
CLASSIFICAÇÃO AUTOMATIZADA DOS ELEMENTOS DO RELEVO DE ERECHIM, RIO GRANDE DO SUL/BRASIL

AUTOMATED CLASSIFICATION OF LANDFORM ELEMENTS IN ERECHIM, RIO GRANDE DO SUL/BRASIL

CLASIFICACIÓN AUTOMATIZADA DE LOS ELEMENTOS DEL RELIEVE DE ERECHIM, RIO GRANDE DO SUL/BRASIL

André Ricardo Furlan

Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Geociências, Santa Maria, Brasil.

E-mail: andre.ricardofurlan@gmail.com.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1927-6114>.

Romario Trentin

Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Geociências, Santa Maria, Brasil.

E-mail: romario.trentin@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0615-2801>.

Luís Eduardo de Souza Robaina

Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Geociências, Santa Maria, Brasil.

E-mail: lesrobaina@yahoo.com.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2390-6417>.

RESUMO

Este estudo investiga as formas de relevo no município de Erechim, no Rio Grande do Sul/Brasil, destacando a importância da geomorfologia no planejamento ambiental e ordenamento territorial. Utilizando programas de SIG (QGIS e ArcGIS), sistematizamos dados topográficos e geramos um Modelo Digital do Terreno (MDT) com base em geoprocessamento, utilizando cartas topográficas na escala 1:50.000. A classificação automatizada dos elementos do relevo foi realizada com o algoritmo *r.geomorphon*, no software GRASS GIS, identificando dez diferentes *geomorphons*. A análise revelou a predominância dos elementos Encostas (29,18%) e Cristas Secundárias (18,25%), enquanto Áreas Planas (0,39%) e Bases de Encostas (1,06%) possuem ocorrência restrita. Nas Unidades Geomorfológicas do município, no Planalto de Santo Ângelo, predominam os elementos Encostas, Cristas Secundárias, Cristas, Vales e áreas Escavadas. Já no Planalto Dissecado do Rio Uruguai, os elementos mais expressivos são Encostas, Cristas Secundárias, áreas Escavadas, Vales e Cristas, com ausência de Áreas Planas, Ressaltos e Bases de Encostas. As técnicas de geoprocessamento utilizadas oferecem rapidez e utilidade na implementação do ordenamento territorial em escala municipal. A atualização do mapeamento das Unidades Geomorfológicas é essencial para aprimorar a análise dos

geomorphons, permitindo uma compreensão mais precisa das dinâmicas de relevo e agilidade no processamento de dados.

Palavras-chave: Cartografia Geomorfológica; Geoprocessamento; *Geomorphons*.

ABSTRACT

This study investigates the landforms in the municipality of Erechim, Rio Grande do Sul, Brazil, highlighting the importance of geomorphology in environmental planning and territorial management. Using GIS software (QGIS and ArcGIS), we systematized topographic data and generated a Digital Terrain Model (DTM) through geoprocessing, based on topographic maps at a 1:50,000 scale. The automated classification of landform elements was performed using the *r.geomorphon* algorithm in GRASS GIS software, identifying ten different geomorphons. The analysis revealed a predominance of the Slope (29.18%) and Secondary Ridge (18.25%) elements, while Flat Areas (0.39%) and Footslopes (1.06%) were less common. In the Geomorphological Units of the municipality, on the Santo Ângelo Plateau, the predominant elements are Slopes, Secondary Ridges, Ridges, Valleys, and Hollowed areas. On the other hand, in the Dissected Plateau of the Rio Uruguai, the most prominent elements are Slopes, Secondary Ridges, Hollowed areas, Valleys, and Ridges, with the absence of Flat Areas, Shoulders, and Footslopes. The geoprocessing techniques used provide speed and utility for the implementation of territorial management at the municipal scale. Updating the mapping of Geomorphological Units is essential to improve the analysis of geomorphons, allowing for a more precise understanding of relief dynamics and faster data processing.

Keywords: Geomorphological Cartography; Geoprocessing; Geomorphons.

