



## Estudo da matriz do índice de dissecação do relevo (IDR) e aplicação no município de Caldas - MG

Marcelo Silva Vieira <sup>1</sup>  

Thomaz Alvisi de Oliveira <sup>2</sup>  

### Destaques

- Correções em modelos digitais do terreno para extração de dados morfométricos.
- Adaptação e flexibilização da matriz de dissecação do relevo para qualificação de resultados.
- Composição de matriz de dissecação específica conforme características de uma área.
- Suporte à cartografia geomorfológica de terrenos inseridos no Sul do Estado de Minas Gerais - BR.

**Resumo:** O Índice de Dissecação do Relevo (IDR) desempenha um papel importante em estudos geoambientais, fornecendo informações sobre o desgaste das superfícies e contribuindo para a compreensão da dinâmica das paisagens na formulação de estratégias de planejamento ambiental. Este estudo tem como objetivo comparar a aplicação das matrizes de dissecação do relevo propostas por Ross (1992, 1994, 2006), Nunes *et al.* (1994) e Guimarães *et al.* (2017) com uma matriz adaptada, tendo como área de estudo o município de Caldas-MG, na escala 1:100.000. O método incluiu correções nos modelos digitais de elevação, extração de dados morfométricos e aplicação das matrizes de dissecação, seguidas de calibração e ajustes para a composição de uma matriz específica. Os resultados indicam que as matrizes existentes, quando aplicadas em áreas ou escalas diferentes das originais, tendem a generalizar as classes de dissecação. Em contraste, a matriz adaptada apresentou maior precisão, destacando a importância de ajustes metodológicos para representar com maior fidelidade as características do relevo das áreas analisadas.

**Palavras-chave:** Índice de Dissecação do Relevo; adaptação de método; dinâmica de superfície; morfometria; geomorfologia.

<sup>1</sup> Mestre em Geografia pelo Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL).

<sup>2</sup> Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais - IFSULDEMINAS, Poços de Caldas e do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Alfenas (PPGEO/UNIFAL).



## STUDY OF THE RELIEF DISSECTION INDEX (IDR) MATRIX AND ITS APPLICATION IN THE MUNICIPALITY OF CALDAS-MG

**Abstract:** The Relief Dissection Index (IDR) plays an important role in geo-environmental studies, providing information about surface erosion and contributing to the understanding of landscape dynamics in the formulation of environmental planning strategies. This study aims to compare the application of the relief dissection matrices proposed by Ross (1992, 1994, 2006), Nunes *et al.* (1994), and Guimarães *et al.* (2017) with an adapted matrix, using the municipality of Caldas-MG as the study area, at a 1:100,000 scale. The method included corrections to digital elevation models, extraction of morphometric data, and application of the dissection matrices, followed by calibration and adjustments to compose a specific matrix. The results indicate that the existing matrices, when applied to areas or scales different from the original ones, tend to generalise the dissection classes. In contrast, the adapted matrix showed greater accuracy, highlighting the importance of methodological adjustments to more faithfully represent the relief characteristics of the analysed areas.

**Keywords:** Relief Dissection Index; methods adaptation; surface dynamics; morphometry; geomorphology.

## ESTUDIO DE LA MATRIZ DEL ÍNDICE DE DISECCIÓN DEL RELIEVE (IDR) Y APLICACIÓN EN EL MUNICIPIO DE CALDAS-MG

**Resumen:** El Índice de Disección del Relieve (IDR) desempeña un papel importante en los estudios geoambientales, proporcionando información sobre el desgaste de las superficies y contribuyendo a la comprensión de la dinámica de los paisajes en la formulación de estrategias de planificación ambiental. Este estudio tiene como objetivo comparar la aplicación de las matrices de disección del relieve propuestas por Ross (1992, 1994, 2006), Nunes *et al.* (1994) y Guimarães *et al.* (2017) con una matriz adaptada, tomando como área de estudio el municipio de Caldas-MG, a escala 1:100.000. El método incluyó correcciones en los modelos digitales de elevación, extracción de datos morfométricos y aplicación de las matrices de disección, seguidas de calibración y ajustes para la composición de una matriz específica. Los resultados indican que las matrices existentes, cuando se aplican en áreas o escalas diferentes a las originales, tienden a generalizar las clases de disección. En contraste, la matriz adaptada mostró una mayor precisión, destacando la importancia de los ajustes metodológicos para representar con mayor fidelidad las características del relieve de las áreas analizadas.

**Palabras clave:** Índice de Disección del Relieve; adaptación de método; dinámica de superficie; morfometría; geomorfología.

## INTRODUÇÃO

O índice de dissecação do relevo (IDR) é um recurso geomorfométrico fundamental nos estudos geoambientais, uma vez que desempenha papel importante na compreensão e análise da dinâmica do relevo terrestre. Tal como apresentado nos trabalhos de Ross (1992, 1994, 2006), Nunes *et al.* (1994) e Guimarães *et al.* (2017), esta métrica fornece informações valiosas sobre a

intensidade do desgaste e da erosão das paisagens, bem como sobre os processos geodinâmicos que atuam sobre a superfície terrestre.

A importância da aplicação do índice de dissecação do relevo é multifacetada e pode contribuir para que se alcance uma vasta gama de objetivos e finalidades na pesquisa geográfica e geomorfológica, permitindo a identificação de padrões e tendências no desenvolvimento do relevo. Isso é crucial para a compreensão da evolução das paisagens e a predição de mudanças futuras.

No contexto dos estudos geomorfológicos no Brasil, a aplicação do IDR tem um papel significativo na compreensão das características do relevo, na avaliação de riscos naturais e na formulação de estratégias de planejamento ambiental. O projeto RADAM, realizado a partir da década de 1970, foi um dos precursores na utilização do IDR como procedimento metodológico visando agregar maior acurácia aos resultados, influenciando diversos estudos desenvolvidos no Brasil desde então (Barbosa *et al.*, 1984).

Segundo Ross (1992, 1994, 2006), a obtenção do IDR necessita da definição de parâmetros interpretativos dos dados morfométricos permitindo a integração das informações referentes ao grau de entalhamento e a dimensão interfluvial média, ou seja, uma Matriz de Dissecação do Relevo.

Ross (1992, 1994, 2006) elaborou uma proposta pautando-se no conceito de Walther Penck (1953) em que as formas de relevo são produtos resultantes de forças endógenas e exógenas, manifestadas em processos ativos ligados à dinâmica da crosta terrestre, e passivos, referentes à resistência erosiva promovida pela associação da estrutura litológica e de seu arranjo estrutural; nos conceitos de morfoestrutura e morfoescultura formulados por Guerasimov (1946) e de Mecerjakov (1968); e na experiência em cartografia geomorfológica para escalas médias e pequenas a partir de imagens de radar e de satélite obtida durante os trabalhos desenvolvidos no projeto RADAMBRASIL. O fluxo metodológico formulado por Ross (1992, 1994, 2006) para a obtenção do IDR, implica no mapeamento de duas variáveis, o grau de entalhamento do vale (Dissecação Vertical – DV) e a dimensão interfluvial média (Dissecação Horizontal – DH) que são classificados a partir de uma matriz, cuja aplicação está orientada na abordagem em escalas médias e pequenas, para a integração dos

valores em dois eixos inversamente proporcionais indicando o grau de dissecação do relevo.

