foliações que resultam em planos de fraqueza ao longo dos quais a erosão é mais eficaz (FUMES et al., 2017, 2019).

Essa estabilidade morfoestrutural está em sintonia com a teoria do equilíbrio dinâmico, onde a influência das características geológicas molda a evolução da paisagem fluvial. Segundo Crepani et al. (2001), os metapelitos, por sua composição e história geológica, proporcionam uma base menos resistente à erosão, contribuindo para a formação de canais mais estáveis e adaptados às condições locais. Estudos, como o de Rezende e Castro (2014) ressaltam que ambientes metapelíticos podem moldar a paisagem fluvial de maneira distinta de rochas ígneas e metamórficas mais antigas.

Essa tendência também foi observada por Cameron, Crosby e Whipple (2006) ao analisarem os controles de ocorrência e implicações na evolução da paisagem de vales suspensos em Taiwan. Os autores examinaram oito bacias e identificaram que as morfologias dos canais sugestivas de condições transitórias foram mais comuns nas três bacias onde o substrato era composto por rochas metassedimentares de fácies xisto verde dominadas por metapelitos foliados. Esse contexto, em contato com rochas mais resistentes como mármore e gnaisses e um clima subtropical, favoreceu o desenvolvimento de canais tributários ajustados com perfis côncavos e graduados até a foz do tributário. Esses canais possuíam valores de declividade comparáveis aos do rio tronco, semelhantes ao que ocorre nos principais afluentes dos Patamares de Campo Belo e Formiga (CAMERON; CROSBY; WHIPPLE, 2006).

Ao considerar a densidade de lineamentos estruturais na análise, essas relações ficam ainda mais evidentes ao observamos que os patamares de Campo Belo e Formiga exibem uma menor dinamicidade morfotectônica em comparação com o Planalto de Oliveira (BRÊDA, MELLO; MORAES, 2018). A configuração do gradiente das encostas e o reduzido valor de *stream power* nesse compartimento destaca a interconexão entre a geologia, morfologia fluvial e o transporte de sedimentos na bacia, mais propensos a acomodação nesse setor, composto majoritariamente por leitos aluviais (CHURCH, 2006; O'CONNOR et al., 2014; CANDEL et al., 2020; PAIXÃO et al., 2023).

8.1.3 Reflexos na hidrogeomorfologia local

A análise dos padrões morfológicos na bacia do rio Pouso Alegre revela características cruciais para a hidrogeomorfologia local em ambos os compartimentos. A interação entre lineamentos estruturais e características litológicas desempenha um papel essencial na definição dos padrões de drenagem, rugosidade, dissecação do relevo e declividade (REIS, et al., 2023). A elevada densidade em áreas de transição litológica e falhas tectônicas correlaciona-se com a intensa atividade geológica e o relevo acidentado (REIS, et al., 2023). A análise dos *geomorphons* ilustra a influência dos lineamentos na configuração do relevo bacia, por meio da correspondência entre cristas, vales, e fluxos de drenagem na dinâmica atual da bacia de drenagem.

De forma geral, podemos observar um baixo grau de inclinação na bacia hidrográfica do rio Pouso Alegre, o que indica estabilidade na trajetória do rio, com pouca variação em relação ao seu eixo médio, quando comparados com áreas tectonicamente ativas (CAMPFORTS et al., 2020; SEAGRE et al., 2020 BISWAS; RAHA, 2022). A exceção a essa tendência ocorre em setores específicos transientes, que exibem uma elevada densidade de lineamentos e refletem uma maior atividade geológica. Essa atividade geológica pode ter sido a principal causa da inclinação das camadas de rochas, favorecendo o basculamento tectônico de blocos setorizados (GOSWAMI; PANT, 2019; RAWAT; BANERJEE; SUNDRIAL, 2021). É fundamental notar que as mudanças de direção, de norte a sul, ao longo do eixo médio, foram provocadas por falhas que interceptaram o curso d'água e induziram a migração do rio em trechos encaixados em leitos rochosos (MEDINA-CASCALES et al., 2021).

Os perfis topográficos transversais revelam diferenças marcantes entre o alto e o baixo curso do rio Pouso Alegre. Enquanto no alto curso, caracterizado por vales encaixados e vertentes íngremes, a dinâmica erosiva está vinculada à incisão fluvial em leitos rochosos, no baixo curso, o rio percorre terrenos menos acidentados com predisposição agradacional em leitos aluviais. Essa transição está relacionada às características litológicas da área, com rochas mais resistentes no alto curso e rochas menos resistentes no baixo curso, influenciando a morfologia e a dinâmica fluvial. A variação na densidade hidrográfica também acompanha os contatos litológicos e falhas, indicando uma forte associação com a geologia em ambos os compartimentos (REIS, et al., 2023).

Em síntese, o compartimento superior exibe uma marcante diferença altimétrica associada ao Planalto de Oliveira, resultando em altitudes elevadas que conferem maior energia ao sistema fluvial (*stream power*). Essa energia se reflete em padrões morfológicos distintos,

como alta rugosidade, dissecação e declividade, correlacionados com maiores gradientes de encostas e densidades de lineamentos, *knickpoints* e drenagem. A presença de rochas ígneas e metamórficas contribui para um relevo acidentado, com dinâmica erosiva vinculada à incisão fluvial em leitos rochosos. No compartimento inferior, caracterizado por menor altimetria, observa-se uma predisposição agradacional em leitos aluviais, indicando uma dinâmica fluvial menos erosiva. As vertentes apresentam declividades mais suaves, influenciadas por interflúvios rebaixados, em contraste com as características íngremes do alto curso. A baixa densidade hidrográfica está associada a áreas menos dissecadas, rugosas e declivosas, indicando menor capacidade de desenvolver novos canais (LUO et al., 2015; DRAGIČEVIĆ; KARLEUŠA; OŽANIC, 2019).