RESUMEN

Este estudio investiga las formas de relieve en el municipio de Erechim, en Rio Grande do Sul, Brasil, destacando la importancia de la geomorfología en la planificación ambiental y el ordenamiento territorial. Utilizando programas SIG (QGIS y ArcGIS), sistematizamos datos topográficos y generamos un Modelo Digital del Terreno (MDT) basado en geoprocésamiento y en mapas topográficos a escala 1:50.000. La clasificación automatizada de los elementos del relieve se realizó con el algoritmo *r.geomorphon* en el software GRASS GIS, identificando diez geomorphons diferentes. El análisis reveló una predominancia de los elementos Pendiente (29,18%) y Cresta Secundaria (18,25%), mientras que las Áreas Planas (0,39%) y las Bases de Pendiente (1,06%) tienen una ocurrencia limitada. En las Unidades Geomorfológicas del municipio, en el Planalto de Santo Ângelo, predominan los elementos Pendientes, Crestas Secundarias, Crestas, Valles y áreas Excavadas. En el Planalto Dissecado del Río Uruguai, los elementos más expresivos son Pendientes, Crestas Secundarias, áreas Excavadas, Valles y Crestas, con ausencia de Áreas Planas, Hombros y Bases de Pendiente. Las técnicas de geoprocésamiento utilizadas ofrecen rapidez y utilidad para la implementación del ordenamiento territorial a escala municipal. La actualización del mapeo de las Unidades Geomorfológicas es fundamental para mejorar el análisis de los *geomorphons*, permitiendo una comprensión más precisa de las dinámicas del relieve y agilidad en el procesamiento de datos.

Palabras clave: Cartografia Geomorfológica; Geoprocésamiento; Geomorphons.

1 - Introdução

As formas do relevo desempenham um papel fundamental nos estudos geográficos, especialmente no planejamento ambiental e no ordenamento territorial. Segundo Guerra e Marçal (2012), a geomorfologia investiga essas formas, considerando sua origem, desenvolvimento e composição dos materiais envolvidos.

O conhecimento geomorfológico é essencial para compreender as interações entre sociedade e natureza, além de subsidiar ações de gestão territorial (Souza, 2018). O avanço das geotecnologias e a integração de dados topográficos em ambientes computacionais, como a cartografia digital do relevo, têm ampliado a precisão e a agilidade das análises (Furlan *et al.*, 2018b). Apesar das limitações das escalas, a classificação geomorfológica organiza o conhecimento ambiental e contribui para cenários interpretativos consistentes (Xavier da Silva, 1994).

No Brasil, o projeto RADAMBRASIL (1970–1985) foi pioneiro no uso de imagens de radar aerotransportado para mapear o território nacional, abrangendo uma escala de 1:1.000.000. Incorporado ao IBGE em 1985, o projeto fortaleceu a cartografia geomorfológica no país (Barbosa *et al.*, 1984; Parona; Claessens, 2011). A abordagem taxonômica utilizada pelo RADAMBRASIL apresenta escalas cartográficas que variam entre 1:1.000.000 e 1:250.000 (Pelech *et al.*, 2019; Botelho; Pelech, 2019), sendo indispensável para análises geomorfológicas e planejamento ambiental, consolidando um referencial essencial na pesquisa e gestão territorial brasileira (Barbosa *et al.*, 1984; Nunes *et al.*, 1995). O projeto classifica cinco níveis hierárquicos da geomorfologia, incluindo, formas areolares Domínio Morfoestrutural, Regiões Geomorfológicas, Unidades Geomorfológicas e Tipos de Modelados e utilizam simbologias para Fato Geomorfológico Mapeado (Nunes *et al.*, 1995; IBGE, 2009).

Nesse contexto, a escolha adequada da escala de trabalho é determinante para a organização da cartografia das formas e feições do relevo (Kohler, 2002). A objetividade no mapeamento é particularmente relevante em análises detalhadas de manejo ambiental, onde escalas grandes, variando de 1:2.000 a 1:10.000, são utilizadas. Por sua vez, para planejamentos urbanos e regionais, escalas comuns estão entre 1:10.000 e 1:50.000, permitindo identificar as tipologias do relevo e as atividades associadas aos processos geomorfológicos ao longo do tempo histórico-geográfico. Mapas em grandes e médias escala não apenas identificam essas

tipologias, mas também ilustram as atividades humanas e naturais relacionadas ao relevo (Silva, 2007; Dramisa; Guidab; Cestaric, 2011).