Ao propor a matriz, Ross (1992, 1994, 2006) preocupou-se em subsidiar tecnicamente trabalhos de mapeamento geomorfológico cuja base esteja alicerçada na compreensão do relevo interrelacionado com os demais componentes naturais de forma a atender demandas ligadas ao planejamento socioeconômico e ambiental. Pode-se exemplificar sua aplicação através dos trabalhos realizados por Ross e Moroz (1996), resultando no Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo, por Crepani *et al.* (2001) acerca dos estudos de fragilidade ambiental e por outros que se interessaram no estudo e aplicação do IDR em diferentes regiões (Spörl, 2001; Raffaelli e Werlang, 2002; Devicari, 2009; Bortolini *et al.*, 2018; Gouveia e Ross, 2023).

Nunes *et al.* (1994) pautaram a elaboração de uma matriz a partir da metodologia empregada no mapeamento geomorfológico sistemático realizado pelo projeto RADAMBRASIL em que o IDR é obtido com a medição e tratamento estatístico seguido da combinação dos valores obtidos referentes a densidade da drenagem e do aprofundamento das incisões. Nunes *et al.* (1994) propuseram a execução metodológica dividida em quatro etapas que envolvem o levantamento dos dados e a caracterização morfométrica das fácies de dissecação, a medição da densidade da drenagem (DH), a medição do aprofundamento das incisões fluviais (DV) e a classificação dos modelados conforme uma matriz definida a partir da média de frequência amostral dos valores obtidos com as medições, de modo crescente e em pares recíprocos de cinco classes.

A matriz proposta por Nunes *et al.* (1994) visou amparar os estudos e mapeamentos com vistas ao planejamento e vem sendo utilizada em diversos trabalhos, a exemplo do IBGE (2009), Paiva (2018), Paiva e Marques Neto (2021).

A matriz proposta por Guimarães *et al.* (2017) baseou-se na proposta de Ross (1992, 1994, 2006), mantendo os valores dos intervalos da dimensão interfluvial média (DH) e do grau de entalhamento (DV), no entanto, apresentaram uma metodologia de automatização do processo de obtenção do IDR com adaptações no que diz respeito às combinações dos intervalos.

Guimarães *et al.* (2017) buscaram avançar sobre dois aspectos, o primeiro, relacionado à utilização de novos recursos tecnológicos em substituição ao mapeamento analógico como forma de dar-lhe celeridade, reduzir erros e subjetividades interpretativas e, o segundo, à adaptação da matriz de forma a condizer com as particularidades da área de estudo.

Ross (1992, 1994, 2006), Nunes *et al.* (1994) e Guimarães *et al.* (2017) desenvolveram matrizes para calcular o IDR visando pautas temáticas e escalas específicas. No entanto, replicar essas propostas em outras áreas sem que haja um ajuste refinado da matriz de dissecação pode gerar resultados limitados ou distorcidos devido às características morfométricas específicas presentes na superfície. Um dos desafios aos pesquisadores que investigam processos denudacionais no contexto geomorfológico brasileiro, que apresenta variações morfométricas consideráveis devido à extensão territorial do país, é o de replicar pressupostos metodológicos já consolidados de forma a aproximar-se o máximo possível de resultados que expressem coerência e aderência à realidade e especificidade das áreas de estudo. Ultrapassar essa dificuldade, pressupõe a flexibilização e adaptação dos parâmetros utilizados visando a obtenção de resultados mais precisos e condizentes às suas características locais.

A adaptação da matriz se faz necessária principalmente para estudos que almejam compreender a dinâmica das paisagens no âmbito das regiões tropicais úmidas. O IDR é importante, por exemplo, para a condução de estudos voltados ao planejamento das paisagens tendo como documento orientador um mapa de geossistemas, figurando como uma variável que considera não apenas a morfologia superficial, mas também as características específicas da área em análise (Cavalcanti, 2013, 2010; Marques Neto *et al.*, 2014; Marques Neto, Zaidan e Menon Jr., 2015; Marques Neto, 2019, 2016; Marques, 2016; Oliveira, 2016; Stevens, 2014). As dissecações horizontal e vertical incorporadas neste índice proporcionam uma representação mais fiel da dinâmica de desgaste do relevo, permitindo a identificação de padrões espaciais e a delimitação precisa das unidades de paisagem.

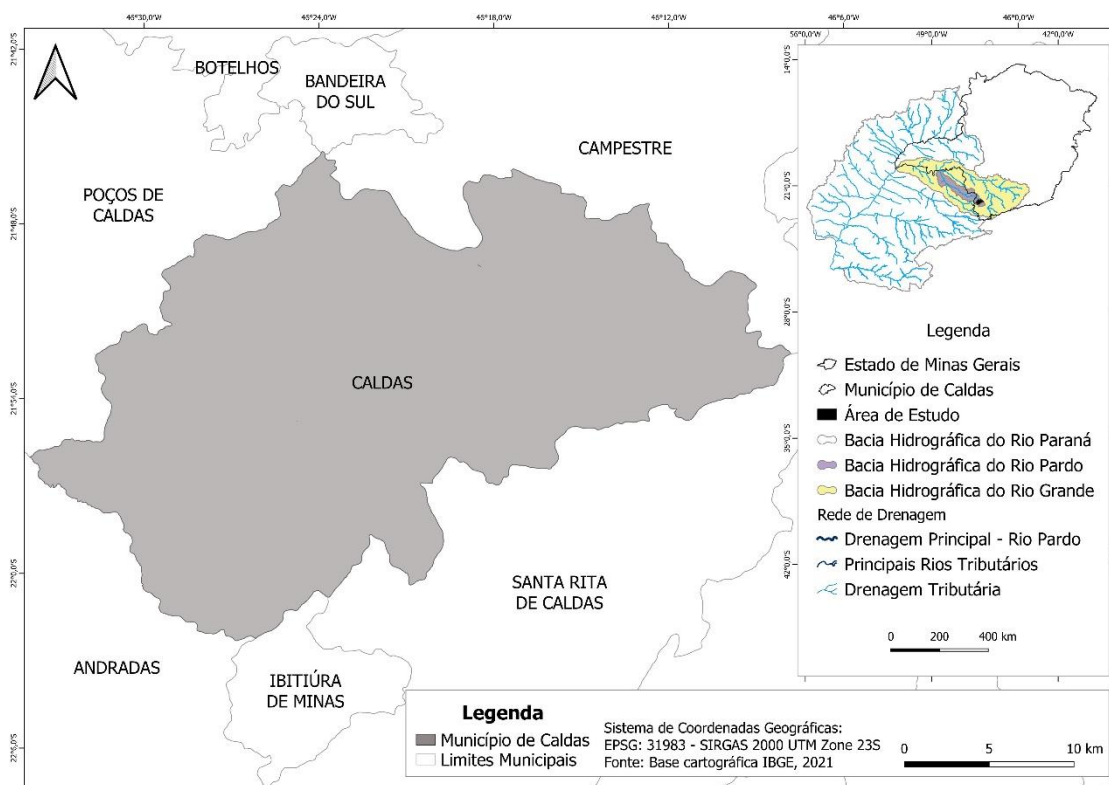
Sob esta ótica, este trabalho tem como objetivo apresentar um comparativo da aplicação das matrizes de dissecação do relevo propostas pelos

autores anteriormente citados para o município de Caldas (MG), bem como apresentar uma proposta de adaptação de uma matriz para obtenção de resultados mais precisos quanto à dissecação do relevo para a mesma área, na escala 1:100.000.

