

**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE GEOGRAFIA, GEOCIÊNCIAS E SAÚDE COLETIVA
CURSO DE BACHARELADO EM GEOGRAFIA**

NATÁLIA APARECIDA RODRIGUES LIMA

**MAPEAMENTO GEOMORFOLÓGICO REGIONAL:
Um exercício metodológico**

**Uberlândia
2024**

NATÁLIA APARECIDA RODRIGUES LIMA

MAPEAMENTO GEOMORFOLÓGICO REGIONAL:

Um exercício metodológico

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Geografia.

Área de concentração: Geografia Física.

Orientador: Dr. Silvio Carlos Rodrigues.

Uberlândia

2024

NATÁLIA APARECIDA RODRIGUES LIMA
MAPEAMENTO GEOMORFOLÓGICO REGIONAL:
Um exercício metodológico

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Instituto de Geografia
da Universidade Federal de
Uberlândia como requisito parcial
para obtenção do título de bacharel
em Geografia.

Área de concentração: Geografia
Física.

Uberlândia, 20 de novembro de 2024

Banca Examinadora:

Silvio Carlos Rodrigues – Doutor (UFU)

Alan Silveira – Doutor (UFU)

Jorge Luís Silva Brito – Doutor (UFU)

Dedico este trabalho aqueles que me guiam, me tiram o peso do mundo e me amam, mesmo quando a caminhada é difícil.

AGRADECIMENTOS

Minha profunda gratidão ao professor e amigo Silvio Carlos Rodrigues, por seu incentivo, cuidado e orientação em cada etapa desta caminhada acadêmica. À minha querida amiga e parceira de alma, Mariana Alcina de Carvalho, agradeço por todas as horas de diálogo e trocas inestimáveis. Ao meu amor, Arthur Vinicius Souza de Faveri Moreira, por tornar a vida mais leve e doce. Aos colegas de laboratório, pelo apoio e companheirismo durante anos de trabalho compartilhado, e à família que escolhi para mim, indo além dos laços de sangue e sendo um porto seguro.

Agradeço também à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais, pelo apoio financeiro com a bolsa concedida durante os anos de estudo.

RESUMO

Este estudo propõe uma metodologia para o mapeamento geomorfológico e geomorfométrico da carta Uberaba (SE-23-Y-C), localizada no Triângulo Mineiro, utilizando a escala de 1:250.000. A pesquisa se baseia no Índice de Dissecação do Relevo (IDR) de Ross (1994), com adaptações de Guimarães et al. (2017), aplicadas ao Modelo Digital de Elevação (MDE) derivado da missão SRTM da NASA. Os resultados indicam que o IDR foi eficaz em áreas de relevo acidentado, permitindo uma avaliação dos processos erosivos intensos, mas revelou limitações significativas em regiões planas, onde a dissecação foi superestimada. A fim de representar o relevo regional com maior precisão, o estudo integrou as subdivisões geomorfológicas de Rodrigues et al. (2023) para corrigir essas inconsistências. A análise evidenciou coincidências entre as regiões de alta dissecação e os limites de planaltos mapeados anteriormente, sugerindo a relevância do uso combinado de dados geomorfométricos e geomorfológicos. Este trabalho reforça a necessidade de metodologias aprimoradas para escalas regionais, que permitam a criação de diretrizes que traduzam fielmente a realidade do relevo e suas dinâmicas.

Palavras-chave: Geomorfologia, Índice de Dissecação do Relevo, Carta Uberaba, Geomorfometria, Escala regional

ABSTRACT

This study proposes a methodology for the geomorphological and geomorphometric mapping of the Uberaba map area (SE-23-Y-C), located in the Triângulo Mineiro region, at a 1:250,000 scale. The research utilizes Ross's Dissection Index (1994), adapted by Guimarães et al. (2017), applied to the Digital Elevation Model (DEM) derived from NASA's SRTM mission. The results indicate that the Dissection Index was effective in rugged relief areas, allowing an assessment of intense erosional processes, but it showed significant limitations in flat regions, where dissection was overestimated. To better represent the regional relief, this study integrated geomorphological subdivisions by Rodrigues et al. (2023) to correct these inconsistencies. The analysis revealed coincidences between high-dissection regions and previously mapped plateau boundaries, suggesting the relevance of a combined use of geomorphometric and geomorphological data. This work highlights the need for improved methodologies for regional scales, enabling the creation of guidelines that accurately reflect the relief and its dynamics.

Keywords: Geomorphology, Dissection Index, Uberaba Map, Geomorphometry, Regional scale

Sumário

1. INTRODUÇÃO	11
2. PROBLEMÁTICA DA PESQUISA	13
3. OBJETIVOS	14
3.1 OBJETIVO GERAL	14
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
4. REFERENCIAL TEÓRICO	15
4.1 A EVOLUÇÃO DO MAPEAMENTO GEOMORFOLÓGICO.	15
4.2 CARTOGRAFIA GEOMORFOLÓGICA E A TAXONOMIA DE ROSS (1992).....	16
4.3 O ESFORÇO METODOLÓGICO NO MAPEAMENTOGEOMORFOLÓGICO REGIONAL.	17
4.4 A GEOMORFOMETRIA COMO CAMINHO PARA O MAPEAMENTO OTIMIZADO DO RELEVO.....	19
4.5 O ÍNDICE DE DISSECAÇÃO DO RELEVO DE ROSS (1994) E A ADAPTAÇÃO DE GUIMARÃES ET AL (2017).....	20
4.6 O MAPEAMENTO GEOMORFOLÓGICO DE MINAS GERAIS EM ESCALA DE MENOS DETALHE COM BASE NA MORFOESTRUTURA E O CAMINHO PARA A ESCALA REGIONAL.....	22
5. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	25
5.1 LOCALIZAÇÃO	25
5.2 CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS.....	25
5.3 ASPECTOS CLIMÁTICOS, HIDROGRÁFICOS E PEDOLÓGICOS	28
6. METODOLOGIA.....	30
7. RESULTADOS E DISCUSSÕES	34
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS	40
9. REFERÊNCIAS.....	42

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Proposta 3 de reclassificação do Índice de Dissecação do Relevo de Ross	22
Figura 2: Articulação das Cartas Topográficas na Escala de 1:250.000 no Estado de Minas Gerais	25
Figura 3: Mapa de Geologia Simplificado da Carta Uberaba	26
Figura 4: Esquematização da Metodologia do Mapeamento Geomorfológico..	33
Figura 5: Mapa Morfométrico da Carta Uberaba	34
Figura 6: Mapa das Regiões Geomorfométricas	35
Figura 7: Mapa de Sobreposição dos Planaltos Presentes na Folha Uberaba e os Limites das Regiões Geomorfométricas	36
Figura 8: Mapa de Recortes das Unidades Geomorfológicas com Base nas Regiões Geomorfométricas	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Matriz dos Índices de Dissecação	21
Tabela 2: Caracterização dos Planaltos por Rodrigues et al (2023)	24
Tabela 3: Códigos para calcular as Dissecações na Calculadora de Campo ..	31

1. INTRODUÇÃO

A Geomorfologia tem como escopo analítico a compreensão das formas de relevo e suas dinâmicas, abrangendo tanto as forças naturais atuantes em cada forma de relevo, quanto as intervenções antrópicas modificadoras da paisagem. Esse campo envolve a investigação das variações do relevo, os agentes que atuam na superfície terrestre e as transformações resultantes.

Para explicar as dinâmicas do relevo, os pesquisadores utilizam técnicas como a Cartografia do Relevo, Sensoriamento Remoto, Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e levantamentos de campo. Essas ferramentas ajudam na criação de mapas que fornecem uma compreensão detalhada das paisagens e seus processos evolutivos.

A produção desses mapas requer uma compreensão da escala de representação. Nos estudos geomorfológicos, a escolha da escala é vital para garantir que os fenômenos retratados estejam adequados ao propósito do mapa. No Brasil, a padronização da metodologia para a elaboração de mapas geomorfológicos ainda está em desenvolvimento, especialmente em escalas regionais, como 1:500.000 ou 1:250.000. A heterogeneidade do relevo terrestre e a variedade de escalas e demandas resultam em diferentes conteúdos e legendas nos mapas. Definir diretrizes metodológicas para mapeamentos geomorfológicos representa um desafio significativo, especialmente em escalas regionais. Textos clássicos da geomorfologia oferecem abordagens possíveis para mapeamentos com diferentes níveis de detalhamento, como o mapeamento de modelados e morfoestruturas. Exemplos notáveis incluem o trabalho de Demek (1976), "*Geomorphological Mapping: Progress and Problems*," e o Manual Técnico de Geomorfologia do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2009), que propõem metodologias para diferentes escalas de mapeamento.

A pesquisa em questão objetiva propor uma metodologia com base morfométrica para a produção de um Mapa Geomorfológico Regional da área da Folha Uberaba (SE-23-Y-C), em Minas Gerais, utilizando a escala de 1:250.000.

A busca por uma metodologia padrão para mapeamentos geomorfológicos no Brasil e no mundo destaca a complexidade e a importância de representar com precisão as características do relevo. Segundo Demek (1976), a padronização é

essencial para garantir consistência e precisão na representação das formas de relevo, especialmente em áreas com grande variação geomorfológica (Reddy, 2018). A diversidade de metodologias e a necessidade de adaptação às especificidades locais tornam o desenvolvimento de diretrizes um desafio contínuo, conforme apontado por estudos recentes sobre a cartografia geomorfológica. Esforços significativos têm sido dedicados à padronização dos processos de mapeamento do relevo no Brasil com pesquisadores interessados na área têm se reunido nos últimos anos através da proposta da criação de um novo Sistema Brasileiro de Classificação do Relevo (SBCR, 2022), uma iniciativa coordenada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022), pelo Serviço Geológico do Brasil (SBG/CPRM, 2022) e pela União da Geomorfologia Brasileira (UGB) (CEN/SBCR, 2022). O objetivo é criar diretrizes que orientem o mapeamento de diferentes formas de relevo em diversas escalas. Grupos de Trabalho especializados, como o GT Subsistema Relevo Tecnogênico, já publicou diretrizes para mapeamento deste tema no Brasil, como o documento "Diretrizes para mapeamento de formas de relevo tecnogênicas no Sistema Brasileiro de Classificação do Relevo (SBCR), (Moura et al, 2023). Com isso em mente, esse trabalho foi desenvolvido.