Por outro lado, escalas de 1:100.000 a 1:250.000 são comumente empregadas para a elaboração de inventários e identificação de recursos naturais. Já escalas menores, como de 1:250.000 a 1:1.000.000, visam representar a evolução da paisagem em uma perspectiva geológica, destacando a morfologia do relevo. Esses produtos cartográficos proporcionam uma visão abrangente dos processos que moldam o território e ajudam a compreender a interação entre os fatores geomorfológicos e temporais (Silva, 2007; Dramisa, Guidab; Cestaric, 2011).

A cartografia geomorfológica passou por uma evolução marcante ao longo das décadas. Inicialmente baseada em métodos tradicionais, como fotografias aéreas e representações bidimensionais, avançou com a introdução de Modelos Digitais de Terreno (MDTs). Esses modelos possibilitaram visualizações tridimensionais do relevo, proporcionando análises mais detalhadas e precisas (Fitz, 2008a, 2008b; Menezes; Fernandes, 2013). Essa transição, impulsionada pelo desenvolvimento de tecnologias digitais a partir da década de 1990, transformou profundamente a disciplina (Oguchi, 2019).

Inicialmente, o relevo era representado por símbolos pontuais e lineares segundo convenções cartográficas convencionais (Argento, 1994; Verstappen, 2011; Ross, 2017). Essa abordagem, contudo, dependia da experiência do intérprete, o que resultava em inconsistências, especialmente em escalas mais detalhadas. A evolução da cartografia geomorfológica incluiu a introdução de técnicas estereoscópicas com fotografias aéreas e, posteriormente, o uso de metodologias digitais e geoprocessamento integrado a sistemas computacionais (Florinsky, 1998).

Com o avanço das geotecnologias e o acesso facilitado a dados em diferentes formatos, a cartografia geomorfológica passou a oferecer representações mais eficazes em pequenas, médias e grandes escalas, ampliando o detalhamento e a precisão das análises. Esse progresso marca o amadurecimento da disciplina, que agora apresenta representações mais objetivas e abrangentes para análise e planejamento ambiental (Oguchi, 2019).

O desenvolvimento dos Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) e das técnicas de geoprocessamento trouxe avanços consideráveis na classificação e extração de informações geomorfológicas. Essas inovações reduziram a subjetividade, aumentando a precisão e a

rapidez na identificação das formas do relevo (Pike, 2000; Florenzano, 2008; Muñoz, 2009; Minár, 2024). Essas inovações também permitiram a representação geomorfológica com polígonos fechados, oferecendo uma visão mais completa das unidades de relevo e facilitando o mapeamento em escalas variadas (Dramisa; Guidab; Cestaric, 2011). Um exemplo dessa evolução é a metodologia *geomorphon*, que classifica formas de relevo a partir de dados topográficos, oferecendo uma análise detalhada e escalável (Stepinski; Jasiewicz, 2011; Jasiewicz; Stepinski, 2013).

Ao abordar a escala cartográfica para análises geomorfológicas, Tricart (1965) apresenta uma classificação de oito táxons distintos, organizados por ordem de grandeza conforme a extensão da área individual das formas. Cada táxon é definido principalmente pela unidade de superfície, permitindo uma melhor compreensão das características geomorfológicas em diferentes escalas.

Neste artigo, enfatiza-se a cartografia nas escalas de 1:100.000 e 1:50.000, que são particularmente relevantes para a análise regional em escala municipal. O primeiro corresponde a uma escala pequena, destinada às Unidades Geomorfológicas, enquanto o segundo refere-se a uma escala média, aplicada aos Elementos do Relevo. As escalas geomorfológicas de análise IV (Unidades Geomorfológicas) incluem superfícies com dimensões aproximadas de 100 km², destacando características como maciços montanhosos, *horsts* e vales. Essas unidades estão associadas a climas regionais, predominantemente moldadas pela tectônica secundária da litologia, com uma permanência temporal de até 10.000.000 anos (Tricart, 1965).

O mapa que identifica a geometria e a área individual (Elementos do Relevo), conhecidos como *geomorphons*, na escala 1:50.000, está relacionado à escala geomorfológica de análise VI. Nesta classificação, a unidade de superfície é definida como 10² (0,01 km² ou 10.000 m²). Os exemplos das características das unidades incluem formas como cristas, terraços, e cones de dejeção, tais formas estão associadas a um mesoclima diretamente ligado à sua configuração (Tricart, 1965).