## ÁREA DE ESTUDO

O município de Caldas, está localizado na Mesorregião do Sul/Sudoeste de Minas Gerais, na microrregião de Poços de Caldas (IBGE, 2021). Tem seus limites junto aos municípios de Poços de Caldas, Campestre, Bandeira do Sul, Santa Rita de Caldas, Ibityura de Minas e Andradas. Seus terrenos são drenados por canais pertencentes à bacia do rio Grande, afluente direto do grande sistema hidrográfico do rio Paraná, conforme disposto na figura 1.

**Figura 1** - Localização da área de estudo.



Fonte: Os autores (2024).

A área, apresenta um clima do tipo Temperado Quente - Cwa, segundo a classificação de Köppen, caracterizado por precipitação intensificada e temperaturas elevadas no verão, enquanto o inverno é a estação mais fria e seca (Ayoade, 2003).

As coberturas florestais nativas que se apresentam são a Floresta Estacional Semidecidual, a Floresta Ombrófila Mista e encraves de Cerrado, sendo todas, coberturas manifestadas em fragmentos remanescentes (IBGE, 2018, 2019).

No contexto geológico, o município de Caldas está situado na porção Sul do Orógeno Brasília, próximo ao contato com o Orógeno Ribeira, conforme descrito por Thedeschi, Vieira e Nomo (2015). As faixas Brasília e Ribeira representam orógenos formados em períodos distintos durante a consolidação da Gondwana, resultando num sistema de nappes de cavalgamento, denominado Faixa Brasília Meridional (*idem, ibidem*). A área de estudo se encontra sobre a estrutura da nappe Socorro – Guaxupé, dentro da zona de interferência onde ocorrem sobreposições das formações dos orógenos supracitados. Neste contexto, estão presentes rochas alcalinas cretáceas, gnaisses, granitoides, sienitos, charnockitos e mangueritos neoproterozoicos, além de sedimentos cenozoicos.

No âmbito geomorfológico, Caldas está situado no Domínio Morfoestrutural dos Cinturões Móveis Neoproterozóicos do Sudeste/Sul, conforme o Mapeamento de Recursos Naturais do IBGE (2018). Esta área é caracterizada por planaltos, alinhamentos serranos e depressões interplanálticas em terrenos dobrados e falhados. Segundo os estudos realizados por Cavalcante (1979), parte do município integra o Planalto de Poços de Caldas e o Planalto de São Pedro de Caldas, cuja configuração inclui modelados de dissecação homogênea nas porções Norte, Leste e Sudeste, dissecação estrutural na porção Centro-Oeste e acumulação na porção Sudeste. Destaca-se a presença de um anel de cristas de topos aguçados com altitudes acima de 1600 m nas porções Centro-Oeste e Sul, morros de vertentes suaves na porção Oeste com altitudes em torno de 1300 m, e variedade de formas nas porções Norte, Leste e Sudeste, incluindo encostas serranas, morros alongados, colinas, morrotes, rampas de colúvio,

espigões, planícies e terraços fluviais, com altitudes que atingem valores superiores a 1600 m, conforme apontado por Cavalcante (1979) e Christofolletti (1973). Quanto a declividade, conforme os pressupostos de Franco *et al.* (2012), predominam áreas de relevo ondulado a forte ondulado com declividades entre 8 a 45% nas porções Oeste e Leste e áreas de relevo montanhoso com declividades entre 45% e 75% mais expressivos nas porções Norte, Nordeste e Centro-Oeste.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

Os procedimentos para a extração dos dados morfométricos relativos à Dissecação Horizontal e à Dissecação Vertical foram conduzidos de acordo com as orientações estabelecidas por Guimarães *et al.* (2017) a partir de um modelo digital de elevação MDE-SRTM. A fonte das imagens utilizadas foi o Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil (Valeriano, 2011), o qual obteve-se o acesso ao MDE que abrange a zona geográfica correspondente ao município de Caldas, englobando as folhas 21S465 e 22S465, com uma resolução espacial de 30x30 metros. A execução da metodologia proposta por Guimarães *et al.* (2017) foi adaptada para se adequar aos recursos disponíveis no software QGIS.

Assim, para o tratamento e preparação do MDE, foi estabelecido o recorte espacial com a aplicação de um *buffer* equivalente a 3 km. Este procedimento objetivou garantir o processamento e a integridade dos cálculos que utilizam os dados contidos nos pixels referentes aos limites das bacias hidrográficas que extrapolam os limites territoriais do município de Caldas.

Em seguida, foi realizada uma correção em possíveis falhas (depressões) nos pixels do arquivo MDE que possam ter ocorrido durante a aquisição do modelo pelo sensor orbital, de forma a evitar distorções nos dados utilizados em todas as etapas posteriores. Para essa correção, foi empregada a aplicação da ferramenta de tratamento raster “*r.fill.dir (Fill)*”, definida a partir do parâmetro “sem depressões”.

A elaboração do mapa de declividades envolveu a utilização da ferramenta Declividade do software QGIS. Inicialmente, procedeu-se à geração da escala de declividade, seguida da aplicação da ferramenta de reclassificação de mapas raster, “*r.reclass*”, sobre o arquivo do Modelo Digital de Elevação (MDE). Para



esse processo, seguimos as diretrizes propostas por Franco *et al.* (2012), parametrizando seis classes de declividade cuja amplitude clinográfica foi estabelecida com variações de 5%, 12%, 25% e 30% entre as classes de relevo menos declivosa à mais declivosa visando obter maior acurácia na representação das características específicas do relevo do município de Caldas. Durante a parametrização, foram configuradas as propriedades de simbologia, onde se estabeleceu uma nomenclatura específica e um padrão de cores que melhor representasse as diferentes classes de declividade.