2. PROBLEMÁTICA DA PESQUISA

A busca por uma metodologia padrão para mapeamentos geomorfológicos no Brasil e no mundo reflete a complexidade e a importância de representar com precisão e fidelidade as características do relevo. A falta de diretrizes claras para o mapeamento em escala regional abre espaço para a inovação, mas também apresenta desafios significativos na criação de mapas que sejam consistentes, informativos e aplicáveis em diferentes contextos. Assim sendo, esse trabalho é realizado com o intuito de responder as seguintes questões: Quais elementos do relevo devem ser representados na escala de 1:250.000? Na legenda elaborada, qual será a classificação dos elementos representados? Quais técnicas de geoprocessamento adequam-se à realização de mapeamentos em escala regional?

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Elaborar um estudo de metodologias e técnicas de cartografia geomorfológica aplicada a escala regional de 1:250.000 para a região imediata de Uberaba.

3.2 Objetivos Específicos

- Testar metodologias de classificação do relevo baseada em MDE com aplicação em SIG.
- Aplicar técnicas de geoprocessamento como auxílio na interpretação geomorfológica.
- Elaborar legenda de mapeamento do relevo em escala regional.

4. REFERENCIAL TEÓRICO

Definido o escopo deste estudo, esta seção aborda uma fundamentação teórica acerca da cartografia geomorfológica em âmbito regional, explorando as metodologias relacionadas à elaboração de mapas dessa natureza de maneira automatizada.

4.1 A evolução do mapeamento geomorfológico.

Segundo Martins (2013), a cartografia do relevo é essencial para compreender os fatos geomorfológicos por ser capaz de representá-los de forma gráfica e espacial. Com isso em mente, fica claro que compreender o processo de evolução da cartografia do relevo é essencial para salientar a maneira como a geomorfologia e sua compreensão se dão ao longo do tempo. Nesse sentido, o resgate dos precursores da área e como suas propostas influenciaram e influenciam ainda hoje o mapeamento geomorfológico é essencial.

Como Rodrigues et al (2023, p. 2-4) colocam, os esforços no mapeamento dos fatos geomorfológicos são antigos, datado no início século XX, através do trabalho de Passarge na Alemanha. No entanto, somente após a Segunda Guerra Mundial, com o desenvolvimento de técnicas analíticas e tecnológicas, houve um real avanço na cartografia do relevo.

Silva (2021) destaca que as bases do mapeamento geomorfológico são amplamente influenciadas por diferentes escolas de pensamento, como as escolas alemã, francesa e russa, que moldaram as metodologias empregadas até hoje. Na Alemanha, Julius Büdel foi uma figura importante, relacionando as formas do relevo ao clima em zonas específicas, enquanto a escola francesa, representada por Jean Tricart e André Cailleux, associou as feições geomorfológicas ao contexto climático e tectônico das regiões. Essas contribuições iniciais consolidaram a importância de abordar a geomorfologia de forma integrada, considerando tanto os aspectos estruturais quanto os processos que moldam o relevo ao longo do tempo.

Além disso, a criação de uma subcomissão pela União Internacional de Geografia (IGU) na década de 1950 ajudou a estabelecer critérios e metodologias padronizadas, facilitando a aplicação de mapas geomorfológicos em escalas locais e regionais (Silva, 2021). Esse movimento permitiu que o mapeamento geomorfológico se tornasse uma

ferramenta valiosa para o planejamento territorial e a gestão de recursos naturais, um aspecto que foi significativamente impulsionado pelo Projeto RADAM BRASIL no Brasil, nos anos 1970. Esse projeto utilizou tecnologias de sensoriamento remoto, o que representou um avanço para o mapeamento geomorfológico no país, culminando em cartografias em larga escala, como as publicadas pelo IBGE.

Silva (2021) salienta que esses desenvolvimentos históricos mostram como o mapeamento geomorfológico passou de um enfoque descritivo para uma abordagem mais quantitativa e analítica, utilizando modelos e dados de geotecnologia que proporcionam uma compreensão mais aprofundada da dinâmica do relevo e de sua evolução.

No entanto, Rodrigues et al (2023) insistem que embora a revolução tecnológica tenha trazido melhoria no âmbito das geotecnologias, com o desenvolvimento dos Modelos Digitais de Terreno (MDT) ou Modelos Digitais de Elevação (MDE), a aplicação de Parâmetros da Superfície Terrestre (PSTs), a utilização de Índices de Concentração de Rugosidade (ICR) e a disponibilidade de dados de sensoriamento remoto, ainda persistem desafios na padronização de legendas e metodologias. A tecnologia apenas trouxe um "renascimento" nos mapeamentos, permitindo a produção de mapas temáticos em escala de detalhe, principalmente quando se usa técnicas que envolvem a geomorfometria, mas os mapeamentos de maiores escalas ainda enfrentam dificuldades com as técnicas de automatização.

4.2 Cartografia geomorfológica e a taxonomia de Ross (1992)

Em um de seus escritos acerca de uma potencial reclassificação do relevo brasileiro, Ross (1992) destaca a desafiadora questão da consistência na classificação do relevo nos estudos geomorfológicos realizados no Brasil, apresentando uma proposta classificatória dividida em táxons. O primeiro táxon abrange as unidades morfoestruturais, o segundo, as unidades morfoesculturais, o terceiro engloba as unidades morfológicas ou padrões de formas semelhantes, o quarto categoriza os tipos de formas de relevo, o quinto aborda os tipos de vertentes e, por fim, o sexto se refere às formas de processos atuais.

Ross (1992) estabelece uma conexão explícita entre os níveis taxonômicos do relevo e as escalas cartográficas apropriadas para sua representação. Ross propõe

uma hierarquia clara de unidades geomorfológicas, que variam conforme a escala de mapeamento: unidades morfoestruturais são identificáveis em escalas menores, como 1:1.000.000, adequadas para grandes estruturas como planaltos e bacias sedimentares; unidades morfoesculturais são observáveis em escalas intermediárias, como 1:250.000, típicas para o mapeamento de serras e vales; e unidades morfoesculturais detalhadas requerem escalas maiores, como 1:50.000, permitindo o detalhamento de morros e depressões menores. Essa metodologia não só assegura uma análise geomorfológica mais precisa, dependendo do detalhe requerido pelo estudo, mas também orienta a escolha de escalas adequadas para a eficácia na interpretação dos processos geomorfológicos e na aplicação dos conhecimentos em planejamento territorial e gestão ambiental.

Argento (1994, p. 368) destaca que "a metodologia do mapeamento geomorfológico se baseia na organização dos fenômenos mapeados, seguindo uma taxonomia que deve estar alinhada a uma determinada escala cartográfica", evidenciando a importância de compreender qual táxon deve ser mapeado e, conseqüentemente, qual escala deve ser utilizada.

Para o mapeamento geomorfológico dos dois primeiros táxons, a escala ideal é de 1:1.000.000 e 1:500.000, respectivamente, enquanto para os táxons de terceiro a sexto, as escalas devem ser iguais ou maiores que 1:100.000. No entanto, a correlação entre escala e taxonomia apresenta desafios para mapeamentos que não se enquadram nessa configuração, como é o caso do mapeamento geomorfológico regional em escala de 1:250.000, por exemplo.

Essa discrepância entre o segundo e o terceiro táxon da proposta de Ross (1992) abre uma possível lacuna espacial geomorfológica, cuja exploração e análise serão abordadas nesta pesquisa.

4.3 O esforço metodológico no mapeamento geomorfológico regional.

A cartografia geomorfológica enfrenta desafios significativos na integração de vários elementos morfológicos, morfogenéticos, morfométricos, morfodinâmicos, morfoestruturais e morfocronológicos em um único documento cartográfico. Equacionar essa representação de maneira justa e igualitária é complexo, especialmente quando alguns elementos são mais simples de retratar do que outros,

como os dados geocronológicos, que frequentemente dependem de datações relativas, demandando um esforço metodológico considerável por parte dos especialistas da área.

A representação de elementos morfométricos e morfológicos pode ser mais clara, porém a inclusão de aspectos morfoestruturais e morfodinâmicos se mostra desafiadora, levando à sobreposição de camadas, o que exige a definição de um fundo como base. Daí a relevância da padronização de métodos de interpretação e técnicas de representação na cartografia geomorfológica em escala regional. Essa uniformização permite estabelecer correlações eficazes entre diferentes regiões geomorfológicas. Como colocado por Neto e Ferraro (2018, p. 268):

As representações regionais admitem certa generalização da informação, mas também exigem uma organização normativa que seja capaz de definir de forma resoluta as prioridades de representação e a forma pela qual a informação será obtida e organizada. Nesse sentido, é salutar que a cartografia geomorfológica em escala regional seja construída a partir de um princípio de uniformização dos métodos de interpretação e técnicas de representação, fundamental no estabelecimento de correlações regionais proficientes, correlações estas que dependem, indubitavelmente, das iniciativas de coberturas de grandes áreas, referenciadas em espacialidades que refletem, de fato, a manifestação de diferentes regiões geomorfológicas [...].

A elaboração de mapas geomorfológicos é reconhecidamente complexa, mas quando se busca uma abordagem detalhada, porém não excessivamente minuciosa, como é o caso do mapeamento geomorfológicos em escala regional, novos desafios surgem. Por essa razão, é de extrema importância a condução de estudos que visam desenvolver metodologias que, no futuro, possam promover a padronização das técnicas de mapeamento para essa escala. Isso, por sua vez, contribuirá significativamente para a interpretação da dinâmica e evolução do relevo em uma perspectiva regional.

4.4 A Geomorfometria como caminho para o mapeamento otimizado do relevo.

A geomorfometria, conforme delineado por Hengl (2009, p. 31), emerge como uma disciplina focada no estudo aprofundado da superfície terrestre e suas formas, indo além das simples medições de elevação ou da análise isolada de características topográficas. Este campo se destaca pelo uso de técnicas avançadas de quantificação que possibilitam uma análise precisa e detalhada do relevo, aumentando significativamente a precisão e relevância dos estudos geomorfológicos. De acordo com Chorley (1957), “a ciência da morfometria, que tem uma relação próxima com a geomorfologia, está preocupada com o estudo quantitativo das superfícies de relevo e suas interrelações, especialmente quando influenciadas por fatores climáticos”. Essa abordagem integrada permite uma compreensão mais profunda das dinâmicas e interações geomorfológicas.