9. CONCLUSÃO

Os estudos morfométricos, derivados deste trabalho, revelaram insights cruciais sobre a dinâmica da bacia do Rio Pouso Alegre, sua configuração, características e influências geológicas e estruturais. A análise integrada dos parâmetros morfológicos e morfométricos do relevo e da rede de drenagem demonstrou-se eficaz para a compreensão da evolução da paisagem. Essa abordagem possibilitou uma compreensão abrangente das influências tectônicas e estruturais na configuração atual do relevo e da rede de drenagem.

Em suma, os estudos morfométricos desempenham papel fundamental na pesquisa e gestão de bacias hidrográficas, proporcionando entendimento da interação entre processos naturais e antrópicos. Esses estudos orientam decisões para a gestão, preservação e recuperação ambiental da bacia, permitindo estratégias mais eficazes para a conservação dos recursos hídricos e do meio ambiente, garantindo sustentabilidade a longo prazo.

10. REFERÊNCIAS

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. **Base Hidrográfica Ottocodificada da Bacia do Rio Grande**. 2014. 2020. Escalas 1:50000 e 1:100000. Disponível em: <<https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/b13fa102-148d-4c4a-b7cd-02f23027e5c1>>. Acesso em: 10 março 2023.

ANGILERI, S. E. et al. Water erosion susceptibility mapping by applying stochastic gradient treeboost to the Imera Meridionale river basin (Sicily, Italy). **Geomorphology**, v. 262, p. 61-76, 2016. DOI. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.03.018>

BADE, M. R.; ROCHA, A. S.; CUNHA, J. E.; NÓBREGA, M. T. (2016). Geomorphological partitioning of Paraná III (Brazil/ Paraguay) hydrological basin. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.09, n.05, pag.1370-1383, 2016.

BACANI, V. M., SAKAMOTO, A. Y., LUCHIARI, A., & QUÉNOL, H. Sensoriamento remoto e sig aplicados à avaliação da fragilidade ambiental de bacia hidrográfica. **Mercator** (Fortaleza), v. 14, n. 2, p. 119–135, maio 2015.

BERNARDI, E. C. S.; PANZIERA, A. G.; BURIOL, G. A.; SWAROWSKY, A. Bacia hidrográfica como unidade de gestão ambiental. **Disciplinarum Scientia| Naturais e Tecnológicas**, v. 13, n. 2, p. 159-168, 2012.

BERTOLINI, W. Z.; DEODORO, S. C.; ZAMBOT, N. Análise morfométrica do relevo da região hidrográfica da várzea – alto rio Uruguai (RS). **Revista Geociências** (UNESP), v. 40 n. 1, 2021. DOI: <https://doi.org/10.5016/geociencias.v40i1.151468>

BASTOS, F. H.; MAIA, R. P.; CORDEIRO, A. M. N. **Geomorfologia**. Fortaleza: EdUECE, 2015. 138 p.

BATISTA, A. C.; TETTO, A. F.; DEPPE, F.; GRODZKI, L.; GRASSI, J. T. Análise dos impactos das mudanças climáticas sobre o risco de incêndios florestais no estado do Paraná. **Sci. For.**, Piracicaba, v. 42, n. 104, p. 491-501, dez. 2014.

BAYNES, E. R. C.; LAGUE, D.; STEER, P.; DAVY, P. Dynamic bedrock channel width during knickpoint retreat enhances undercutting of coupled hillslopes. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 47, n.15, 2022.

BERLIN, M. M.; ANDRESON, R. S. Modeling of knickpoint retreat on the Roan Plateau, western Colorado. **JGR: Earth Surface**, v. 112, n. F3, 2007.

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, 2018.

BISWAS, M.; RAHA, A. An overview of open channel monsoon hydraulics of Himalayan foothill rivers, West Bengal, India. **Modeling Earth Systems and Environment**, v. 9, p. 2969–2979, 2023.

CÂMARA, G., CASANOVA, M.A., HEMERLEY, A. S. **Anatomia de Sistemas de Informações Geográficas**. Instituto nacional de Pesquisas Espaciais - INPE-11454-RPE/770, Ministério da Ciência e Tecnologia. São José dos Campos, 1996.

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. Instituto nacional de Pesquisas Espaciais - INPE-10506-RPQ/249, Ministério da Ciência e Tecnologia. São José dos Campos, 2001.

CAMPOS, D. S.; SANTOS, M.; MARQUES, K. P. P.; SILVA, A. C.; VIDAL-TORRADO, P. Impact of tectonic topographic rejuvenation in landscapes with high bedrock/duricrust strength:

Insights from geomorphic evidence in a post-rifted region (SE Brazil). **Geomorphology**, v. 435, 108749, 2023, ISSN 0169-555X.

CAMPFORTS, B.; VANACKER, V.; HERMAN, F.; VANMAERCKE, M.; SCHWANGHART, W.; TENORIO, G. E.; WILLEMS, P.; GOVERS, G. Parameterization of river incision models requires accounting for environmental heterogeneity: insights from the tropical Andes. **Earth Surface Dynamics**, v. 8, n. 2, p. 447–470, 2020.