Os dados altimétricos foram obtidos a partir de imagens do tipo SRTM compilados no arquivo Modelo Digital de Elevação (MDE) da área mapeada, e tratados no software QGIS para a realização da conversão de imagem em mapa hipsométrico. Essa etapa consistiu em efetuar a execução da ferramenta de reclassificar mapas raster categóricos “*r.reclass*”. Foi realizada a parametrização das classes altimétricas a partir da menor altitude contida no arquivo raster especificando-se classes adequadas ao estudo e executadas as configurações nas propriedades de simbologia, definindo-se nomenclatura e padrão de cores para representação do mapa hipsométrico

A obtenção dos valores referentes à Dissecação Vertical procedeu-se com a inversão dos valores contidos no MDE, visando a inversão da topografia da área representada, o que foi realizado com o auxílio da ferramenta Calculadora raster, aplicando-se a fórmula (1):

$$MDE * -1 \quad (1)$$

Realizada a inversão, foram identificadas e extraídas as direções de fluxos no MDE através da aplicação da ferramenta de tratamento raster “*r.fill.dir (Fill)*” e realizada a correção de preenchimento de pixels sem dados aplicando-se a ferramenta “GDAL” com o parâmetro “preencher sem dados”, atribuindo-lhes valores médios calculados a partir dos valores dos pixels vizinhos.

Após a etapa anterior, foram obtidas as dimensões das bacias hidrográficas presentes no município com o emprego da ferramenta de extração “*r.watershed*”, com parâmetros para “*half-basins*” de extensão mínima de 300 metros. O

arquivo resultante foi vetorizado automaticamente com a aplicação da ferramenta de tratamento raster “Poligonizar Raster para Vetor”, recebendo a denominação de "Half\_Basins."

As informações altimétricas do MDE corrigido foram atribuídas ao vetor "Half\_Basins" por meio da ferramenta “Estatísticas zonais” em sua tabela de atributos e, em específico, criou-se o campo "\_range," o qual, calculado automaticamente pela ferramenta, extraiu as informações referentes à amplitude do relevo correspondentes à Dissecação Vertical. As demais informações da tabela de atributos ampararam os cálculos posteriores a fim de obter-se a Dissecação Horizontal.

Os cálculos realizados a partir dos dados contidos na tabela de atributos do vetor "Half\_Basins" foram efetuados com a utilização da ferramenta “calculadora de campo”. Seguindo as orientações indicadas por Christofolleti (1970, 1974) para a obtenção dos valores de Dissecação Horizontal correspondendo à largura média da bacia, procedeu-se à extração dos valores da geometria dos interflúvios, criando-se os campos "Área" e "Perímetro" na tabela de atributos e atribuindo-lhes os valores resultantes dos cálculos na Calculadora de campo através das funções  $\$area$  e  $\$perimeter$ .

Com vistas à obtenção dos valores referentes ao comprimento das bacias contidas no vetor, criou-se o campo "CompBac" na tabela de atributos e atribuiu-se a ele os valores resultantes da fórmula (2):

$$CB = \frac{Pr}{2} \quad (2)$$

Onde:

CB = Comprimento da bacia

Pr = Perímetro da bacia

Os valores relativos à largura média das bacias, correspondentes à Dissecação Horizontal, foram obtidos com a criação do campo "LargMedB," atribuindo-se a ele os valores resultantes da fórmula (3):

$$LMB = \frac{Ar}{CB} \quad (3)$$

Onde:

LMB = Largura média da bacia

Ar = Área da bacia

CB = Comprimento da bacia

Após a realização dos procedimentos acima, foram criados os campos "DV" (Dissecação Vertical) e "DH" (Dissecação Horizontal) na tabela de atributos do vetor "Half\_Basin" atribuindo-se a correspondência dos valores contidos nos campos "\_range" e "LargMedB".

Os dados utilizados no cálculo da extração da Dissecação Vertical e da Dissecação Horizontal podem ser observados no recorte amostral da tabela 1.

**Tabela 1** - Recorte amostral dos valores extraídos do MDE

Nº da amostra (pixel)	Amplitude altimétrica (metros)	Área (m <sup>2</sup> )	Perímetro (metros)	Comp. da bacia (metros)	Largura média da bacia (metros)	DV (metros)	DH (metros)
778	52,00	170459	2465	1233	138	52	138
706	170,00	325385	4225	2113	154	170	154
2026	83,00	1418095	5986	2993	474	83	474
771	122,00	2107443	10915	5458	386	122	386
710	203,00	1092375	5809	2905	376	203	376
1222	292,00	3137702	11971	5986	524	292	524
776	122,00	410648	4225	2113	194	122	194
626	53,00	1495076	8273	4137	361	53	361
700	184,00	1836079	11090	5545	331	184	331
670	57,00	805668	4753	2377	339	57	339
1049	165,00	2061088	12324	6162	334	165	334
648	71,00	247895	2993	1497	166	71	166
1219	233,00	557821	4577	2289	244	233	244
1038	161,00	883295	7922	3961	223	161	223
1047	121,00	263445	4225	2113	125	121	125

Fonte: Os autores (2024).

A etapa de reclassificação teve como objetivo a transformação dos valores associados aos campos "DV" (Dissecação Vertical) e "DH" (Dissecação Horizontal) presentes na tabela de atributos do vetor "Half\_Basin". Esses campos inicialmente representavam variáveis contínuas e foram posteriormente convertidos em categorias específicas em conformidade com as propostas de Ross

(1992, 1994, 2006), Nunes *et al.* (1994) e Guimarães *et al.* (2017) para fins de comparação.

A partir das propostas já citadas, foi elaborada uma matriz que pudesse representar de forma mais próxima a realidade das características de entalhamento do relevo inerentes à área de estudo. De maneira distinta das propostas anteriores, sua elaboração buscou a flexibilização dos intervalos referentes a dimensão interfluvial média e do grau de entalhamento dos vales, bem como flexibilizou a combinação de classificação dos intervalos, pautando-se em ajustes não somente na classificação dos valores contidos na Matriz de Dissecação do Relevo, mas também em ajustes nas amplitudes dos intervalos referentes à Dissecação Horizontal e à Dissecação Vertical que podem ser observados nos perfis das formas de relevo contidos na figura 2.

**Figura 2** - Matriz para cálculo dos índices de dissecação do relevo proposta para o município de Caldas-MG

Grau de Entalhamento dos Vales	Dimensão Interfluvial Média				
	Muito Pequena (5)	Pequena (4)	Média (3)	Grande (2)	Muito Grande (1)
	<= 300m	300m † 400m	400m † 500m	500m † 600m	> 600m
(1) Muito Fraco < 50m	15	14	13	12	11
(2) Fraco 50m † 100m	25	24	23	22	21
(3) Médio 100m † 200m	35	34	33	32	31
(4) Forte 200m † 400m	45	44	43	42	41
(5) Muito Forte > 400m	55	54	53	52	51

Fonte: Os autores (2024).

Esse procedimento foi adotado com o objetivo de abranger todas as classes, desde as áreas com relevos mais movimentados até aquelas com superfícies mais suaves e planas, em consonância com os valores da dimensão interfluvial e grau de entalhamento específicos da área de estudo.

Os intervalos propostos foram determinados em proporcionalidade a partir dos valores máximos e mínimos encontrados na amplitude altimétrica e na dimensão interfluvial, os quais foram obtidos por meio dos cálculos morfométricos aplicados à área de estudo e detalhados nas etapas anteriores.

Dessa forma, buscou-se assegurar uma representação abrangente e coerente, englobando a diversidade de características morfométricas presentes na região.