Hengl (2009, p. 34-35) expande essa ideia ao destacar que a superfície terrestre, frequentemente vista como estática, está, na verdade, em constante transformação, seja através de mudanças graduais ou de eventos catastróficos como erupções vulcânicas, inundações e deslizamentos de terra. A capacidade de prever essas transformações, oferecida pela geomorfometria, enriquece nossa compreensão dos processos geomorfológicos e auxilia no desenvolvimento de estratégias proativas para planejamento territorial e mitigação de riscos naturais.

Nesse contexto, a integração da geomorfometria com técnicas cartográficas é crucial para o mapeamento eficaz do relevo. Os Modelos Digitais de Elevação (DEMs), conforme mencionado por Hengl (2009, p. 37), são fundamentais nesse processo, fornecendo uma representação completa da superfície terrestre, permitindo que cada ponto dentro de uma área específica seja analisado por sua altitude. Essa representação detalhada é essencial para identificar e caracterizar elementos geomorfológicos específicos da superfície, tais como "pits, peaks, ridge lines, course lines, passes and break lines."

Em suma, a geomorfometria se revela como uma ferramenta poderosa e otimizadora para o mapeamento do relevo, oferecendo uma abordagem abrangente e detalhada que transcende as simples medições de elevação. Ao integrar técnicas avançadas de quantificação com a representação completa da superfície terrestre através dos Modelos Digitais de Elevação (DEMs), a geomorfometria permite uma

análise precisa e minuciosa dos elementos geomorfológicos, contribuindo significativamente para a precisão e relevância dos estudos na área. Essa abordagem refinada não só aprimora a qualidade dos dados topográficos, mas também amplia nossa compreensão dos processos paisagísticos e facilita a tomada de decisões mais embasadas e eficazes em questões de planejamento territorial, gestão ambiental e mitigação de riscos naturais. Assim, a geomorfometria se posiciona como uma aliada indispensável para o mapeamento do relevo, capacitando-nos a explorar e preservar de forma mais eficiente a complexidade e dinâmica das paisagens terrestres.

4.5 O índice de dissecação do relevo de Ross (1994) e a adaptação de Guimarães et al (2017)

O Índice de Dissecação do Relevo, desenvolvido por Ross em 1994, é uma medida morfométrica que busca quantificar o grau de entalhamento dos vales em uma determinada área, considerando também a dimensão interfluvial. Esse índice é uma ferramenta importante na análise geomorfológica, pois fornece informações sobre o nível de desenvolvimento do relevo e a intensidade dos processos erosivos.

Para calcular o Índice de Dissecação do Relevo, Ross propôs uma abordagem que considera tanto a densidade da rede de drenagem quanto a amplitude do relevo. A amplitude reflete a diferença de altura entre os pontos mais altos e mais baixos de uma área e é um fator importante para avaliar o grau de entalhamento. Quanto maior a densidade da rede de drenagem e a amplitude do relevo, maior será o índice de dissecação, indicando um terreno mais fragmentado e intensamente erodido. Isso sugere um processo de erosão ativo e relevo altamente dissecado. Em contrapartida, valores mais baixos do índice estão associados a áreas com menor amplitude e menos drenadas, o que aponta para um relevo menos entalhado e com atividade erosiva reduzida.

A tabela original de Ross (1992) é estruturada para categorizar o relevo em função dessas variáveis, apresentando uma matriz de classes de dissecação do relevo:

Tabela 1: Matriz dos Índices de Dissecação

Grau de Entalhamento dos Vales (Classes)	Dimensão Interfluvial Média (Classes)	Código das Classes
Muito Fraco (1) (< 20 m)	Muito Grande (1) (> 3.750 m)	11 - 15
	Grande (2) (1.750 a 3.750 m)	
	Média (3) (750 a 1.750 m)	
	Pequena (4) (250 a 750 m)	
	Muito Pequena (5) (< 250 m)	
Fraco (2) (20 a 40 m)	Muito Grande (1) (> 3.750 m)	21 - 25
	Grande (2) (1.750 a 3.750 m)	
	Média (3) (750 a 1.750 m)	
	Pequena (4) (250 a 750 m)	
	Muito Pequena (5) (< 250 m)	
Médio (3) (40 a 80 m)	Muito Grande (1) (> 3.750 m)	31 - 35
	Grande (2) (1.750 a 3.750 m)	
	Média (3) (750 a 1.750 m)	
	Pequena (4) (250 a 750 m)	
	Muito Pequena (5) (< 250 m)	
Forte (4) (80 a 160 m)	Muito Grande (1) (> 3.750 m)	41 - 45
	Grande (2) (1.750 a 3.750 m)	
	Média (3) (750 a 1.750 m)	
	Pequena (4) (250 a 750 m)	
	Muito Pequena (5) (< 250 m)	
Muito Forte (5) (> 160 m)	Muito Grande (1) (> 3.750 m)	51 - 55
	Grande (2) (1.750 a 3.750 m)	
	Média (3) (750 a 1.750 m)	
	Pequena (4) (250 a 750 m)	
	Muito Pequena (5) (< 250 m)	

Fonte: Ross (1992). Org: A autora (2024)

Essa medida permite comparar diferentes áreas e entender a evolução do relevo ao longo do tempo, sendo útil em estudos de geomorfologia, hidrologia, e planejamento ambiental, entre outros campos. No entanto, Guimarães et al. (2017) observaram que a aplicação dessa matriz poderia resultar em inconsistências, particularmente em áreas planas ou de baixa declividade que, segundo a metodologia de Ross, poderiam ser classificadas equivocadamente em classes de alta dissecação devido à predominância de entalhamentos mais profundos em terrenos adjacentes. Além disso, a matriz original de Ross apresenta maior quantidade de classes para áreas de dissecação intensa, como “muito alta” e “alta”, em comparação às classes de dissecação baixa, gerando uma concentração desigual que pode comprometer a precisão do mapeamento em regiões específicas.

Para melhorar essa classificação, Guimarães et al. (2017) desenvolveram três propostas alternativas. A proposta 3, conforme apresentada abaixo na Figura 1, que foi escolhida para este estudo, redefine os intervalos das classes de dissecação, especialmente para separar de forma mais clara as áreas com diferentes níveis de entalhamento e interflúvio. A escolha dessa proposta em detrimento das outras duas primeiras ocorreu seguindo a lógica de que uma área com menor dissecação precisa de uma análise mais equilibrada das classes de dissecação e a Proposta 3 apresenta esse equilíbrio maior entre classes. Esse ajuste reflete melhor a variação geomorfológica do relevo, principalmente em áreas planas, que são agora corretamente classificadas como de baixa ou muito baixa dissecação.

Figura 1: Proposta 3 de reclassificação do Índice de Dissecação do Relevo de Ross

11	12	13	14	15
21	22	23	24	25
31	32	33	34	35
41	42	43	44	45
51	52	53	54	55

Fonte: Guimarães et al (2017). Org: A autora (2024)

Essa nova classificação permite uma transição mais gradual e uma representação mais precisa da variação no relevo. Com a proposta 3, as classes "muito alta" e "alta" foram aplicadas apenas a áreas com alta declividade e entalhamento profundo, enquanto regiões mais planas foram alocadas nas classes "baixa" ou "muito baixa", conforme sua morfologia. Dessa forma, a metodologia atualizada corrige distorções e facilita uma análise mais detalhada e confiável do relevo, sendo a mais adequada para o contexto específico do presente estudo.

4.6 O mapeamento geomorfológico de Minas Gerais em escala de menos detalhe com base na morfoestrutura e o caminho para a escala regional

Rodrigues et al. (2023) desenvolveram uma metodologia detalhada para o mapeamento geomorfológico do estado de Minas Gerais na escala 1:1.000.000, integrando análises morfológicas e estruturais do relevo. Essa abordagem permitiu a

definição de grandes unidades geomorfológicas, refletindo a diversidade de formas que compõem o relevo do estado. Esse mapeamento baseou-se em dois níveis taxonômicos: sistemas morfoaltimétricos e compartimentos morfoestruturais, resultando em uma representação mais rica e precisa do relevo.

O primeiro táxon, denominado Sistemas Morfoaltimétricos, foi baseado na forma e altitude das feições do relevo. Essas características, definidas como morfologia e morfometria, permitiram a divisão do relevo em grandes classes, incluindo Montanhas e Serras, Planaltos, Depressões Relativas e Planícies. Cada uma dessas unidades representa diferentes padrões de elevação e morfologia, adequados ao nível de detalhamento da escala regional adotada para o mapeamento.

- Montanhas e Serras foram caracterizadas como regiões com altitudes superiores a 900 metros, incluindo formações resultantes de atividades tectônicas e processos erosivos que criaram terrenos acidentados com linhas de cristas e declives acentuados.
- Planaltos, predominantes em Minas Gerais, foram definidos como áreas mais elevadas do que o entorno, com superfícies mais planas ou convexas e encontradas, principalmente, sobre rochas sedimentares, ígneas e metamórficas.
- Depressões Relativas foram identificadas como áreas mais baixas do que o relevo circundante, associadas a processos tectônicos ou erosivos, mas situadas acima do nível do mar.
- Planícies representam superfícies de baixa altitude e declividade, geralmente associadas a dinâmicas fluviais e deposição de sedimentos, como nas margens dos principais rios.

O segundo nível, denominado Compartimentos Morfoestruturais, considerou a associação entre a morfologia e a estrutura geológica do substrato rochoso, incluindo a influência de fatores tectônicos e litoestruturais na evolução das formas de relevo. Nesse nível, foram analisadas a composição e disposição das rochas subjacentes, que afetam a gênese e a preservação das formas.

Para os Planaltos, Rodrigues et al (2023) identificaram diferentes padrões de estrutura conforme a composição e a disposição das rochas. Essas foram subdivididas em Estruturas Sedimentares Horizontalizadas a Sub-horizontalizadas e Estruturas em Rochas Ígneas e Metamórficas. A diferenciação entre elas considerou

a preservação e a intensidade da dissecação do relevo, resultando em três subcategorias: Planaltos Conservados, Planaltos Dissecados e Planaltos Residuais.

Tabela 2: Caracterização dos Planaltos por Rodrigues et al (2023)

Tipo de Planalto	Descrição
Planaltos Conservados	Superfícies com baixa densidade de drenagem e baixo índice de rugosidade, preservando extensas áreas planas e destacando-se por topos planos, típicos de regiões com menor ação erosiva.
Planaltos Dissecados	Áreas onde a dissecação é mais intensa, com rede de drenagem densa e relevo mais irregular, resultante de processos erosivos mais avançados.
Planaltos Residuais	Estruturas elevadas e isoladas entre cursos d'água, preservando porções de relevo interfluviais com menor densidade de drenagem e padrões de forma relativamente homogêneos.