CANDEL, J.; KLEINHANS, M.; MAKASKE, B.; WALLINGA, J. Predicting river channel pattern based on stream power, bed material and bank strength. **Progress in Physical Geography: Earth and Environment**, v. 45, n. 2, p. 253-278, 2021.

CASTILLO, M.; BISHOP, P.; JANSEN, D. J. Knickpoint retreat and transient bedrock channel morphology triggered by base-level fall in small bedrock river catchments: The case of the Isle of Jura, Scotland, **Geomorphology**, v. 180–181, p. 1-9, 2013, ISSN 0169-555X.

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, 2017, ISSN 0895-9811.

CHARIZOPOULOS, N.; MOURTZIOS, P.; PSILOVIKOS, T.; PSILOVIKOS, A.; KARAMOUTSOU, L. Análise morfométrica da rede de drenagem da Ilha de Samos (norte do Mar Egeu): Insights sobre controle tectônico e riscos de inundação. **Comptes Rendus Geoscience**, 351, 2019, p. 375-383.

CHILTON, K. D.; SPOTILA, J. A. Uncovering the Controls on Fluvial Bedrock Erodibility and Knickpoint Expression: A High-Resolution Comparison of Bedrock Properties Between Knickpoints and Non-Knickpoint Reaches. **JGR: Earth Surface**, v. 127, n. 3, 2022.

COSTA, Jorge. **As knickzones da serra do Alvão: localização, geomorfologia e impacto no geoturismo e geopercursos**. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e Ordenamento do Território) - Faculdade de Letras da Universidade do Porto, 2020.

COSTA, R. C. A. **Indicadores morfométricos: uma ferramenta no diagnóstico da vulnerabilidade ambiental**. 2015. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal, 2015.

COX, R. T. Analysis of drainage and basin symmetry as a rapid technique to identify areas of possible Quaternary tilt-block tectonics: an example from the Mississippi Embayment. **GSA Bulletin**, v. 106, n. 5, p. 571-581, 1994

CHRISTOFOLETTI, A. Análise morfométrica de bacias hidrográficas. **Notícia Geomorfológica**, v. 9, n.18, p. 35-64, 1969.

CPRM. Mapa Geológico do Estado da Minas Gerais. 2020. Escala 1:1.000.000. Disponível em: < <https://geosgb.cprm.gov.br/geosgb/downloads.html> >. Acesso em: 10 março 2023.

CRUZ, L. S. B. **Diagnóstico Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Uberaba - MG**. 2003. 180f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

CREPANI, E., MEDEIROS, J.S., FILHO, P.H., FLORENZANO, T.G., DUARTE, V., CLEMENTE, C.; BARBOSA, F. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos: INPE-8454- RPQ/722, 2001.

DAVIS, W. M. The geographical cycle. **Geographical Journal**, v. 14, n. 5, p. 481-504, 1899.

DPS/UFV. **Mapa de Solos do Estado de Minas Gerais**. 2010. Escala 1:650.000. Disponível em: < <https://dps.ufv.br/software/>>. Acesso em: 10 março 2023.

DRAGIČEVIĆ, N.; KARLEUŠA, B.; OŽANIĆ, N. Different Approaches to Estimation of Drainage Density and Their Effect on the Erosion Potential Method. **Water**, v. 11, n. 3, p. 593, 2019.

ELESBON, A. A. A.; GUEDES, H. A. S.; SILVA, D. D.; OLIVEIRA, I. C. Uso de dados SRTM e plataforma SIG na caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Braço Norte do Rio São Mateus –Brasil. **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 64, n.3, p.281-288, jul./set. 2011.

FARIAS, J. F.; SILVA, E. V. Compartimentação geomorfológica da bacia hidrográfica do rio Palmeira - Ceará: subsídios ao planejamento ambiental. **GEOSABERES: Revista de Estudos Geoeducacionais**, vol. 6, n. 1, pag. 149-163, 2015.

FENTA, A. A. et al. Land susceptibility to water and wind erosion risks in the East Africa region. **Science of the Total Environment**, v. 703, p. 135016, 2020. DOI. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135016>

FERREIRA, R. G.; MOURA, M. C. O.; CASTRO, F. S. Uso de plataforma sig na caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio pancas–Brasil. **Nativa**, v. 3, n. 3, p. 210-216, ISSN: 2318-7670, 2015.

FONSECA, B. M.; AUGUSTIN, C. H. R. R. Análise morfométrica de bacias de drenagem e sua relação com a estrutura geológica na serra do Espinhaço Meridional-MG. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 15, n. 2, 2014.

FREIRE. Paulo. **Educação e mudança**. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1979.

FRITZSONS, E.; MANTOVANI, L. E. A relação entre a análise morfométrica das bacias hidrográficas e o substrato geológico. In: XVIII REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA: Novos Caminhos para Agricultura Conservacionista no Brasil. 2010, Teresina, Piauí. Anais [...]. Embrapa, 2010.a

FRITZSONS, E.; MANTOVANI, L. E. Os substratos geológicos e os coeficientes morfométricos em bacias hidrográficas do carste dolomítico no Estado do Paraná. **Embrapa Florestas-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2010.b

FUMES, R. A.; LUVIZOTTO, G. L.; MORAES, R.; HEILBRON, M.; VLACH, S. R. F. Metamorphic modeling and petrochronology of metapelitic rocks from Luminárias Nappe, southern Brasília belt (SE Brazil). **Brazilian Journal of Geology**, v. 49, n. 2, 2019.