Com base nos valores previamente reclassificados em conformidade com cada proposta, o cálculo do Índice de Dissecação do Relevo foi concebido pela combinação dos dados relacionados à Dissecação Horizontal e à Dissecação Vertical. Esse procedimento foi executado utilizando-se a ferramenta “Calculadora de campo” aplicando-se a fórmula (4):

$$IDR = DV + DH \quad (4)$$

Em que:

IDR = Índice de Dissecação do Relevo

DV = Dissecação Vertical (em metros)

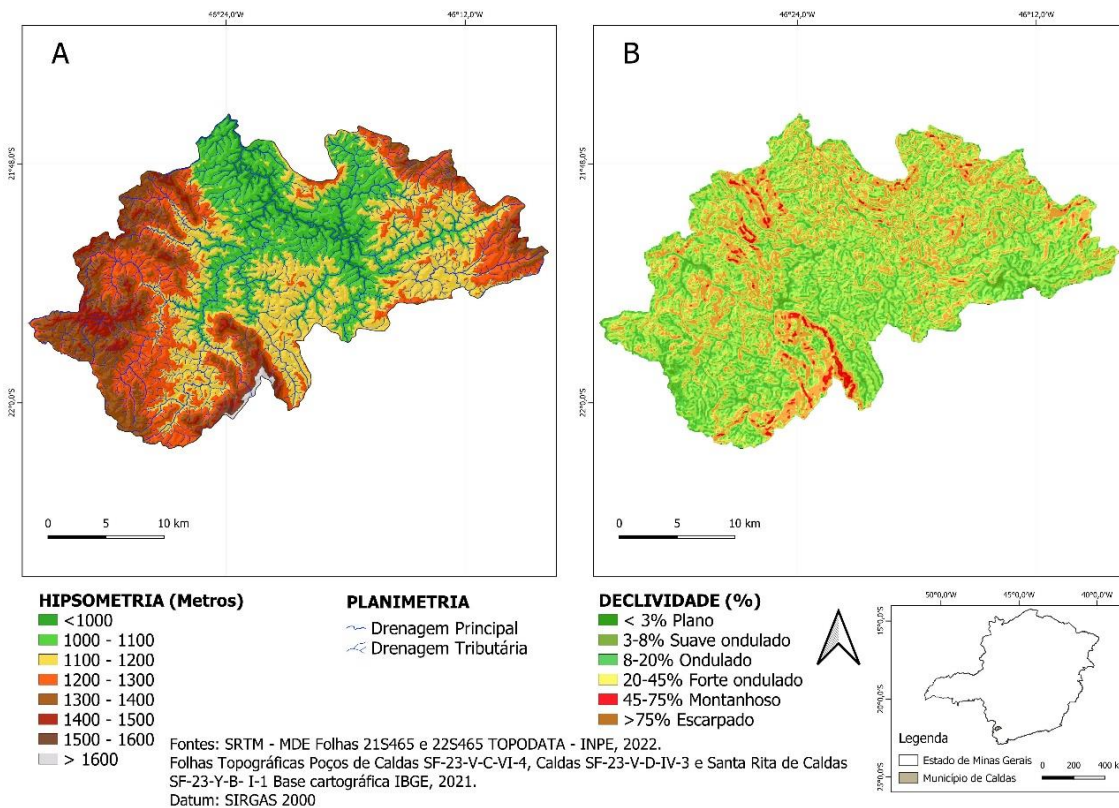
DH = Dissecação Horizontal (em metros)

## **RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Os valores obtidos da hipsometria para o município de Caldas foram de 944 m para a menor altitude e alcançaram o valor máximo de 1700 m. Os valores mais baixos estão localizados nas porções Centro - Leste e Norte enquanto os valores mais elevados são encontrados nas porções Centro - Oeste, Sul, Leste e Nordeste, conforme apresentado na figura 3 A.

As declividades mais altas foram encontradas nas porções Norte, Sul, Noroeste, Nordeste e Leste em que figuram valores percentuais que partem de 45 % e superam os 75% e configuram áreas de relevo montanhoso e escarpado. As áreas menos declivosas distribuem-se nas porções Central, Sudeste e Sudoeste apresentando valores de 0% a 3% para o relevo mais plano e as porções mais declivosas, com valores entre 8% e 45%, representam um relevo ondulado e forte ondulado, conforme observa-se no mapa de declividade que integra a figura 3 B.

**Figura 3** - Hipsometria (A) e declividades (B) da área de estudo

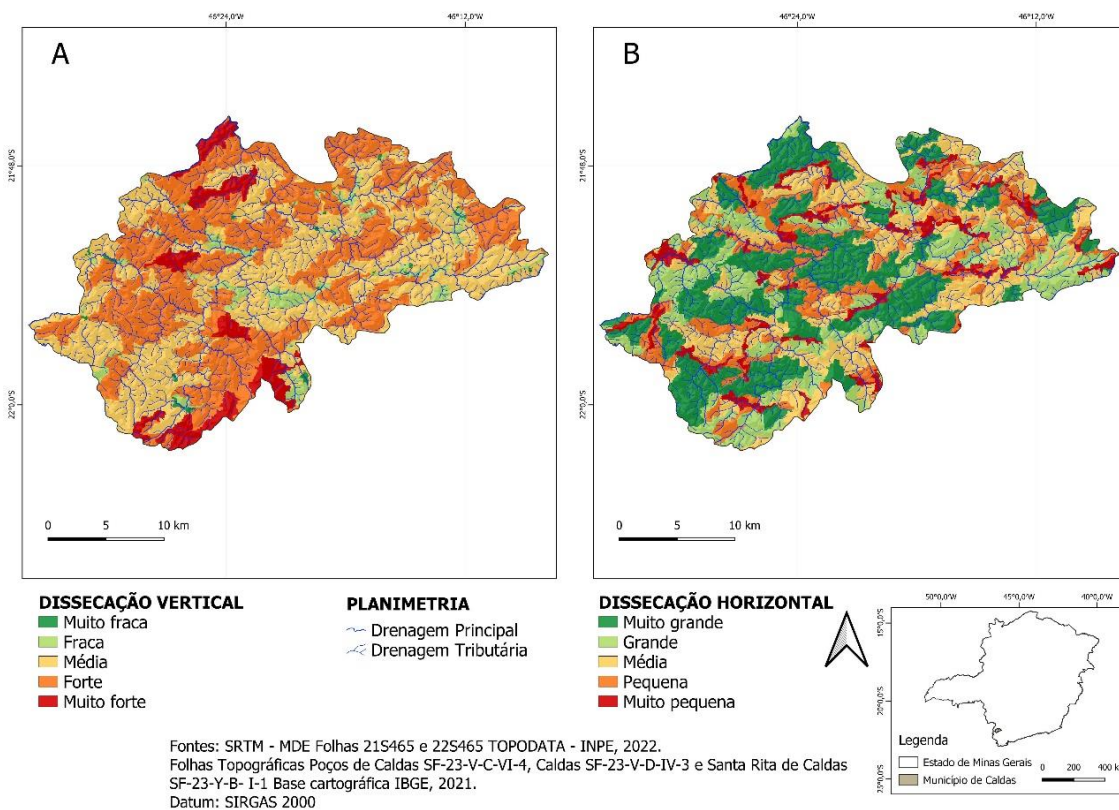


Fonte: Os autores (2024).