Fonte: Rodrigues et al (2023). Org: a autora (2024).

A classificação dos planaltos conforme descrita por Rodrigues et al. (2023) é especialmente relevante para o estudo da área da Carta Topográfica de Uberaba, que se localiza em uma região de planaltos. A compreensão dessas estruturas permite observar como são compostas por camadas sedimentares horizontais, formando chapadas extensas que variam conforme o estado de conservação e a intensidade dos processos erosivos. Os Planaltos Conservados, caracterizados por superfícies homogêneas e baixa rugosidade, predominam nas regiões do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba. Já os Planaltos Dissecados apresentam maior densidade de drenagem e um relevo mais fragmentado, refletindo áreas de maior erosão. Por fim, os Planaltos Residuais são isolados entre cursos d'água e preservam feições morfológicas antigas.

Essas subdivisões ajudam a compreender a dinâmica geomorfológica e ambiental da Folha Uberaba, situada em uma área de Minas Gerais onde os planaltos são as unidades geomorfológicas predominantes. Com base nessa classificação, esse trabalho usará como base essas unidades morfológicas para criar um mapa que atente a representar o relevo em uma escala regional.

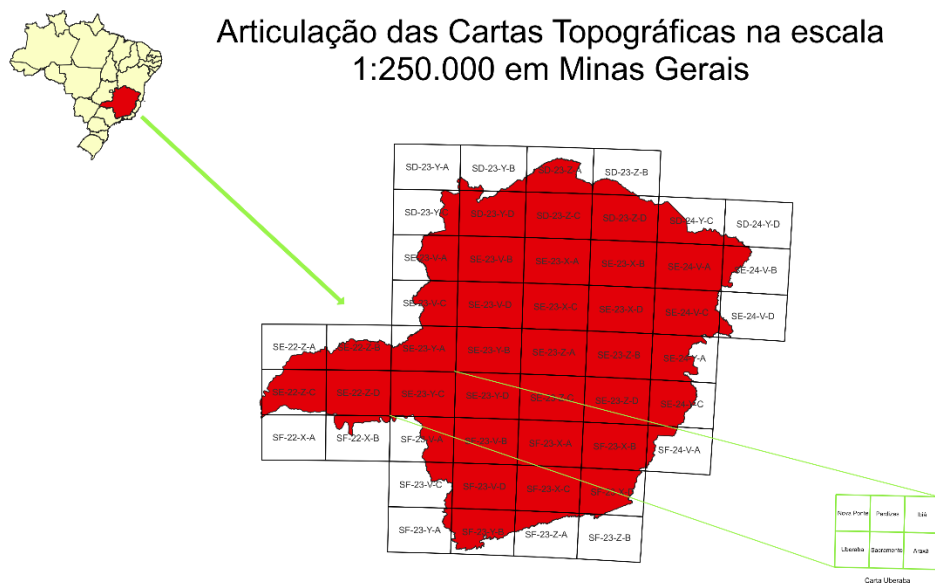
5. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está situada na folha topográfica denominada Folha Uberaba - SE.23-Y-C (Topodata, 2023).

5.1 Localização

A folha se localiza na parte oeste do Estado de Minas Gerais, dentro da região do Triângulo Mineiro. Suas delimitações geográficas correspondem aos paralelos 19°00' e 20°00' sul e aos meridianos 46°30' e 48°00' oeste de Greenwich. Essa localização é visível a partir do esquema de articulações das cartas topográficas na escala de 1:250.000 do estado de Minas Gerais (Figura 2).

Figura 2: Articulação das Cartas Topográficas na Escala de 1:250.000 no Estado de Minas Gerais



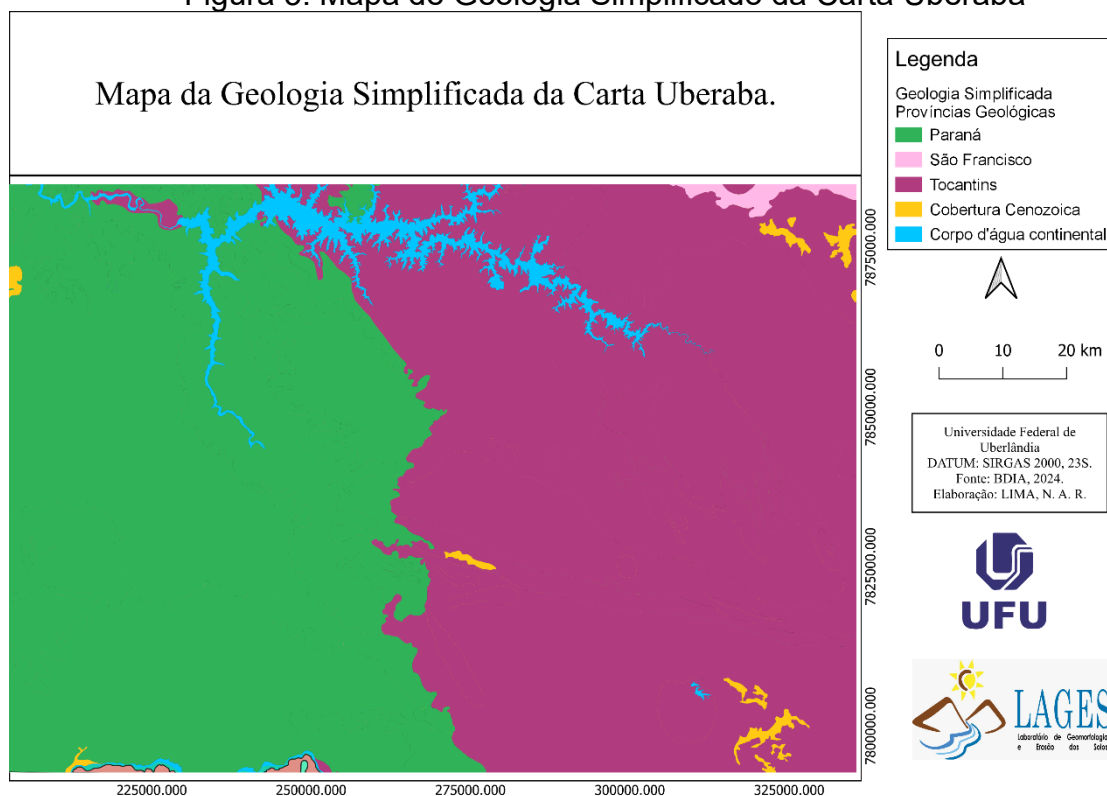
Fonte: A autora (2024)

5.2 Características Geológicas

Segundo o BDIA (2024), a região é composta por quatro províncias que estruturam sua base geológica. A primeira dessas unidades é a Província São Francisco, que conforme Hasui (2012), ocupa uma área correspondente ao Cráton São Francisco, cráton esse que se situa no centro-leste do Brasil, delimitado pelos sistemas orogênicos de Borborema, ao norte, Tocantins, a oeste, e Mantiqueira, a Leste. A maior parte de sua extensão localiza-se nos estados da Bahia e Minas Gerais, com pequenas porções se estendendo até Sergipe, Pernambuco, Tocantins e Goiás (Hasui, 2012).

Segundo Hasui (2012), o cráton São Francisco é subdividido em três setores: Oriental, Central e Ocidental. O setor ocidental do cráton se estende pelo oeste de Minas Gerais, sudoeste da Bahia e uma pequena porção no nordeste de Goiás. Durante o Neoproterozoico, por volta de 273 milhões de anos atrás (BDIA, 2024), a formação do cráton incluiu predominantemente unidades sedimentares, como o Grupo Bambuí, que faz parte do Supergrupo São Francisco, correspondente à bacia sedimentar associada ao cráton. A porção sudoeste do Cráton, em seu setor ocidental, trata-se da única área presente na região de estudo. Isso pode ser observado no mapa da Geologia Simplificada da Folha Uberaba (Figura 3).

Figura 3: Mapa de Geologia Simplificado da Carta Uberaba



Fonte: A autora (2024)

Segundo Hasui (2012), a Província Tocantins, presente na área da Carta Uberaba, faz parte do Sistema Orogênico Tocantins, que está localizado entre os crátons Amazônico e São Francisco. Esse sistema é composto por três cinturões orogênicos, dispostos em forma de tesoura, com centro em Goiás e extremidades que se estendem ao norte, sudoeste e sudeste. Grandes porções desse sistema são cobertas por formações fanerozoicas, especialmente nas bacias do Paraná, Parnaíba, Bananal e Pantanal Mato-Grossense.

Hasui (2012) propõe a divisão do Sistema Tocantins em três cinturões: Brasília, Araguaia e Paraguai. O cinturão Brasília, em especial a Faixa Brasília, está presente na área de estudo e compõe a Província Tocantins. A Faixa Brasília é a parte oriental do setor Brasília, situada entre o Cráton São Francisco e os domínios Goiano e Araí-Natividade. De acordo com o BDIA (2024), essa província possui formações neoproterozoicas, com idades aproximadas de 785 milhões de anos.

A Província Paraná é paleozoica e está associada a eventos ocorridos durante o Mesozoico, há cerca de 149 milhões de anos, época em que ocorreram atividades vulcânicas e sedimentares significativas (BDIA,2024). Essa província abriga a famosa Bacia do Paraná, onde extensos derrames de basalto e depósitos sedimentares indicam um ambiente geológico dinâmico, formado durante a separação de Gondwana.

Segundo Pereira et al (2012), o registro estratigráfico da Supersequência Gondwana I constitui o pacote sedimentar de maior volume dentre todas as supersequências da Bacia do Paraná, com espessura máxima que pode atingir 2.500 m.

A Província Coberturas Cenozóicas são, segundo Baptista et al (2010), coberturas criadas a partir de intemperismo, compostas por sedimentos aluviais e outras camadas superficiais, que com o passar do tempo e com diferentes estágios de aplainamento, podem estar relacionadas ocorrências minerais, como bauxita, manganês, níquel e outros lateritos. Para Bizzi (2003), são depósitos são formados por sedimentos da Era Cenozóica, com menos de 65 milhões de anos. Eles englobam bacias sedimentares e coberturas variadas, que frequentemente recebem nomes litoestratigráficos. No entanto, nem sempre se classificam como bacias propriamente

ditas, devido à sua limitada extensão superficial e espessura. O BDIA (2024) coloca que as formações presentes na área de estudo são muito recentes, com cerca de 47 milhões de anos, do período Quaternário.