GARBRECHT, Jurgen; MARTZ, Lawrence W. Digital elevation model issues in water resources modeling. **Hydrologic and hydraulic modeling support with geographic information systems**, p. 1-28, 2000.

GOSWAMI, P. K.; PANT, S. Active bidirectional tectonic-tilting in a part of the Almora Klippe, Kumaun Lesser Himalaya, India: Insights from statistical analyses of geomorphic indices, **Quaternary International**, v. 523, p. 46-53, 2019, ISSN 1040-6182.

GRIFIO, A. M. **Aplicação de sensoriamento remoto e sistema de informação geográfica na determinação da vulnerabilidade natural e ambiental do município de Guamaré (RN): simulação de risco às atividades da indústria petrolífera**. 2003. Dissertação (mestrado em geodinâmica) – Programa de Pós Graduação em Geodinâmica e Geofísica da UFRN, 2003.

GROHMANN, C. H.; RICCOMINI, C. Análise digital de terreno e evolução de longo-termo de relevo do centro-leste brasileiro. **Revista do Instituto de Geociências – USP**. Geol. USP, Sér. cient., São Paulo, v. 12, n. 2, p. 12-150, 2012.

GUADAGNIN, P. M. A.; TRENTIN, R. Compartimentação geomorfométrica da bacia hidrográfica do Arroio Caverá - RS. **Geo UERJ**, [S. l.], v. 1, n. 25, p. 183–199, 2014. DOI: 10.12957/geouerj.2014.10030.

GUIMARÃES, F. S.; CORDEIRO, C. M.; BUENO, G. T.; CARVALHO, V. L. M.; NERO, M. A. Uma proposta para automatização do índice de dissecação do relevo. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 18, n. 1, 2017.

GUIRRA, A. P. M. **Novas contribuições ao modelo de fragilidade ambiental a processos erosivos: estudo de caso aplicado ao perímetro urbano de Rondonópolis, Mato Grosso**. 2017. 169 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Humanas e Sociais, Rondonópolis, 2017.

HACK, J. T. Interpretation of erosional topography in humid temperate regions. **American Journal of Science**, v. 258A, p. 80-97, 1960.

HACK, J. T. Studies of longitudinal stream profiles in Virginia and Maryland. U.S. **Geol Sur Prof Paper**, v.294, n.97, p.45-94, 1957.

HACK, John T. Interpretation eof erosional topography in humid temperate regiois. **American Journal of Science**, vol. 258-A, pp. 80-97 (tradução in Notícia Geomorfológica, 12 (24: 3-7) 1972.

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

HACKSPACHER, P. C. **Dinâmica do relevo**: quantificação de processos formadores. São Paulo: Editora Unesp, 2011. ISBN 9788539301973 Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/113674>>. Acesso em: 11 Dezembro 2022.

HARE P. W; GARDNER I. W. Geomorphic indicators of vertical neotectonism along converging plate margins. Nicoya Peninsula, Costa Rica. In: XV Annual Binghamton Geomorphology SIMP, 15, 1985, Boston. **Tectonic Geomorphology**. Boston: Allen and Unwin, 1985. p. 123-134.

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

HOBBS, W. H. Lineaments of the Atlantic border regions. **Geological Society of America Bulletin**, v.15, p.483-506, 1903.

HOBBS, W. H. **Earth features and their meaning**. McMillan, New York, p. 506, 1912.

HOBSON, R. D. Surface roughness in topography: quantitative approach. In: CHORLEY, R. J. **Spatial analysis in geomorphology**, 1st Ed. London: Routledge, 1972.

HORTON, R. E. Erosional Development of Streams and Their Drainage Basins: Hydrophysical Approach to Quantitative Morphology. **Geol. Soc. American Bulletin**, v. 56, n. 3, p. 275-370, 1945.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico de Geomorfologia** / IBGE, Coordenação de Recursos naturais e Estudos Ambientais. – 2. ed. - Rio de Janeiro : IBGE, 2009.

JASIEWICZ, J.; STEPINSKI, T. F. Geomorphons—A Pattern Recognition Approach to Classification and Mapping of Landforms. **Geomorphology**, 182, 147-156, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.11.005>

IBETSBERGER, H. J. The Tsergo Ri landslide: an uncommon area of high morphological activity in the Langthang valley, Nepal. **Tectonophysics**, v. 260, n. 1–3, p. 85-93, 1996.

JUNIOR, J. J.; ANDREOLI, C. V. Uso de dados climáticos e hidrológicos como subsídio na determinação do regime de fluxo de canais de drenagem. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 16, n. 1, p. 177-189, 2015.

KNIGHTON, A. D. Downstream variation in stream power. **Geomorphology**, v, 29, n. 3–4, p. 293-306, 1999.

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

KÖPPEN, W. Das geographische System der Klimate. In: KÖPPEN, W.; GEIGER, R. (Ed.). **Handbuch der klimatologie**. Berlin: Gebrüder Bornträger, 1936, p. 1-44.

LACERDA, S.; SOARES W.; GONÇALVES, L.; GONCALVES, C. C.; PINHEIRO M. A. P. Petrografia e geoquímica do granitoide Cupim: implicações de leucogranitos peraluminosos na porção setentrional do Cinturão Mineiro, sul do cráton São Francisco - Minas Gerais, Brasil. In: Toledo et al.. (Org.). Contribuições à Ciência e Técnica dos(as) Jovens Geólogos(as) Brasileiros(as). 1ed.: SBG - **Sociedade Brasileira de Geologia**, 2021, v. , p. 104-118.