Os mecanismos genéticos que controlam o relevo são predominantemente fatores morfodinâmicos, influenciados pela litologia da região. A ordem de grandeza da permanência temporal dessas formas é estimada em cerca de 10.000 anos, indicando que as características geomorfológicas nesta escala são relativamente estáveis ao longo do tempo geológico (Tricart, 1965). O conceito de "*geomorphon*" refere-se a padrões geomorfológicos comuns identificáveis

nas paisagens. Desenvolvido para capturar formas típicas de relevo com base na curvatura local da superfície, o método evita a necessidade de processamento complexo de modelagem (Jasiewicz; Stepinski, 2013).

Os *geomorphons* descrevem dez formas básicas de terreno: 1) áreas planas (*flat*), 2) picos (*peak*), 3) cristas (*ridge*), 4) ressaltos (*shoulder*), 5) crista secundária (*spur*), 6) encostas (*slope*), 7) escavados (*hollow*), 8) bases de encosta (*footslope*), 9) vales (*valley*) e 10) fossos (*pit*). Essas formas são calculadas usando Modelos Digitais de Elevação (MDEs), permitindo a identificação automática de padrões globais de relevo, e são amplamente aplicadas em geociências, cartografia e planejamento territorial (Stepinski; Jasiewicz, 2011; Jasiewicz; Stepinski, 2013).

O emprego do processamento de *geomorphons* foi aplicado em várias áreas de estudo, incluindo a República Oriental do Uruguai, onde Robaina, Trentin e Achkar (2023) realizaram o mapeamento. No Brasil, a metodologia foi explorada em três Unidades da Federação: no Rio Grande do Sul, por Robaina, Trentin e Laurent (2016); no Tocantins, por Robaina *et al.* (2017) e no Paraná, por Silveira *et al.* (2018). Esse método também foi utilizado para mapear sistemas insulares, como nas ilhas Antárticas, especificamente na Ilha Rei George e nas Ilhas Shetlands do Sul, por Petsch *et al.* (2022). A metodologia ainda foi aplicada em municípios específicos, como em Campo Grande, MS (Amorim; Capoane, 2022), São Martinho da Serra, RS (Scoti; Dotto; Robaina, 2022) e Toropi, RS (Silva; Trentin; Robaina, 2023), demonstrando sua aplicabilidade em diferentes escalas e contextos de análise.

Além disso, a técnica foi amplamente aplicada em bacias hidrográficas, destacando-se os estudos na bacia do Rio Santa Maria, RS (Scoti, 2017), na bacia do Rio Apuaê-Mirim, RS (Furlan; Trentin; Robaina, 2018a), e na bacia hidrográfica em KwaZulu-Natal, África do Sul (Atkinson; Clercq; Rozanov, 2020). Outros exemplos incluem o mapeamento na bacia do arroio Pantanoso, em Canguçu, RS (Dutra; Furlan; Robaina, 2020), e na bacia do Ribeirão Lajeado, TO (Ribeiro; Robaina; Cristo, 2021). Estes trabalhos comprovam a versatilidade da metodologia, que se adapta a diversos objetivos e contextos de análise em diferentes regiões e condições geomorfológicas.

Diante desse contexto, o presente trabalho visa analisar e quantificar os elementos do relevo, conhecidos como *geomorphons*, no município de Erechim (RS – Brasil), a partir das Unidades Geomorfológicas utilizando a escala cartográfica de 1:50.000. A pesquisa visa proporcionar

uma compreensão detalhada da morfologia local por meio da aplicação de técnicas de geoinformação, especificamente a partir da elaboração de um Modelo Digital de Elevação (MDE) e da classificação automatizada das formas de relevo.

Diante desse contexto, este trabalho adota uma abordagem metodológica estruturada em etapas, buscando garantir uma análise ampla e precisa. Nos resultados e na discussão, serão destacadas as principais características da área de estudo, com foco na distribuição das Unidades Geomorfológicas e dos Elementos do Relevo em Erechim. A pesquisa tem como objetivo oferecer uma compreensão detalhada da morfologia local, por meio do uso de técnicas de geoinformação, contemplando a elaboração de Modelos Digitais de Elevação (MDE) e a classificação automatizada das formas de relevo. Essa análise proporciona uma descrição aprofundada da morfologia do município, contribuindo para o entendimento das características territoriais e oferecendo suporte ao planejamento ambiental.