A dissecação vertical manifesta o maior grau de entalhamento referente a classe “Muito forte” distribuída nas porções Norte, Sul e Sudoeste enquanto a classe “Forte” distribui-se nas adjacências nas porções Noroeste, Nordeste, Oeste, Sul e Leste, ambas em relevo mais movimentado. A classe de dissecação vertical “Média” prevalece nas porções Oeste, Sudoeste, Central e Leste sendo intercalada com ocorrências, principalmente na porção central, das classes “Fraca” e “Muito fraca”, conforme observa-se no mapa apresentado na figura 4 A.

A dissecação horizontal observada na figura 4 B tem sua maior dimensão representada pela classe “Muito grande”, distribuída nas porções Sudoeste, Oeste, Noroeste, Norte e Central que se intercalam com ocorrências da classe “Grande” nas porções Sudoeste e Noroeste e ocorrências da classe “Média” nas porções Nordeste e Leste. As classes de dissecação horizontal “Pequena” e “Muito pequena” estão distribuídas de forma homogênea nos interstícios das classes de maior amplitude em todas as porções.

**Figura 4** - Dissecação vertical (A) e horizontal (B) da área de estudo.



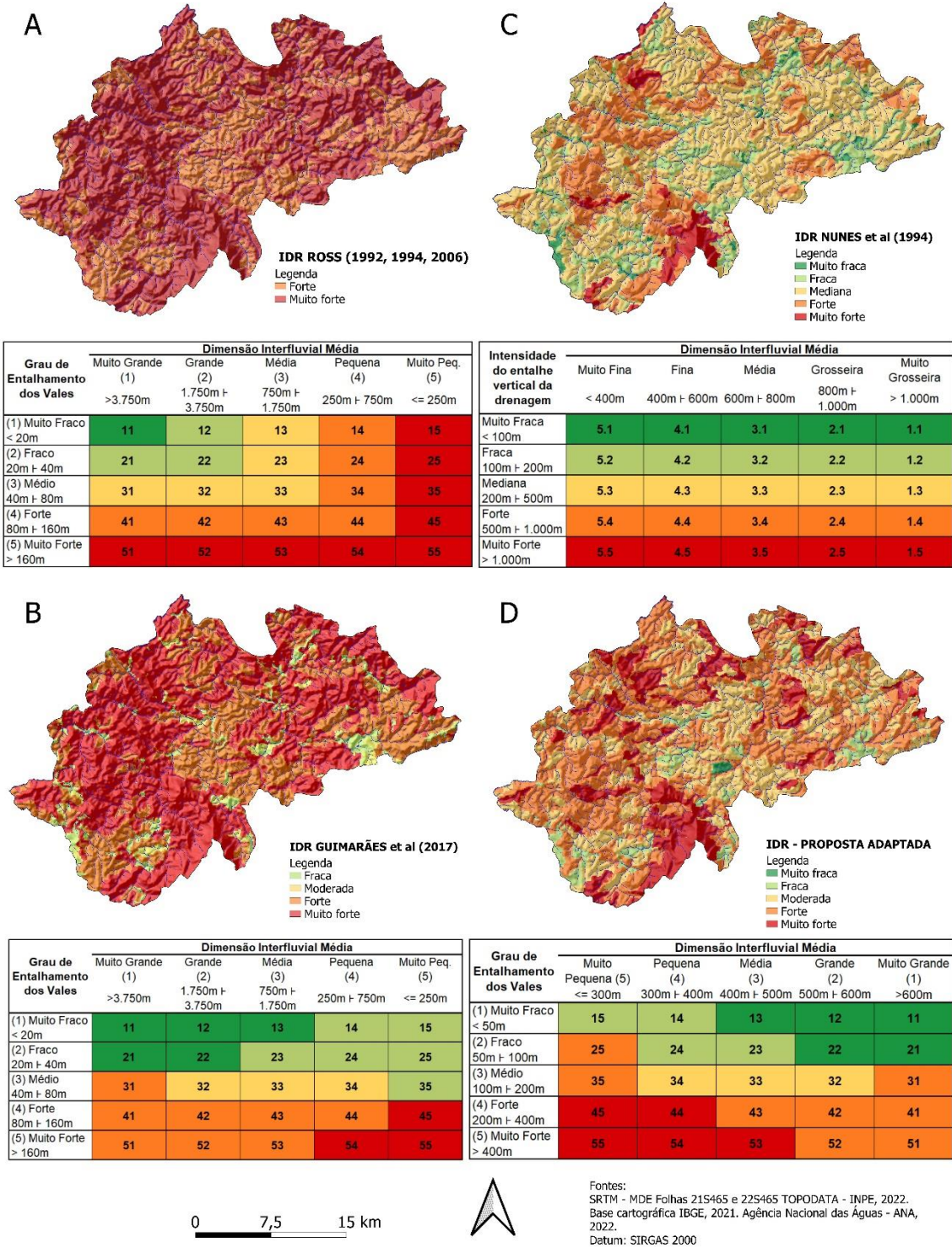
Fonte: Os autores (2024).

Os mapas constantes da figura 5 (A, B, C e D) apresentam os resultados da aplicação da matriz de dissecação do relevo de cada proposta.

O resultado da aplicação da proposta elaborada por Ross (1992, 1994, 2006) no município de Caldas (Figura 5 A), caracterizou-se por não apresentar as combinações correspondentes às classes “Muito fraca”, “Fraca” e “Moderada” tornando a abrangência das classes “Forte” e “Muito forte” uma classificação de amplitude generalizada. A classe de dissecação “Forte” representou 33,5 % da área total localizada em declividades que variam entre 0 e 20%, caracterizadas segundo os parâmetros preconizados por Franco *et al.* (2012) como planas, suave ondulada e onduladas, sendo que a classe “Muito forte” representou 66,5% da área total distribuída em declividades que partem de 20% e atingem valores superiores a 75% caracterizadas como forte ondulado, montanhoso e escarpado.



**Figura 5** - Mapas do índice de dissecação do relevo – IDR de acordo com Ross (1992, 1994, 2006) (A), Guimarães *et al.* (2017) (B), Nunes *et al.* (1994) (C) e proposta adaptada ao município de Caldas - MG (D)



Fonte: Os autores (2024).

A matriz proposta por Ross (1992,1994, 2006), orientada para a abordagem entre as faixas escalares médias e pequenas (1:100.000, 1:250.000), apresenta uma sensibilidade maior às características específicas do relevo da área para a qual foi elaborada com amplitudes interfluviais de grande dimensão e baixos valores do grau de entalhamento, assim, quando aplicada a uma área com valores significativamente inferiores para a amplitude da dimensão interfluvial e superiores para o grau de entalhamento tende a apresentar como resultado uma concentração nas categorias de dissecação mais intensas em detrimento da identificação das variações mais suaves, apesar da escala aqui considerada estar emparelhada em escala com a proposta do autor (op. cit.).