LIMA, W.P.; ZAKIA M.J.B. Hidrologia de matas ciliares. In: RODRIGUES; R.R.; LEITÃO FILHO; H.F. (Ed.) **Matas ciliares: conservação e recuperação**. 2.ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2000. p.33-43.

LI, Z.; WANG, X.; YU, Y.; ZHANG, H.; SU, Q.; MIAO, X.; LU, H. The impacts of base level and lithology on fluvial geomorphic evolution at the tectonically active Laohu and Hasi Mountains, northeastern Tibetan Plateau. **Sci. China Earth Sci.** v. 64, p. 906–919, 2021.

LOLLO, J. A. **O uso da técnica de avaliação do terreno no processo de elaboração do mapeamento geotécnico: sistematização e aplicação na quadrícula de Campinas**. 1995. Tese (Doutorado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1995.

LOPES, Eduardo Larotonda Telezynski. **Análise geomorfométrica e seus significados na Serrania de Chiribiquete (Colômbia), principal divisor dos rios Amazonas e Orinoco**. Monografia (Trabalho de Formatura) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022.

LÓPEZ-RAMOS, A.; MEDRANO-BARBOZA, J. P.; MARTEUNEZ-ACOSTA, L.; ACUÑA, G. J.; LÓPEZ, J. F. R.; LÓPEZ-LAMBRANO, A. A. A Avaliação de Parâmetros Morfométricos como Base para Inferências Hidrológicas na Gestão de Recursos Hídricos: Um Estudo de Caso da Bacia do Rio na Colômbia. **Jornal Internacional de Informações geográficas (ISPRS)**, 2022, 11, 459, p. 1-24.

LOPES, F. A.; PIUZANA, D.; LEITE, V. A.; MILAGRES, A. R. Análise da influência litológica e estrutural a partir de métodos morfométricos em segmentos de drenagem na porção cimeira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha, MG. **Caminhos de Geografia**, v. 17, n. 58, p. 136-153, 2016.

LUO, W.; JASIEWICZ, J.; STEPINSKI, T.; WANG, J.; XU, C.; CANG, X. Spatial association between dissection density and environmental factors over the entire conterminous United States. **Geophysical Research Letters**, v. 43, n. 2, 2016.

MACHADO, R. A. S.; Lobão, J. S. B.; VALE, R. M. C.; SOUZA, A. P. M. J. Análise morfométrica de bacias hidrográficas como suporte a definição e elaboração de indicadores para a gestão ambiental a partir do uso de geotecnologias. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR, **Anais [...]**, Curitiba, PR, Brasil, INPE, p. 1441-1448.30, 2011.

MAHALA, A. A importância da análise morfométrica para entender as características hidrológicas e morfológicas em dois cenários morfoclimáticos diferentes. **Ciência Aplicada da Água**, 2019, p. 1-16.

MARQUES, K. P. P.; SANTOS, M.; PEIFER, D.; SILVA, C. L.; VIDAL-TORRADO, P. Transient and relict landforms in a lithologically heterogeneous post-orogenic landscape in the intertropical belt (Alto Paranaíba region, Brazil). **Geomorphology**, v. 391, 107892, 2021, ISSN 0169-555X.

MEDINA-CASCALES, I.; GARCÍA-TORTOSA, F. J.; MARTIN-ROJAS, I.; PÉREZ-PEÑA, J. V.; ALFARO, P. Tectonic geomorphology of an active slow-moving, intrabasinal fault: The Galera Fault (Guadix-Baza Basin, central Betic Cordillera, southern Spain), **Geomorphology**, v. 393, 107941, 2021, ISSN 0169-555X.

MELO, J. H. S.; MONTEIRO, K. A. Análise geomorfológica da bacia hidrográfica do rio Mundaú (PE/AL) a partir da aplicação de Índice de Hack e Índice de Sinuosidade de frente de escarpa. **Revista Contexto Geográfico**, v. 6, n. 11, p. 77-90, 2021.

MELTON, M.A. **An Analysis of the Relations among the Elements of Climate, Surface Properties and Geomorphology**. Nova York: Columbia University, Department of Geology. 69 p. 1957.

MONTEIRO, K. A.; TAVARES, B. A. C.; CORREA, A. C. B. Aplicação do índice de Hack no rio Ipojuca para identificação de setores anômalos de drenagem e rupturas de relevo. **Revista Geociências**, v. 33, n. 4, p. 616-628, 2014.

MORINAGA, Márcia Sayuri. **Análise morfotectônica e morfoestrutural no controle de erosões hídricas lineares na região de Marília (SP)**. 2014. 133 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2014.

MUÑOZ, V. A. Espacialização do índice relevo-elevação (E) na bacia do rio Itajaí a partir de MDE. In: XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. **Anais**. Foz do Iguaçu- PR, 2013, INPE.

NEELY, A. B.; BOOKHAGEN, B.; BURBANK, D. W. An automated knickzone selection algorithm (KZ-Picker) to analyze transient landscapes: Calibration and validation. **JGR: Earth Surface**, v. 122, n. F6, 2017.

NETO, M. C.; BASEI, M. A. S.; VLACH, S. R. F.; CABY, R.; SZABÓ, G. A. J.; VASCONCELOS, P. Migração de Orógenos e Superposição de Orogêneses: Um Esboço da Colagem Brasileira no Sul do Cráton do São Francisco, SE – Brasil. **Revista do Instituto de Geociências**, São Paulo, v. 4, n. 1, p. 13-40, 2004.