Além das províncias comentadas, a região abriga rochas intrusivas associadas aos complexos alcalinos de Araxá, Tapira e Salitre, conforme descrito pela CPRM (2015). Essas formações intrusivas, constituídas por rochas como fenitos e carbonatitos, têm idades entre 70 e 90 milhões de anos e estão associadas à presença de minerais resultantes de processos de intemperismo.

5.3 Aspectos climáticos, hidrográficos e pedológicos

A área da folha topográfica de Uberaba possui características climáticas e hidrológicas relevantes para a compreensão de sua dinâmica ambiental. O clima da região é classificado como tropical, especificamente como Aw (tropical de savana) segundo a classificação de Köppen (1936). Esse clima é caracterizado por uma estação chuvosa e uma estação seca bem definidas, com precipitação média anual variando entre 1.200 mm e 1.600 mm, concentrando-se entre os meses de outubro e março. As temperaturas médias anuais na região variam de 20 °C a 24 °C, podendo ultrapassar os 30 °C nos meses mais quentes e apresentando mínimas em torno de 10 °C durante o inverno. Novais et al (2018) caracteriza o clima na porção oriental do Triângulo Mineiro e parte do Alto Paranaíba em três domínios climáticos principais: Tropical, Tropical Ameno e Subtropical. Esses domínios são subdivididos em subdomínios semiúmido e semiseco, com a quantidade de meses secos variando entre quatro e sete, dependendo da região (NOVAIS et al, 2018).

Ainda segundo Novais et al (2018), as áreas de maior elevação, como a região de Araxá, possuem clima mais ameno, com temperaturas médias variando de 14°C a 18°C, o que favorece a ocorrência de geadas em pelo menos um dia do ano. Já nas regiões de menor altitude, a precipitação anual é menor, situando-se entre 1350 mm e 1450 mm, enquanto nas áreas mais altas, como em partes do município de Sacramento, a precipitação pode ultrapassar 1750 mm anuais (NOVAIS et al, 2018).

A maior parte das chuvas na região da Carta Uberaba ocorre de forma irregular, com picos de precipitação nos meses de janeiro e fevereiro. A estação seca se estende de maio a setembro, resultando em períodos de estiagem que impactam a

agricultura e os recursos hídricos. A dinâmica climática é influenciada por massas de ar tropicais, como a massa equatorial continental e a massa tropical atlântica, com ventos predominantes de nordeste a leste na estação chuvosa e ventos mais frios e secos provenientes do Sul durante a estação seca (Aspiazú et al, 1990).

A caracterização climatológica feita pelo IBGE (2019), revela um clima predominantemente classificado como Tropical do Brasil Central. Este clima é caracterizado por altas temperaturas médias, superiores a 18 °C durante todos os meses do ano, e é considerado semiúmido, apresentando de 4 a 5 meses com precipitação reduzida.

Além disso, algumas variações climáticas, como o tipo subquente, ocorrem na região, onde as médias das temperaturas ficam entre 15 °C e 18 °C em pelo menos um mês do ano, mantendo também a classificação de semiúmido. As características climáticas incluem verões quentes e invernos amenos, favorecendo a vegetação tropical e a atividade agrícola na região.

Outro aspecto a ser considerado é a presença de climas mesotérmicos brandos, que têm médias entre 10 °C e 15 °C, embora esses sejam menos comuns na área. As condições de semiúmido com meses secos refletem a variabilidade climática da região, influenciando a disponibilidade de água e a biodiversidade local, aspectos essenciais para o planejamento ambiental e o uso do solo.

Segundo o IBGE (2021) área da folha topográfica de Uberaba está inserida na grande bacia hidrográfica do rio Paraná, com apenas uma pequeníssima porção de sua área localizada na grande bacia do Rio São Francisco. Se insere também nas mesobacias do Rio Paranaíba, Rio Grande e Alto São Francisco. Os principais rios da região incluem o rio Uberaba e seus afluentes, que são fundamentais para o abastecimento de água e irrigação das áreas agrícolas, e o Rio Araguari.

Os solos da região da carta Uberaba, segundo o IBGE (2019), são extremamente variados, incluindo aqueles da ordem: latossolos, argissolos, neossolos, cambissolos, chernossolos e gleissolos. Os latossolos são encontrados em maior quantidade na área estudada, porém os cambissolos se fazem presente de maneira imponente na porção meridional leste (IBGE, 2019).

6. METODOLOGIA

Para a análise geomorfométrica da área de estudo, foi realizada uma pesquisa baseada em dados secundários, organizando uma base de dados que sustentasse a caracterização do relevo. A metodologia emprega o processamento desses dados em um Sistema de Informação Geográfica (SIG) no software QGIS (QGIS Development Team, 2023), com a geomorfometria como fundamento principal para os procedimentos de análise. Como dado de elevação, foram utilizadas imagens da missão SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) da NASA (2024), resultando em um Modelo Digital de Elevação (MDE) que permite a análise detalhada das feições do relevo.

O primeiro passo foi corrigir o MDE utilizando a ferramenta `R.FILL.DIR`, disponível na extensão GRASS do QGIS, que preencheu depressões e gerou uma camada de relevo contínua e precisa. Em seguida, aplicou-se uma inversão do MDE, multiplicando os valores de elevação por -1 na calculadora raster do QGIS, procedimento que auxilia na análise da dissecação do relevo ao destacar formas côncavas e convexas.

Com o MDE invertido, extraímos as informações de direção de fluxo novamente com a ferramenta `R.FILL.DIR`. Utilizamos ainda a ferramenta "Preencher sem dados" para garantir que nenhuma área ficasse sem informação. Em seguida, essa camada foi processada com a ferramenta `R.WATERSHED` para gerar a camada de Meias Bacias, convertida posteriormente em vetor usando `r.to.vect`, a fim de realizar a análise geométrica e altimétrica dessas áreas.

Para a análise da dissecação do relevo, conforme postulado por OpenGis (2020), aplicamos um processo dividido em duas variáveis: a Dissecação Vertical (DV) e a Dissecação Horizontal (DH). A DV foi obtida a partir da ferramenta de Estatísticas Zonais, que permitiu adicionar à tabela de atributos das Meias Bacias o valor de altimetria, representado pelo intervalo de altitude entre pontos altos e baixos. Já a DH foi calculada na tabela de atributos das Meias Bacias com a criação de campos de área e perímetro, dividindo o perímetro pela área para obter a largura média da bacia.

Esses valores foram reclassificados na tabela de atributos segundo os critérios de Ross (1994), que categorizam a dissecação em cinco classes de DH e DV, criando um script para um novo campo conforme mostrado na tabela abaixo:

Tabela 3: Códigos para calcular as Dissecações na Calculadora de Campo

Dissecação Horizontal (DH)	Classificação de DH
DH < 250	5
250 ≤ DH < 750	4
750 ≤ DH < 1750	3
1750 ≤ DH < 3750	2
DH ≥ 3750	1

Dissecação Vertical (DV)	Classificação de DV
DV < 20	10
20 ≤ DV < 40	20
40 ≤ DV < 80	30
80 ≤ DV < 160	40
DV ≥ 160	50

Fonte: A autora (2024).

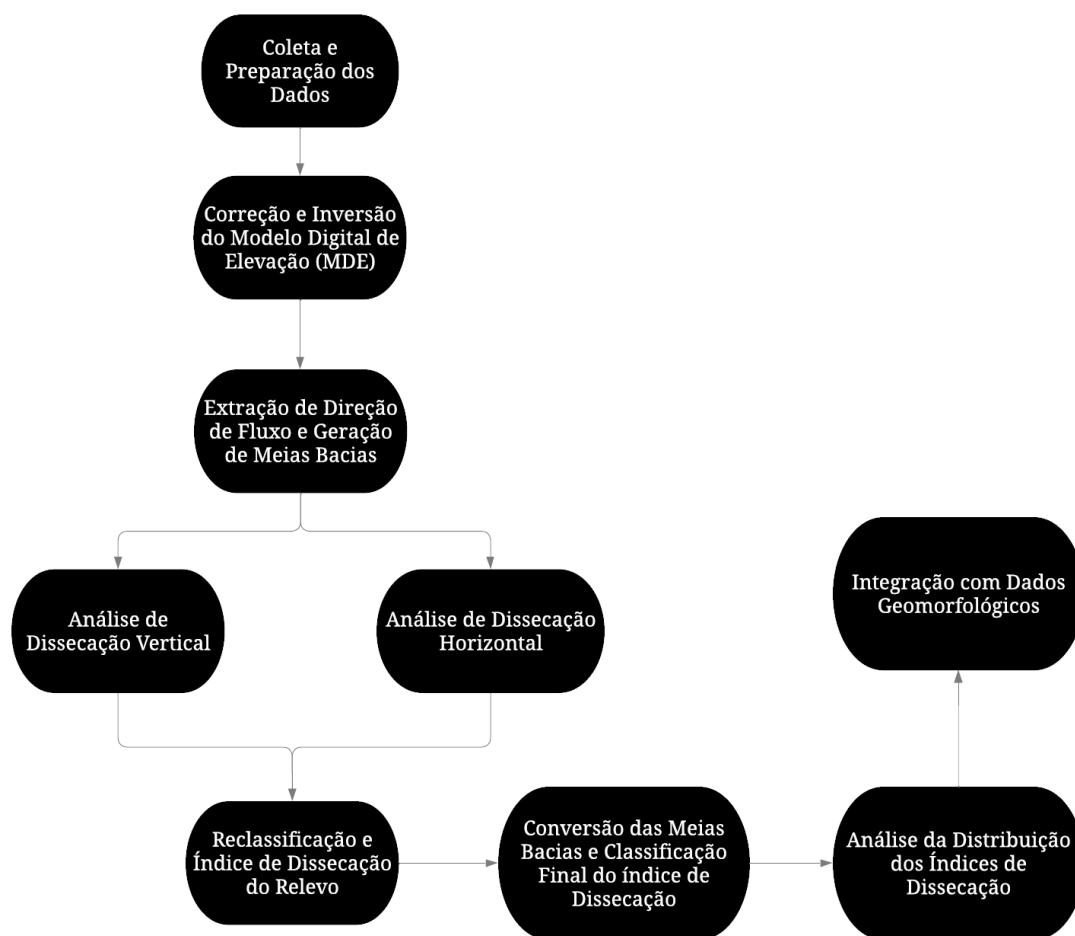
Com esses valores reclassificados, calculamos o Índice de Dissecação do Relevo somando as classes de DH e DV segundo a proposição de OpenGis (2020), resultando em uma medida que reflete a intensidade da dissecação. A camada vetorial de Meias Bacias foi então reconvertida para raster, utilizando o índice recém-calculado. Esse índice de dissecação foi classificado conforme a metodologia de Guimarães et al. (2017), ajustando as classes para refletir as características reais da área de estudo.