A proposta de Guimarães *et al.* (2017), orientada à área de estudo (Figura 5 B), culminou em um resultado que não evidenciou a classe “Muito fraca” referente aos intervalos 11, 12, 13, 21 e 22 e, apresentou as combinações referentes a quatro classes, “Fraca”, “Moderada”, “Forte” e “Muito forte”. As classes de dissecação “Fraca” e “Muito fraca” representaram, da área total, 5,8% e 2,5% respectivamente, sendo caracterizadas, conforme a classificação sugerida por Franco *et al.* (2012), entre áreas planas, suave onduladas, onduladas e forte onduladas, cujos valores de declividade estão estabelecidos abaixo de 45%. As classes “Forte” e “Muito forte” apresentaram valores de amplitude generalizados sobre a área total correspondendo respectivamente a 31% e 60,7%, distribuindo-se em declividades variadas do suave ondulado ao escarpado iniciando em 20% e atingindo valores superiores a 75%.

Guimarães *et al.* (2017) propuseram adaptações nas combinações de intervalos utilizando a mesma matriz proposta por Ross (1992, 1994, 2006) e, embora apresente mais classes de dissecação quando aplicada ao relevo do município de Caldas, o resultado se assemelha a aplicação da proposta original de Ross (1992, 1994, 2006), indicando uma sensibilidade menor a áreas menos dissecadas e acentuação de uma classificação com ênfase nas áreas com níveis elevados de dissecação.

A aplicação da matriz proposta por Nunes *et al.* (1994), disposta na figura 5 C, apresentou resultado díspar das propostas anteriores, manifestando todas as classes de dissecação na área de estudo. A classe “Muito fraca” representou 2,1%

do total e ocupou áreas em que as declividades se apresentam com valores de até 20%, porém, suprimiu significativamente áreas com declividades do relevo plano iguais ou inferiores a 3%. Estas, por sua vez, foram manifestadas na classe “Fracas” que ocupou 14,8% da área total em relevos planos, suave ondulados e ondulados variando a declividade entre valores iguais ou inferiores a 20%. A manifestação da classe “Mediana” distribuiu-se por toda a área e representou 52,7% do total com tendência de generalização dada a ocupar áreas de relevo plano, suave ondulado, ondulado, forte ondulado e também montanhoso nos intervalos de declividade iguais ou inferiores a 75%. A classe de dissecação “Forte” foi distribuída em áreas de relevo forte ondulado com declividades entre 20% a 45% e representou 25,3% da área total com leve tendência de supressão da representatividade desta classe em alguns locais, dinâmica que foi replicada na classe de dissecação “Muito forte” representando 5,1% da área total, ocupando áreas de relevo montanhoso a escarpado com declividades que iniciam em 45% e atingem valores superiores a 75%, no entanto, não abrangeu todas as áreas que apresentam características semelhantes na área de estudo reduzindo drasticamente sua manifestação.

A matriz de Nunes *et al.* (1994) mostrou-se, na aplicação em questão, mais equilibrada, porém, com uma pequena tendência de supressão das classes mais intensas apontando uma certa generalização que considerou como “Mediana” os níveis das dissecações “Forte” e “Muito forte”.

O resultado proveniente da proposta adaptada ao município de Caldas (Figura 5 D) englobou todas as classes de dissecação. Quanto à relação de distribuição entre as classes de dissecação e as classes de declividade do relevo segundo a classificação de Franco *et al.* (2012), a classe “Muito fraca” distribuiu-se em 0,3% da área total ocupando relevos planos a suave ondulados com declividades entre os valores iguais ou inferiores a 8% seguida da classe “Fracas” representando 6% do total de área em relevos suave ondulado a ondulados com declividade entre 8% a 20%. A classe de dissecação “Moderada” ocupou majoritariamente áreas de relevos forte ondulado com declividade variando entre 20% a 45% e representou 27,7% da área total. As classes “Forte” e “Muito forte”

tiveram distribuição localizada nos relevos montanhosos ocupando da área total 47,1% e 18,9% respectivamente.

A adaptação proposta deu destaque para as classes mais intensas em relevos montanhosos pela consonância dos valores da dimensão interfluvial e do grau de entalhamento mais próximos à realidade local, considerando características específicas da área de estudo. Como resultado obteve-se uma classificação mais assertiva da dissecação de forma a equilibrar a representação das classes, abrangendo desde áreas suaves até montanhosas.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Este trabalho chama a atenção, sobretudo, para a necessidade de abordagens adaptativas em estudos morfométricos orientados a diferentes regiões. Nesse âmbito, buscou avaliar a aplicação de diferentes matrizes de dissecação do relevo no contexto específico do município de Caldas - MG para se chegar a uma matriz que pudesse responder às características específicas dos terrenos a ele relacionados.

Diante disso, fica evidente que a flexibilização e a adaptação dos parâmetros referentes à DV e DH utilizados são cruciais para obter resultados mais precisos e condizentes com as características específicas da área de estudo.

A elaboração da matriz de dissecação do relevo deve ser cuidadosamente ponderada, levando em consideração não apenas a aplicabilidade das propostas existentes, mas também a necessidade de ajustes para refletir com fidelidade a complexidade das paisagens locais. A busca por métodos mais precisos e adaptados é fundamental para avançar no entendimento da dinâmica do relevo e suas implicações em estudos geoambientais.

A análise comparativa das propostas de Ross (1992, 1994, 2006), Nunes *et al.* (1994), e Guimarães *et al.* (2017), juntamente com a apresentação de uma proposta adaptada, permitiu a compreensão da sensibilidade dessas matrizes às características morfométricas específicas.

Portanto, ao aplicar um modelo de matriz de índice de dissecação do relevo no Brasil, é fundamental considerar a heterogeneidade geomorfológica, bem como adaptar o modelo para as características específicas de cada região. Isso

requer uma abordagem flexível com considerações relacionadas às condições locais para obter resultados mais precisos e úteis na compreensão da dissecação do relevo.

No âmbito dos estudos aplicados sobre o planejamento das paisagens, tal como já comentado, uma matriz elaborada em aderência às particularidades do relevo das áreas de estudo contribui para a realização de mapeamentos mais precisos e fundamentados em critérios objetivos e quantificáveis, possibilitando uma compreensão mais clara dos processos dinâmicos que ocorrem entre diferentes unidades de paisagem, tal é o caso do município de Caldas - MG.

## **REFERÊNCIAS**

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 9º Ed., Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003. 332 p.

BARBOSA, G. V. *et al.* Evolução da metodologia para mapeamento geomorfológico do Projeto Radambrasil. **Boletim Técnico Projeto Radambrasil**. Série Geomorfologia. Salvador, out. 1984.