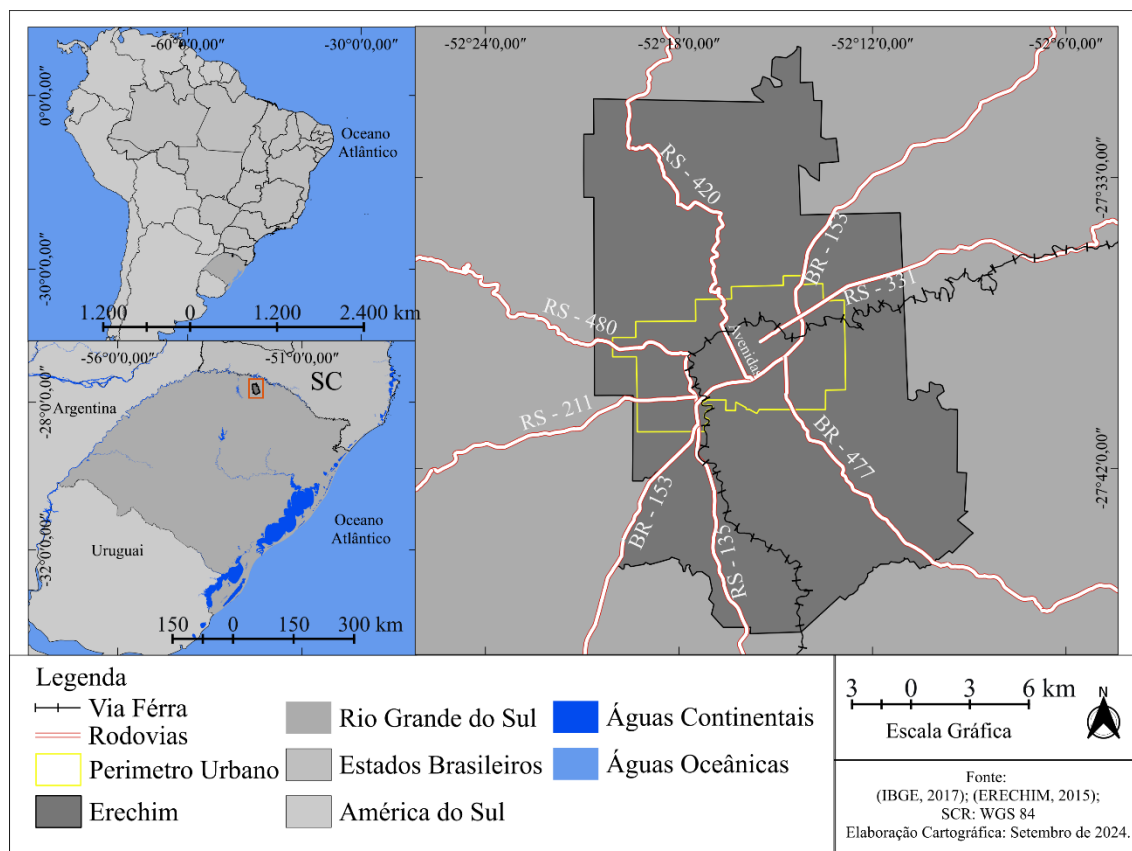
2 - Materiais e Métodos

2.1 – Caracterização da área de estudo

O município de Erechim possui área de 430 km², e a atual área do perímetro urbano, que está localizado na porção central é de aproximadamente 72 km². O município situa-se na porção Norte do estado do Rio Grande do Sul, na região do Alto Uruguai (IBGE, 2017), sendo cortado pela Via Férrea e acessos rodoviários, como a BR 153, BR 477, RS 331, RS 420, RS 480, RS 135 e RS 211 (Figura 1).

Erechim está localizado no Domínio Morfoestrutural das Bacias e Coberturas Sedimentares da Bacia do Paraná, inserido nas Regiões Geomorfológicas do Planalto das Araucárias e do Planalto das Missões. Suas Unidades Geomorfológicas são o Planalto Dissecado do Rio Uruguai e o Planalto de Santo Ângelo, ambos com modelado de dissecção (IBGE, 2008).

Figura 1. Localização da área de estudo



Fontes: Erechim, 2015; IBGE, 2017. Elaboração: os autores, 2024.