Para investigar a distribuição espacial dos índices de dissecação, comparamos a camada de rugosidade (extraída da “flow direction”) com a camada dos Índices de Dissecação. A observação mostrou que regiões com maior dissecação apresentavam uma rugosidade mais intensa, o que sugere uma ação mais forte dos agentes erosivos nessas áreas. Esse padrão motivou a criação de uma camada vetorial adicional com polígonos que delimitavam “Regiões Geomorfométricas”, ou seja, áreas com características geomorfométricas semelhantes.

Por fim, integrou-se as informações geomorfométricas com dados geomorfológicos existentes, como os Planaltos mapeados por Rodrigues et al. (2023) para a área da Folha Uberaba, em escala 1:1.000.000. A comparação revelou similaridades entre as “Regiões Geomorfométricas” e os Planaltos mapeados, embora subdivisões adicionais fossem necessárias devido à diferença de escala e tipologia de abordagem, sendo uma vetorial e outra em raster. O mapa final foi composto adaptando-se as nomenclaturas dos Planaltos de Rodrigues et al. (2023) e acrescentando classificações de baixo, médio e alto grau de dissecação a partir da comparação entre as próprias regiões. A classificação das formas representadas na legenda é baseada na interseção dessas duas fontes de informação, com a cartela de cores derivada das propostas feitas por Rodrigues et al. (2023). Os graus de dissecação são destacados tanto no nome das unidades quanto na intensidade das cores, conferindo clareza à representação visual.

O resultado final é um mapa detalhado, que integra informações geomorfológicas e geomorfométricas, proporcionando uma visão completa dos padrões de dissecação e das informações de relevo. Essa metodologia oferece uma análise aprofundada das formas de relevo e suas variações ao ser aplicada em uma escala de menor detalhe, contribuindo significativamente para a interpretação dos processos geomorfológicos de Uberaba. Para facilitar a compreensão o fluxograma abaixo demonstra as etapas a serem realizadas ao seguir essa metodologia:

Figura 4: Fluxograma da Metodologia do Mapeamento Geomorfológico

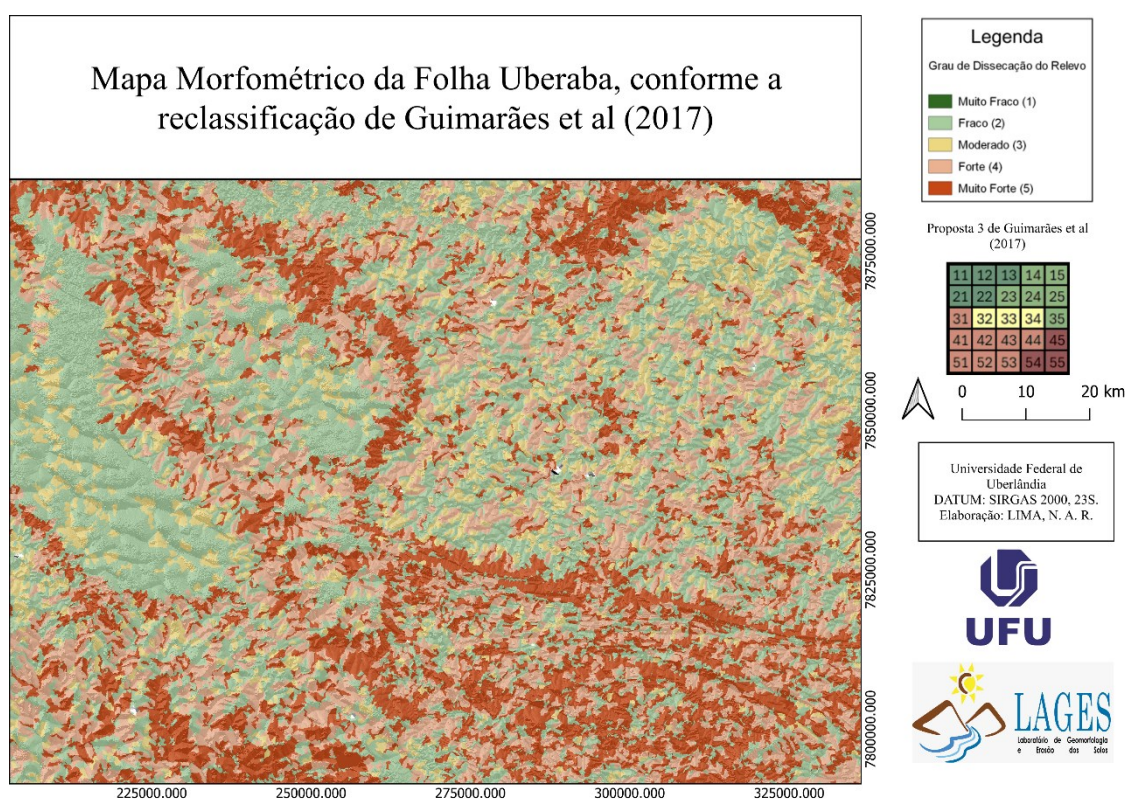


Fonte: A autora (2024)

7. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A aplicação do Índice de Dissecação do Relevo (IDR), ajustado conforme Guimarães et al. (2017) a partir da proposta original de Ross (1994), permitiu a produção de um mapa morfométrico para a carta Uberaba na escala de 1:250.000, que ilustra a variação nos graus de dissecação da área de estudo (Figura 5). Esse mapa, ao evidenciar a intensidade dos processos erosivos e a configuração dos interflúvios, torna visíveis padrões que revelam a intensidade da dissecação nos diferentes setores da carta Uberaba, com destaque para as classes de dissecação fraca e moderada, predominantes na extensão da carta. A predominância da distribuição fraca e moderada sugere que o relevo é menos esculpido na área, com vales e interflúvios que, embora bem definidos, não apresentam profundidade acentuada. Já as porções centrais e sul da carta exibem graus de dissecação mais intensos, condizentes com a maior presença de feições topográficas complexas e rede de drenagem densa.

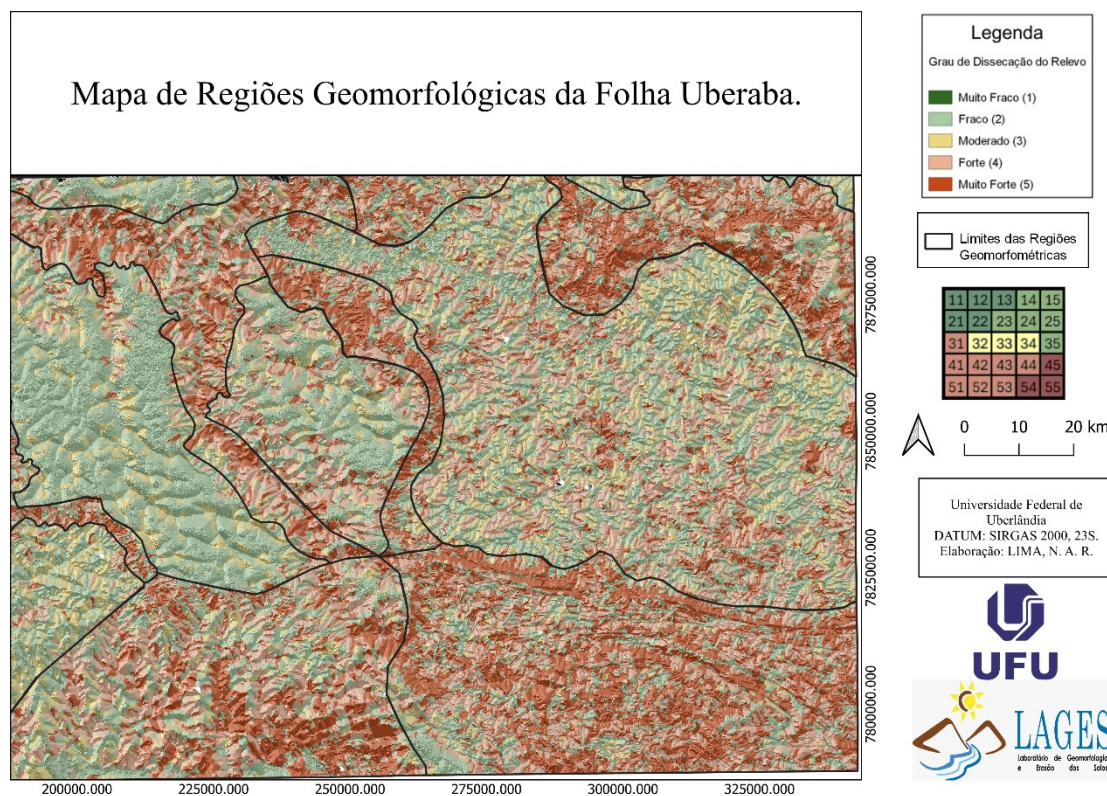
Figura 5: Mapa Morfométrico da Carta Uberaba



Fonte: A autora (2024)

Além disso, a construção do mapa de “Regiões Geomorfométricas” (*Figura 6*) fornece um panorama que complementa a análise morfométrica ao indicar zonas de variação geomorfológica com base na rugosidade e no índice de dissecação, detalhando como diferentes tipos de relevo são espacialmente distribuídos e correlacionados. Este mapa foi útil para identificar as áreas com características geomorfológicas homogêneas, o que facilitou a identificação de regiões com maior e menor suscetibilidade à ação erosiva, além de destacar as zonas de transição entre as áreas de maior e menor dissecação. A classificação das formas de relevo e a organização dos limites das Regiões Geomorfométricas se mostraram valiosas na determinação de zonas de dissecação, onde a ação dos processos erosivos possui intensidade diferenciada.