BORTOLINI, W. *et al.* Técnicas Geomorfométricas Para a Identificação de Padrões de Relevo: Aplicação nas Cartas Curitiba e Cerro Azul, Estado do Paraná. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 36, p. 15-32, 2018.

CAVALCANTE, J. C. *et al.* **Projeto Sapucaí: relatório final – Geologia**, v.1. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, 1979.

CAVALCANTI, L. C. S. **Geossistemas no estado de Alagoas**: uma contribuição aos estudos da natureza em geografia. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Filosofia e Ciências Humanas – CFCH, Departamento de Ciências Geográficas – DCG. Programa de Pós – Graduação em Geografia – PPGeo, 2010.

CAVALCANTI, L. C. S. **Da descrição de áreas à teoria dos geossistemas**: uma abordagem epistemológica sobre sínteses naturalistas. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Filosofia e Ciências Humanas – CFCH, Departamento de Ciências Geográficas – DCG. Programa de Pós – Graduação em Geografia – PPGeo, 2013.

CHRISTOFOLETTI, A. **Análise morfométrica das bacias hidrográficas do planalto de Poços de Caldas (MG)**. Tese de Livre-Docência, Cadeira de Geografia do Brasil. Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Rio Claro, 1970, 215p.

CHRISTOFOLETTI, A. **A unidade morfoestrutural do planalto de Poços de Caldas**. Notícia Geomorfológica, Campinas, v.13, n.26, p.77 – 85, 1973.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo, SP: Edgard Blücher, 1974. 149 p.

CREPANI, E. *et al.* **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos: INPE, 2001.

DEVICARI, L. F. **O modelado de dissecação do relevo como fator topográfico na equação universal de perda de solo aplicado ao município de São Pedro do Sul - RS**. 2009. 127 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS, 2009.

FRANCO, G. B. *et al.* Relação qualidade da água e fragilidade ambiental da Bacia do Rio Almada, Bahia. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v.1, n. 42, p.114-127, dez. 2012.

GOUVEIA, I. C. M.; ROSS, J. L. S. Análise comparativa entre métodos analógico e automatizado para a compartimentação geomorfológica e obtenção de dados morfométricos. **Geo UERJ**, n. 42, 2023.

GUERASIMOV, I. P. Experiences on the geomorphological interpretation of the general scheme of geological structure of the URSS. **Phys. Geogr. Jour**, v. 12, p. 33-46, 1946.

GUIMARÃES, F. S. *et al.* Uma proposta para automatização do Índice de dissecação do relevo. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 18, n. 1, 2017.

IBGE. **Manual Técnico de Geomorfologia**. Rio de Janeiro: IBGE, 2009. 182p. (Série Manuais Técnicos em Geociências, n.5). Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/metodos-e-outros-documentos-de-referencia/revista-e-manuais-tecnicos.html>. Acesso em 05 jan. 2022.

IBGE. **Mapeamento de Recursos Naturais do Brasil**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro. 2018. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/estudos-ambientais.html> . Acesso em 01 fev. 2023.

IBGE. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. 2<sup>a</sup>. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/metodos-e-outros-documentos-de-referencia/revista-e-manuais-tecnicos.html>. Acesso em 05 jan. 2022.

IBGE. **Cidades**. IBGE: Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/> . Acesso em 10 fev. 2022.

VALERIANO, M. M. **TOPODATA: Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil.** São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2011. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso.php>. Acesso em: 05 jan. 2022.

OLIVEIRA, C. S. **Estudo dos geossistemas das Cristas Quartzíticas da Mantiqueira Meridional:** a paisagem em perspectiva multiescalar. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Instituto de Ciências Humanas. Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2016.

MARQUES, V. J. **Zonificação ambiental do Estado do Maranhão utilizando os geossistemas como categoria geográfica de análise.** Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Pará. Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2016.

MARQUES NETO, R. *et al.* Estrutura e dinâmica da paisagem no município de Lima Duarte (MG): uma abordagem geoecológica. **Caminhos de Geografia. Uberlândia**, v. 15, n. 52, p. 134-150, 2014.

MARQUES NETO, R.; ZAIDAN, R. T.; MENON JR, W. Mapeamento geomorfológico do município de Lima Duarte (MG). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 16, n. 1, 2015.

MARQUES NETO, R. Geomorfologia e geossistemas: influências do relevo na definição de unidades de paisagem no Maciço Alcalino do Itatiaia (MG/RJ). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 17, n. 4, 2016.

NETO, Roberto Marques. O zonal e o azonal na interpretação e classificação dos geossistemas do município de Lima Duarte, Zona da Mata mineira. **GEOgraphia**, v. 21, n. 45, p. 86-97, 2019.

NUNES, B. A. *et al.* **Manual técnico de geomorfologia.** Rio de Janeiro: IBGE, 1994. 113p. (Série Manuais Técnicos em Geociências, n.5). Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/metodos-e-outros-documentos-de-referencia/revista-e-manuais-tecnicos.html>. Acesso em 05 jan. 2022.

PAIVA, D. R. **Cartografia geomorfológica na região da alta bacia do Rio Pomba:** mapeamento do relevo como subsídio à compreensão da morfogênese regional. 2018. 97p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Instituto de Ciências Humanas, Programa de Pós-graduação em Geografia, 2018.

PAIVA, D. R.; MARQUES NETO, R. Geoprocessamento e cartografia geomorfológica: experiências na região dos grandes escarpamentos da Zona da Mata mineira. **Revista Caminhos de Geografia**, v. 22, n.84, p. 215-226 2021.

PENCK, W. **Morphological analysis of landforms**: A Contribution to Physical Geography New York, St. 1953.

RAFFAELLI, J. A.; WERLANG, M. K. Análise das feições de dissecação do relevo na folha topográfica de São Pedro do Sul-RS. **Ciência e Natura**, p. 101-116, 2002.

ROSS, J. L. S. O registro cartográfico dos fatos geomorfológicos e a questão da taxonomia do relevo. **Revista do Departamento de Geografia**. São Paulo, v. 8, p. 17-29, 1992.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**. São Paulo, n. 8, p. 63-74, 1994.

ROSS, J. L. S.; MOROZ, I. C. Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 10, p. 41-58, 1996.

ROSS, J. L. S. **Ecogeografia do Brasil: subsídios para planejamento ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

SPÖRL, C. **Análise da fragilidade ambiental relevo-solo com aplicação de três modelos alternativos nas altas bacias do Rio Jaguari Mirim, Ribeirão do Quartel e Ribeirão da Prata**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, 2001.

STEVENS, P. O. **Dinâmica da paisagem no geossistema do estuário do Rio Paraíba – extremo oriental das Américas**: estimativas de perdas de habitat e cenários de recuperação da biodiversidade. Dissertação – (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências Exatas e da Natureza. Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2014.

THEDESCHI, M. F.; VIEIRA, P.; NOMO, T. A. **Projeto fronteiras de Minas Gerais: Folha Caldas/Poços de Caldas, escala 1: 100.000**. Universidade Federal de Minas Gerais. p. 80. 2015.

Recebido em 29 de fevereiro de 2024  
Aceito em 19 de setembro de 2024