NETO, M. C. C.; CABY, R. Neoproterozoic high-pressure metamorphism and tectonic constraint from the nappe system south of the São Francisco Craton, southeast Brazil. **Precambrian Research**, v. 97, n. 1–2, p. 3-26, 1999, ISSN 0301-9268.

NEVES, S. P. Comparative geological evolution of the Borborema Province and São Francisco Craton (eastern Brazil): Decratonization and crustal reworking during West Gondwana assembly and implications for paleogeographic reconstructions. **Precambrian Research**, v. 355, 106119, 2021, ISSN 0301-9268.

NEVES, C. E. **Geossistema: a História de uma Pesquisa.** Trajetórias e Tendências no Estado de São Paulo. 191 f. (Dissertação de Mestrado em Geografia), Departamento de Geociências da Universidade Estadual de Londrina, Paraná, 2014.

O'CONNOR, J. E.; MANGANO, J. F.; ANDERSON, S. W.; WALLICK, J. R.; JONES, K. L.; KEITH, M. K. Geologic and physiographic controls on bed-material yield, transport, and channel morphology for alluvial and bedrock rivers, western Oregon. **GSA Bulletin**, v. 126, n. 3-4, p. 377–397, 2014.

O'LEARY, D. W.; FREIDMAN, J. D.; POHN, H. A. Lineament, linear, lineation: Some proposed new definitions for old terms. **Geological Society of America Bulletin**, v. 87, p.1463-1469, 1976.

PAIXÃO, M.A.; KOBAYAMA, M.; POLETO, C.; MAO, L.; ÁVILA, I. G.; TAKEBAYASHI, H.; FUJITA, M. Relationship between morphology and sediment transport in a canyon river channel, Southern Brazil. **Journal of Soils and Sediments**, 2023.

PEIFER, D.; CREMON, E. 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, 2020.

PELLETIER, J. D.; ENGELDER, T.; COMEAU, D.; HUDSON, A.; LECLERC, M.; YOUNBERG, A.; DINIEGA, S. 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, 2009.

PENCK, W. **Die morphologische analyse. Ein kapitel der physikalischen geologie.** J. Engelhorn's Nachf. Stuttgart, 283p. 1924.

PENCK, W. **Morphological Analysis of Landforms.** London: McMillan. 1953. 429p.

PENTEADO, M.M. **Fundamentos de Geomorfologia.** Rio de Janeiro: IBGE, 2ª ed., 1978.

PENTEADO-ORELHANA, M. M. Metodologia Integrada no Estudo do Meio Ambiente. **Geografia**, Rio Claro, v. 10, n.20, out. 1985. p. 125-148.

PEREIRA, M.F. **As Rochas Metamórficas e Plutônicas do Rio Almansor:** Um Património Geológico a Preservar. Imprensa da Universidade de Évora, 1-42, 2022. ISBN: 978-972-778-293-2

PEREIRA, B. .; MACIEL, M. de N. .; OLIVEIRA, F. .; FERREIRA, B. .; RIBEIRO, E. G. . Geotecnologias com apoio de índices morfométricos para a caracterização da bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi, nordeste paraense. **Enciclopedia Biosfera**, [S. l.], v. 11, n. 22, 2015.

PERRON, J.T.; ROYDEN, L. An integral approach to bedrock river profile analysis. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 38, n. 6, p. 570-576, 2013.

PILLAR, V.D. Clima e vegetação. **Clima**, UFRGS, Departamento de Botânica, 1995.

PISSARA, T.C.T.; POLITANO, W.; FERRAUDO, A.S. Avaliação de características morfométricas na relação solo-superfície da bacia hidrográfica do córrego Rico, Jaboticabal (SP). **Revista Brasileira Ciências do Solo**, Viçosa, n.28, p.297-305, 2004.

PSOMIADIS, E.; CHARIZOPOULOS, N.; SOULIS, K. X.; EFTHIMIOU, N. Investigating the correlation of tectonic and morphometric characteristics with the hydrological response in a Greek river catchment using earth observation and geospatial analysis techniques. **Geosciences**, v. 10, n. 9, p. 377, 2020.

RAWAT, A.; BANERJEE, S.; SUNDRIYAL, Y. Geomorphological and Statistical Assessment of Tilt-Block Tectonics in the Garhwal Synform: Implications for the Active Tectonics, Garhwal Lesser Himalaya, India. **Geosciences**, v. 11, n. 8, p. 345, 2021.

RAY, P. K.; MOHAN, K.; MISHRA, S.; AHMAD, A.; MISHRA, V. N. Uma abordagem baseada em SIG na análise morfométrica de drenagem da Bacia do Rio Kanhar, Índia. **Appl Water Sci**, n.7, p.217–232, 2014.

REIS, I. L. .; MARINHO, G. S. .; RIOS, G. da S. .; SANTANA, D. B. .; LENSE, G. H. E. .; MINCATO, R. L. .; RUBIRA, F. G. Morphometric parameters of the relief and drainage network of the Formiga River subbasin, Minas Gerais, Brazil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, [S. l.], v. 24, n. 2, 2023.

REZENDE, E. A.; CASTRO, P. T. A. Variação espacial e condicionantes do entalhamento fluvial na bacia do Rio Grande, sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, [S. l.], v. 17, n. 4, 2016.

RIBEIRO, A.; TROUW, R. A. J.; ANDREIS, R. R.; PACIULLO, F. V. P.; VALENÇA, J. G. Evolução das bacias proterozóicas e o termo-tectonismo brasileiro na margem sul do cráton do São Francisco. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 25, n. 4, p. 235-248, dezembro de 1995.