Figura 6: Mapa das Regiões Geomorfométricas

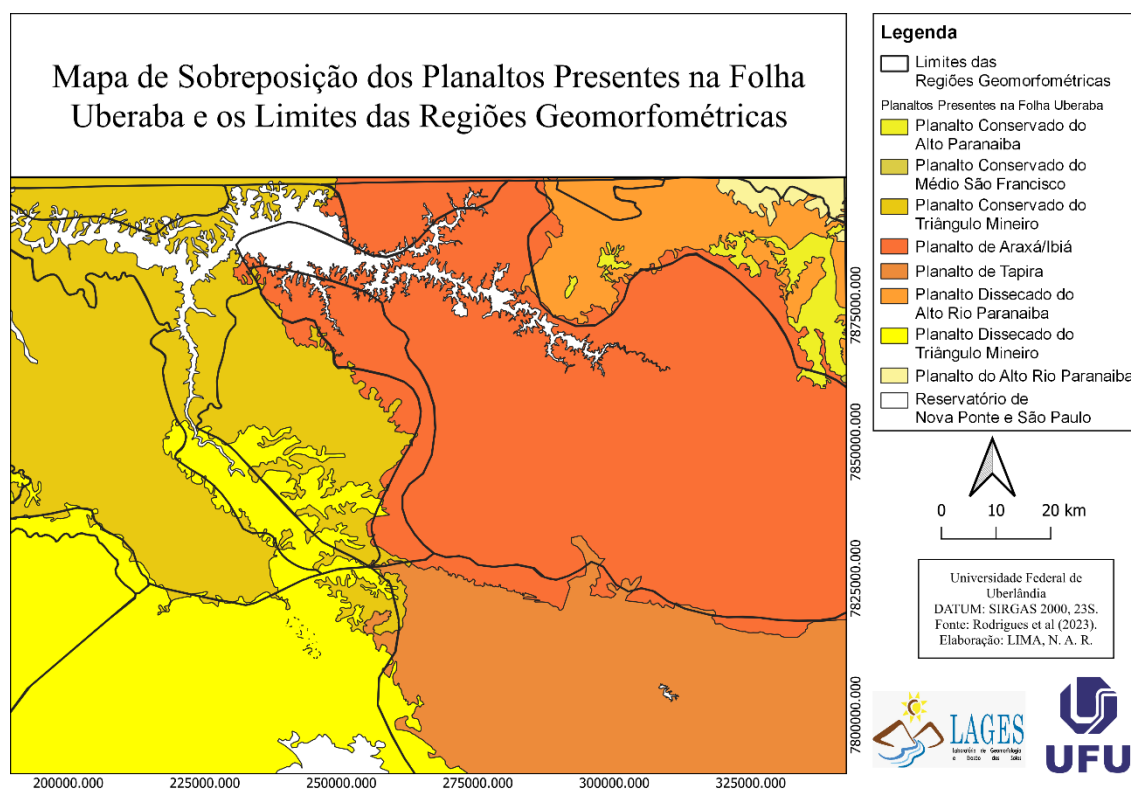


Fonte: A autora (2024)

Ao sobrepor o mapa de Planaltos previamente mapeados por Rodrigues et al. (2023) com os limites das Regiões Geomorfométricas (*Figura 7*), observou-se uma congruência significativa entre as delimitações estabelecidas para os planaltos e os

limites das regiões geomorfométricas. Essa coincidência de limites sugere que, apesar das limitações do IDR para representar com precisão a dissecação em uma escala regional como 1:250.000, ele ainda oferece informações valiosas sobre a organização espacial do relevo, pois as áreas mais dissecadas coincidem com planaltos previamente mapeados. Dessa forma, embora o IDR não capte adequadamente a dissecação em regiões de relevo plano porque não encontra nenhuma área com classe muito baixa, ele revela as principais variações nas áreas de relevo mais acidentado, ajudando a identificar limites geomorfológicos em consonância com aqueles descritos no mapeamento geomorfológico existente.

Figura 7: Mapa de Sobreposição dos Planaltos Presentes na Folha Uberaba e os Limites das Regiões Geomorfométricas



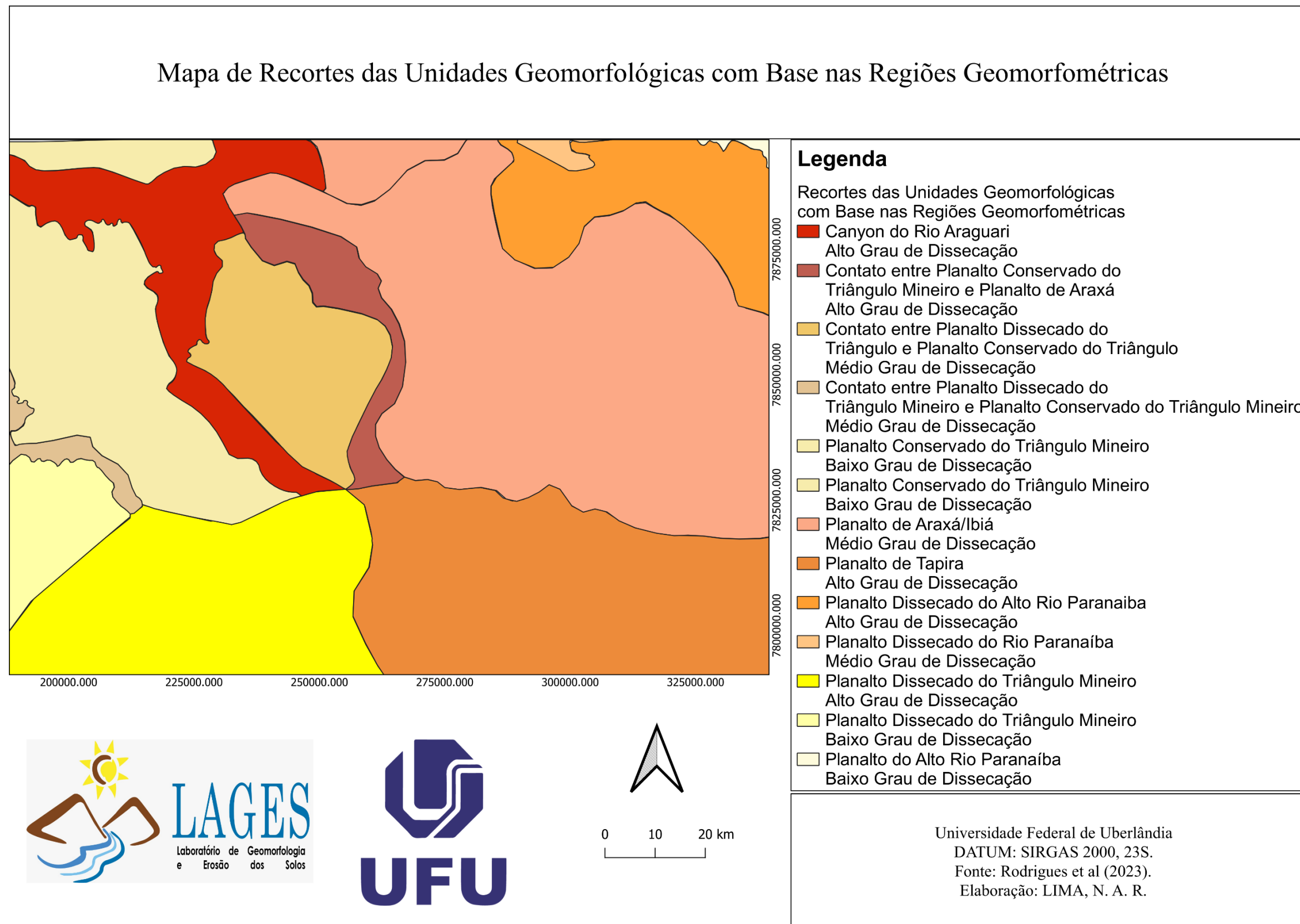
Fonte: A autora (2024).

Entretanto, a aplicação do IDR mostrou-se inadequada para a construção de um mapa puramente geomorfológico. Na escala de 1:250.000, observou-se que o índice de dissecação não traz resultados satisfatórios para as áreas de relevo menos acidentado, resultando em uma classificação inconsistente, especialmente nas áreas de topos de chapadas. Nessas áreas, onde o relevo é predominantemente plano, os

índices de dissecação foram classificados como fracos e médios, o que não corresponde à realidade do relevo, que é pouco dissecado. Essa inadequação ressalta a limitação do IDR em capturar as nuances do relevo em áreas onde a variação altimétrica é sutil, sendo necessário ajustar a metodologia ou combinar outras métricas para representar essas regiões de forma mais acurada.

Com base nesses resultados, decidiu-se que a subdivisão de um mapa geomorfológico já embasado, como o de Rodrigues et al. (2023), seria mais representativa para uma análise regional. Essa escolha permitiu que as classificações geomorfológicas existentes fossem refinadas com a adição de informações de grau de dissecação, de modo a produzir um mapa híbrido (Figura 8) que preservasse a integridade das unidades geomorfológicas previamente definidas, ao mesmo tempo em que incorporava dados sobre a intensidade de dissecação. Essa abordagem evitou as distorções observadas no IDR e respeitou as subdivisões naturais do relevo mapeadas por Rodrigues et al., reforçando a correlação entre as informações morfológicas e geomorfométricas.

Figura 8: Mapa de Recortes das Unidades Geomorfológicas com Base nas Regiões Geomorfométricas



Fonte: a autora (2024).

O mapa final resultante integra informações geomorfométricas e geomorfológicas, criando um retrato mais detalhado da área, onde as unidades geomorfológicas estão classificadas com base na metodologia de Rodrigues et al. (2023) e incluem as intensidades de dissecação como características complementares. Para melhor compreensão, abaixo pode ser observada a legenda em tamanho adequado:

O cruzamento metodológico, que utiliza as Regiões Geomorfométricas como referência espacial, mostrou-se vantajoso para a interpretação geomorfológica da região, pois possibilitou identificar padrões de dissecação que coincidem com as delimitações dos planaltos, resultando em uma análise rica e bem fundamentada dos processos de dissecação.

O estudo demonstra que, apesar das limitações do IDR para áreas de relevo plano, sua aplicação é válida para regiões de relevo mais acidentado, onde ele destaca as zonas de variação morfológica. Além disso, a integração de informações geomorfométricas e geomorfológicas através da subdivisão dos limites dos planaltos enriquece o mapeamento, garantindo que os processos de dissecação sejam visualizados em consonância com as unidades de relevo existentes. Essa abordagem oferece, portanto, uma solução eficiente para os desafios apresentados pela escala regional e pode servir de base para futuros estudos de geomorfometria aplicada ao mapeamento regional.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo propôs uma abordagem metodológica para o mapeamento geomorfológico e geomorfométrico da carta Uberaba, em escala de 1:250.000, combinando análises de dissecação do relevo com a delimitação de unidades geomorfológicas previamente estabelecidas. A aplicação do Índice de Dissecação do Relevo (IDR), ajustado conforme a proposta de Guimarães et al. (2017), foi útil para caracterizar a intensidade dos processos erosivos em áreas de relevo mais acidentado, onde vales e interflúvios são bem demarcados. No entanto, o índice apresentou limitações importantes ao representar regiões de relevo plano, o que destaca a necessidade de aprimoramento dessa metodologia, especialmente em escalas regionais com menor detalhamento, como a escala de 1:250.000.