RIBEIRO, K. V.; ALBUQUERQUE, E. L. S. Compartimentação geomorfológica da bacia hidrográfica do rio Mulato (Piauí, Brasil). **Revista da Associação Nacional de Pós-graduação e Pesquisa em Geografia (Anpege)**, v.15, n.26, pag.67-88, 2019.

RIGHI, E.; TRENTIN, C. B.; TRENTIN, A. B. Análise geomorfológica sistêmica: aplicação em uma bacia hidrográfica. **Revista Geoaraguaia**, n. 11, p. 34-54, 2021.

ROBAINA, L. E. S.; TRENTIN, R.; LAURENT, F. Compartimentação do estado do Rio Grande do Sul, Brasil, através do uso de geomorphons obtidos em classificação topográfica automatizada. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, [S. l.], v. 17, n. 2, 2016. DOI: 10.20502/rbg.v17i2.857.

RODRIGUES, R.R.; FILHO; H. F. L. (Ed.) **Matas ciliares: conservação e recuperação**. 2.ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2001.

ROSS, J.L.S. O registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxonomia do relevo. **Revista do Departamento de Geografia**, n.6, p.17-30, 1992.

ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 8, p. 63-74, 1994.

ROYDEN, L.; PERRON, J.T. Solutions of the stream power equation and application to the evolution of river longitudinal profiles. **Journal of Geophysical Research: Earth Surface**, v.118, n. 2, p. 497-518, 2013.

SANTOS, D. A. R.; MORAIS, F. Análise morfométrica da bacia hidrográfica do rio Lago Verde como subsídio à compartimentação do relevo da região de Lagoa da Confusão – TO. **Revista Geonorte**, [S. l.], v. 3, n. 6, p. 617–629, 2012.

SAMPAIO, T. V. M.; AUGUSTIN, C. H. R. R. Índice de concentração da rugosidade: uma nova proposta metodológica para o mapeamento e quantificação da dissecação do relevo como subsídio a cartografia geomorfológica. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, [S. l.], v. 15, n. 1, 2014. DOI: 10.20502/rbg.v15i1.376.

SAMPAIO, T. V. M.; AUGUSTIN, C. H. R. R. Variáveis auxiliares para o mapeamento da rede de drenagem: correlação espacial entre nascentes, unidades de relevo e litotipos na bacia hidrográfica do rio Benevente-ES. **GEOUSP Espaço e Tempo (Online)**, v. 18, n. 3, p. 624-634, 2014.

SCHUMM S. A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. **Geol Soc Am, Bull** 67 p.597–646, 1956.

SCHWANGHART, W.; KUHN, N.J. TopoToolbox: a set of MATLAB functions for topographic analysis. **Environmental Modelling & Software**, 25, 770-781, 2010.

SCHWANGHART, W.; MOLKENTHIN, C.; SCHERLER, D. A systematic approach and software for the analysis of point patterns on river networks. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 46, n. 9, 2021. DOI: 10.1002/esp.5127

SCHWANGHART, W.; SCHERLER, D. Bumps in river profiles: the good, the bad, and the ugly. **Earth Surface Dynamics Discussions**, 2017. DOI: 10.5194/esurf-2017-50

SCHWANGHART, W.; SCHERLER, D. Divide mobility controls knickpoint migration on the Roan Plateau (Colorado, USA). **Geology**, v. 48, n. 7, p. 698–702, 2020.

SCHWANGHART, W.; SCHERLER, D. Short Communication: TopoToolbox 2 – MATLAB-based software for topographic analysis and modeling in Earth surface sciences. **Earth Surf. Dynam.**, 2, 1–7, <https://doi.org/10.5194/esurf-2-1-2014>, 2014.

SEAGREN, E. G.; SCHOENBOHM, L. M.; OWEN, L. A.; FIGUEIREDO, P. M.; HAMMER, S. J.; RIMANDO, J. M.; WANG, Y.; BOHON, W. Lithology, topography, and spatial variability of vegetation moderate fluvial erosion in the south-central Andes. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 551, 116555, 2020, ISSN 0012-821X.

SEEBER, L.; GORNITZ, V. River profiles along the Himalayan arc as indicators of active tectonics. **Tectonophysics**, 92, 335-467, 1983.

SEHNEM, M.; RODRIGUES, G. P.; CAMARGO, G. I. L.; CORSEUIL, C. W.; D'AQUINO, C. A. Análise da morfometria de bacias hidrográficas sujeitas a inundações na região sul de Santa Catarina–Brasil. XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Brasília. **Anais [...]**, p. 1-8, 2015.

SILVA, R. C. **Análises morfométricas e hidrológicas das bacias hidrográficas do Córrego Teixeiras, Ribeirão das Rosas e Ribeirão Yung, afluentes do Rio Paraibuna, município de Juiz de Fora/MG**. Monografia (Especialização). Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora, 2011.

SILVA, T. M.; PAES, T. V. Parâmetros morfométricos aplicados a análise tectonoerosiva em bacias de drenagem. **Geo UERJ**, n. 33, p. 37684, 2018.

SIQUEIRA, H. E.; TIBERY, L. R.; GUIDOLINI, J. F.; JUNIOR, R. F. V.; RODRIGUES V. A. Análise morfométrica e definição do potencial de uso do solo da microbacia do rio Veríssimo, Veríssimo - MG. **Enciclopédia Biosfera**, v. 8, n. 15, p. 2236-2248, 2012.