Nas áreas de relevo plano, como as chapadas, o IDR não capturou adequadamente as sutilezas topográficas, classificando-as incorretamente como de dissecação fraca a moderada. Essa classificação não reflete com precisão a realidade do relevo, que é predominantemente plano e pouco dissecado. Esse tipo de discrepância revela que a aplicação do IDR, embora forneça insights valiosos, não é satisfatória para todas as variações do relevo na área estudada, especialmente em terrenos de baixa declividade. Como resultado, a aplicação de uma metodologia que considera exclusivamente o IDR mostrou-se insuficiente para produzir um mapa geomorfológico fiel ao relevo local.

Dessa forma, a metodologia foi ajustada com a sobreposição de limites geomorfométricos e geomorfológicos, utilizando o mapeamento de Rodrigues et al. (2023) como base para refinar a classificação das unidades de relevo. Esse procedimento permitiu criar um mapa híbrido, no qual as unidades geomorfológicas estabelecidas são subdivididas conforme as variações de intensidade de dissecação, respeitando, na medida do possível, as feições de relevo identificadas anteriormente. Embora essa abordagem tenha ampliado a capacidade de análise, a necessidade de metodologias mais robustas e adaptadas à escala regional permanece evidente, especialmente para a construção de diretrizes que traduzam, de forma fidedigna, as características geomorfológicas de áreas amplas e variadas como a carta Uberaba.

A coincidência observada entre as regiões de dissecação e os limites de planaltos previamente mapeados sugere que há potencial na aplicação de dados

geomorfométricos para estudos futuros, pois esses dados podem contribuir para delimitar divisões de relevo em áreas acidentadas. No entanto, a disparidade de resultados em áreas de relevo mais plano ressalta as limitações dessa abordagem na escala regional. Como o índice de dissecação não contempla com precisão as feições geomorfológicas de terrenos planos, urge a necessidade de continuidade nos estudos para desenvolver métodos mais adaptáveis às variações topográficas e geomorfológicas locais.

Em síntese, este trabalho indica que, para atingir um mapeamento geomorfológico mais fiel em escalas intermediárias, são necessários avanços significativos na adaptação das metodologias de dissecação do relevo. Tais avanços poderiam auxiliar a padronização de diretrizes geomorfológicas no Brasil, garantindo uma representação que se ajuste à realidade do relevo local e regional. A continuidade de estudos nessa linha, voltados ao desenvolvimento de métodos específicos para diferentes tipos de relevo e escalas, é essencial para fortalecer o conhecimento geomorfológico e, futuramente, promover o planejamento territorial e a gestão ambiental de forma mais integrada e precisa.

9. REFERÊNCIAS

- ARGENTO, M. S.** Mapeamento geomorfológico. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Org.). *Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos*. 7. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007. p. 365-391.
- ASPIAZÚ, I. et al.** Variabilidade temporal da precipitação mensal e anual na estação climatológica de Uberaba-MG. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 2003. DOI: [10.1590/S1413-70542003000300023](https://doi.org/10.1590/S1413-70542003000300023).
- BAPTISTA, Marcos Cristóvão; SILVA, Sandra Fernandes da; DANTAS, Marcelo Eduardo; DUARTE, Kátia da Silva; ALMEIDA, Bernardo Faria de; MURICY FILHO, Antenor de Faria; COUTINHO, Cintia Itokazu; PEDROSA, Luciene.** Aspectos gerais do meio físico. In: MACHADO, Marcelly Ferreira; SILVA, Sandra Fernandes da (Org.). *Geodiversidade do estado de Minas Gerais*. Belo Horizonte: CPRM, 2010. p. 15-31.
- BISCAIA, L. M.; ZULIANI, J. C.; MORAES, A. C. R.; OESTERREICH, G. A. S.; BASSO, L. F. S.** O uso da série histórica de precipitação como subsídio para análise da relação entre a precipitação e a produção agrícola na bacia do rio Uberaba. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 7, n. 3, p. 423-428, 2003. DOI: 10.1590/S1413-70542003000300023.
- BIZZI, L. A.; SCHOBENHAUS, C.; VIDOTTI, R. M.; GONÇALVES, J. H.** Bacias Sedimentares Paleozóicas e Meso-Cenozóicas Interiores. In: BIZZI, L. A.; SCHOBENHAUS, C.; VIDOTTI, R. M.; GONÇALVES, J. H. *Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil: texto, mapas & SIG*. Brasília: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, p. 55-87, 2003.
- CHORLEY, R. J.** Climate and morphometry. *Journal of Geology*, v. 65, p. 628-638, 1957.
- CEN/SBCR.** Sistema Brasileiro de Classificação do Relevo: proposta para padronização dos processos de mapeamento do relevo no Brasil. Brasília, 2022.
- 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 (Online)*, São Paulo, v. 18, n. 1, p. 155-167, jan./mar. 2017.
- HASUI, Y.** Cráton São Francisco. In: HASUI, Y.; CARNEIRO, C. D. R.; ALMEIDA, F. F. M.; BARTORELLI, A. *Geologia do Brasil*. São Paulo: Beca, 2012. p. 200 - 328.
- HASUI, Y.** Sistema Orogênico Tocantins. In: HASUI, Y.; CARNEIRO, C. D. R.; ALMEIDA, F. F. M.; BARTORELLI, A. *Geologia do Brasil*. São Paulo: Beca, 2012. p. 289 - 330.
- HENGL, T.; EVANS, I. S.** Mathematical and digital models of the land surface. In: HENGL, T.; REUTER, H. I. (Org.). *Geomorphometry: Concepts, Software, Applications*. 1. ed. Amsterdam: Elsevier, 2009. p. 31-65.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE).** Bacias e divisões hidrográficas do Brasil: série relatórios metodológicos. Rio de Janeiro: IBGE, 2021. Disponível em:

<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101854.pdf>. Acesso em: 30 out. 2024.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **BDIA - Base de Dados Interativa de Geociências**. Disponível em:

<https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/consulta/geologia>. Acesso em: 24 out. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE).

Macrocaracterização dos recursos naturais do Brasil: geologia, geomorfologia, pedologia e vegetação. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. Disponível em:

<https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/estudos-ambientais/24252-macrocaracterizacao-dos-recursos-naturais-do-brasil.html?=&t=downloads>. Acesso em: 30 out. 2024.

KÖPPEN, Wladimir. Das geographische System der Klimate. In: KÖPPEN, Wladimir; GEIGER, Rudolf (Org.). *Handbuch der Klimatologie*. Berlin: Gebrüder Borntraeger, 1936. p. C1-C44.

MARQUES NETO, R.; FERRARO, B. V. Cartografia geomorfológica regional e morfogênese: contribuições metodológicas. *Revista Brasileira de Geomorfologia* (Online), São Paulo, v. 19, n. 2, p. 267-281, abr./jun. 2018.

Disponível em: <https://rbgeomorfologia.org.br/rbg/article/view/1267>. Acesso em: 27 out. 2023.

MARTINS, Thallita Isabela Silva. Mapeamento geomorfológico da folha Piumhi, Minas Gerais. Dissertação (Mestrado em Ciências Humanas) – Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-graduação em Geografia, Uberlândia, 2013. p. 157. DOI: <https://doi.org/10.14393/ufu.di.2013.200>.

NASA. *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) 1 Arc-Second Global*. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 12 jul. 2024.

NOVAIS, G. T; BRITO, J. L. S.; SANCHES, F. de O. Unidades Climáticas do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 23, p. 223-243, jul./dez. 2018.

OPENGIS. Índice de dissecação do relevo (IDR), entalhamento dos vales e dimensão interfluvial média no QGIS 3. *YouTube*, 25 ago. 2020. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=FbD8lg6JJqo&t=1602s>. Acesso em: 12 jul. 2024.

PEREIRA, E; CARNEIRO, C. D. R; BERGAMASCHI, S; ALMEIDA, F. F. M. Estágio de Estabilidade Tectônica. In: HASUI, Y; CARNEIRO, C. D. R; ALMEIDA, F. F. M; BARTORELLI, A. *Geologia do Brasil*. São Paulo: Beca, 2012. p. 374 - 395.

QGIS Development Team. QGIS Geographic Information System. Versão 3.28.14. Open Source Geospatial Foundation Project, 2024. Disponível em: <https://qgis.org>. Acesso em: 12 jul. 2024.

REDDY, G. P. O. Remote sensing and GIS for geomorphological mapping. In: REDDY, G.; SINGH, S. (Eds.). *Geospatial Technologies in Land Resources Mapping, Monitoring and Management*. Cham: Springer, 2018. v. 21. p. 223-252.

RODRIGUES, S. C.; AUGUSTIN, C. H. R.; NAZAR, T. I. S. M. Mapeamento geomorfológico do Estado de Minas Gerais: uma proposta com base na

morfologia. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 24, n. 1, p. 1-31, 2023. Disponível em: <https://rbgeomorfologia.org.br/rbg/article/view/1267>. Acesso em: 28 out. 2023.

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

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

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM. *Geologia e recursos minerais da folha Uberaba*. Brasília: CPRM, 2015. 120 p. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/7753>. Acesso em: 08 out. 2024.

SILVA, T. I.; RODRIGUES, S. C. Elaboração de um tutorial de cartografia geomorfológica como alternativa para o ensino de geomorfologia. *Revista Geografia Acadêmica*, Boa Vista, v. 3, n. 2, p. 85-94, 2009.

SILVA, T. M. Raízes dos mapeamentos geomorfológicos e perspectivas atuais. *Humboldt - Revista de Geografia Física e Meio Ambiente*, Rio de Janeiro, v. 1, n. 2, e57380, 2021. p. 27.

TOPODATA. carta topográfica Uberaba. geotiff. Escala 1:250.000. Projeção UTM. Folha SE SE-23-Y-C. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/data/geotiff/>. Acessado em: agosto de 2023.