SOTCHAVA, V. B. Definition de Quelques Notions et Termes de Géographie Physique. **Institute de Geographie de la Sibirie et Extrem Orient**. 3: 94-177, 1962.

SOTCHAVA, V. B. O Estudo de Geossistemas. **Métodos em Questão**. São Paulo. n. 16, p. 1-52, 1977.

SOTCHAVA, V. B. **Por uma teoria de classificação de geossistemas da vida terrestre**. São Paulo: Instituto de Geografia, USP, 1978.

SOUSA, J.P.; MARTINS, A.; GOMES, A. Knickpoints do Rio Paiva e variação do KSN no seu perfil longitudinal. In: 8 Congresso Nacional de Geomorfologia. Faculdade de Letras da Universidade do Porto. **Livro de Atas**, pag. 199-202, 2017. ISBN: 978-989-96462-7-8

SOUZA, R. A.; SILVA, S. E. L; PINTO, R. W. P.; FREITAS, M. M. A ocorrência dos knickpoints e sua relação com a lito-estrutura do substrato geológico na evolução da rede de drenagem no médio vale do Paraíba do Sul. In: XVII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada: Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento, **E-book**, v. 1, p. 6470-6475, 2017.

SPEIDEL, D. H.; RUEDISILI, L. C.; AGNEW, A. F. **Perspectives on water: uses and abuses**. New York: Oxford University Press, 1988. 388 p.

SPRÖL, C.; ROSS, J. L. S. Análise Comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos. **GEOUSP Espaço e Tempo** (Online), [S. l.], v. 8, n. 1, p. 39-49, 2004. DOI. 10.11606/issn.2179-0892.geousp.2004.123868.

STRAHLER, A. N. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosion al topography. **Geological Society of America Bulletin**, v. 63, n. 11, p. 1117-1142, 1952.

TEIXEIRA, T. M. de A.; OLIVEIRA, V. P. V. de; TEIXEIRA, A. C. de O. Fragilidade Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio São João de Tiba, Extremo Sul da Bahia. **Revista Brasileira de Geografia Física**, n 14, p. 1941-1956, 2021.

TEODORO, V; L.; TEIXEIRA, D.; COSTA, D. J. L.; FULLER, B. B. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista Brasileira Multidisciplinar**, v. 11, n. 1, p. 137-156, 2007.

TIZ, G. J.; CUNHA, J. E. Causas e efeitos da erosão hídrica em solos da cidade de Marechal Cândido Rondon-PR. **Perspectiva Geográfica**, v. 10, n. 12, 2000.

TRENTIN, R.; ROBAINA, L. E. S.; SANTOS, L. J. C. Mapeamento geomorfológico da bacia hidrográfica do Rio Itu, oeste do Rio Grande do Sul, Brasil. **Pesquisas em Geociências**, [S. l.], v. 36, n. 1, p. 95–105, 2009.

TUCCI, C. E. M. Controle de Enchentes. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre, RS: ABRH-Edusp, 1993. cap. 4.

TUNDISI, J. G. Ciclo hidrológico e gerenciamento integrado. **Ciência e cultura**, vol.55 n°.4, p.31-33, São Paulo Oct./Dec. 2003.

VARGAS, K.B; SORDI, M.V. Integral hipsométrica aplicada a bacias hidrográficas em áreas de borda planáltica no centro norte paranaense. In: XI Simpósio Nacional de Geomorfologia (SINAGEO). **Anais**. Maringá- PR, 2016.

VENDITTI, J. G.; LI, T.; DEAL, E.; DINGLE, E.; CHURCH, M. Struggles with stream power: Connecting theory across scales. **Geomorphology**, v. 366, p. 106817, 2020, ISSN 0169-555X.

VESTENA, L. R.; KOBIYAMA, M. A geometria fractal da rede de drenagem da bacia hidrográfica do Caeté, Alfredo Wagner-SC. **Revista Árvore**, v. 34, p. 661-668, 2010.

VIEIRA, Júlia Stefane da Silva. **Análise morfoestrutural e geomorfométrica no escarpamento da margem passiva do Nordeste oriental do Brasil**. 2023. 100 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2023.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245p.

WAIKAR, M. L.; NILAWAR, A. P.; Análise Morfométrica de uma Bacia Hidrográfica Utilizando Sistema de Informação Geográfica: Um Estudo de Caso. **Revista Internacional de Pesquisa Multidisciplinar e Atual**, v. 2, p. 179-184, 2014. ISSN: 2321-3124

WILLETT, S.D.; MCCOY, S.W.; PERRON, J.T.; GOREN, L.; CHEN, C.Y. Dynamic reorganization of river basins. **Science**, v. 343, n. 6175, p. 1248765, 2014.

WHIPPLE, K. X., A. M. FORTE, R. A. DIBIASE, N. M. GASPARINI, W. B. OUIMET. Timescales of landscape response to divide migration and drainage capture: Implications for

the role of divide mobility in landscape evolution, **Journal of Geophys. Res: Earth Surface**, 10, 1002, 2016.

WHITTAKER, A. C.; BOULTON, S. J. Tectonic and climatic controls on knickpoint retreat rates and landscape response times. **JGR: Earth Surface**, v. 117, n. 2, 2012.

WOBUS, C. W.; CROSBY, B. T.; WHIPPLE, K. X. Hanging valleys in fluvial systems: Controls on occurrence and implications for landscape Evolution. **JGR: Earth Surface**, v. 111, n. F2, 2006.