Na Figura 2, é possível identificar a localização do município de Erechim, da sua área urbanizada e as Unidades Geomorfológicas do Planalto Dissecado do Rio Uruguai e o Planalto de Santo Ângelo. O Planalto Dissecado do Rio Uruguai é classificado como dissecação marcada por controle estrutural com baixo aprofundamento dos vales (D1). Enquanto o Planalto de Santo Ângelo apresenta modelado de dissecação com baixo aprofundamento de vales e densidade de drenagem grosseira (Dg1). Na escala de 1:1.000.000 (IBGE, 2018), identifica-se um Fato Geomorfológico Mapeado relacionado à tectônica de falha, caracterizado como Escarpa adaptada a Falha ou Linha de Falha.

DOMÍNIOS MORFOESTRUTURAIS, REGIÕES E UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS

BACIAS E COBERTURAS SEDIMENTARES

- PLANALTO DAS MISSÕES
 - Dg 9.588 km²
 - Planalto de Santo Angelo
 - PLANALTO DAS ARAUCÁRIAS
 - D1 40.450 km²
 - Planalto Dissecado Rio Iguaçu - Rio Uruguai

MODELADO DE DISSECAÇÃO - D

HOMOGÊNEA

Dissecação fluvial, isto é, que não obedece a controle estrutural, definida pela combinação das variáveis densidade e aprofundamento da drenagem. A densidade é a relação entre o comprimento total dos canais e a área amostrada, classificada em fina (f), média (m) e grossa (g). O aprofundamento é definido pela média das freqüências dos desníveis, medidos em perfis transversais aos vales contidos da área amostrada classificado em 1, 2 e 3

		APROFUNDAMENTO		
		1	2	3
DENSIDADE	f	f1	f2	f3
	m	m1	m2	m3
	g	g1	g2	g3

DIFERENCIAL

Dissecação marcada por controle estrutural, definida apenas pela variável aprofundamento da drenagem, já que a densidade é controlada pela tectônica e pela litologia. O aprofundamento é definido pela média das freqüências dos desníveis medidos em perfis transversais aos vales contidos na área amostrada classificado em 1, 2 e 3

SÍMBOLOS

- Rodovia Pavimentada
- Rodovia Não Pavimentada
- Estrada de Ferro
- Limite Interestadual
- Escarpa adaptada a falha

MAPA DE GEOMORFOLOGIA

A Unidade Geomorfológica Planalto Dissecado Rio Iguaçu – Rio Uruguai apresenta formas modeladas por processos de dissecção influenciados por fatores estruturais. Esses fatores estão diretamente relacionados à geologia local, marcada por sequências de derrames das rochas efusivas que se diferenciam por suas características morfológicas e petrográficas. Além disso, o derrame vulcânico apresenta variações internas (IBGE, 2018).

página 9

atuar sobre as rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, contribuiu para a formação da Unidade Geomorfológica Planalto Dissecado Rio Iguaçu – Rio Uruguai (IBGE, 2018).

A litologia presente na maior porção do município é representada por basaltos da Formação Serra Geral (Fácies Paranapanema - K1 beta pr). Caracteriza-se por ter uma rede hidrográfica com padrão retangular, controladas por falhas e por fraturas (CPRM, 2007).

Em todo o Planalto de Santo Ângelo, há uma cobertura superficial composta predominantemente por material fino de natureza argilo-siltosa, de coloração avermelhada. Esse material, de característica coesa e homogênea, atinge uma espessura variando entre 3 e 5 m, correspondendo a um Latossolo (IBGE, 2018). No município estão relacionados aos Latossolos Vermelho Aluminifêrricos (LVaf). No Planalto Dissecado Rio Uruguai apresenta-se Nitossolo Vermelho Eutrofêrrico (NVef) e Cambissolo Háptico Eutrofêrrico (CXvef) (IBGE, 2003).

A precipitação anual, que pode variar entre 1.700 e 1.900 mm, é mais intensa na primavera, com volumes de 175 a 215 mm, favorecida pelas altitudes elevadas do Planalto Basáltico e o sistema atmosférico local. As formas do relevo desta área contribuem para os elevados totais pluviométricos, visto que a posição em que se encontra o vale do rio Uruguai, localizado ao Norte do estado do RS, faz com que ocorra ascensão de ar nas direções de Santa Catarina (Norte) e Rio Grande do Sul (Sul) (Rossato, 2020).

2.2 - Base Cartográfica e Modelo Digital de Terreno (MDT)

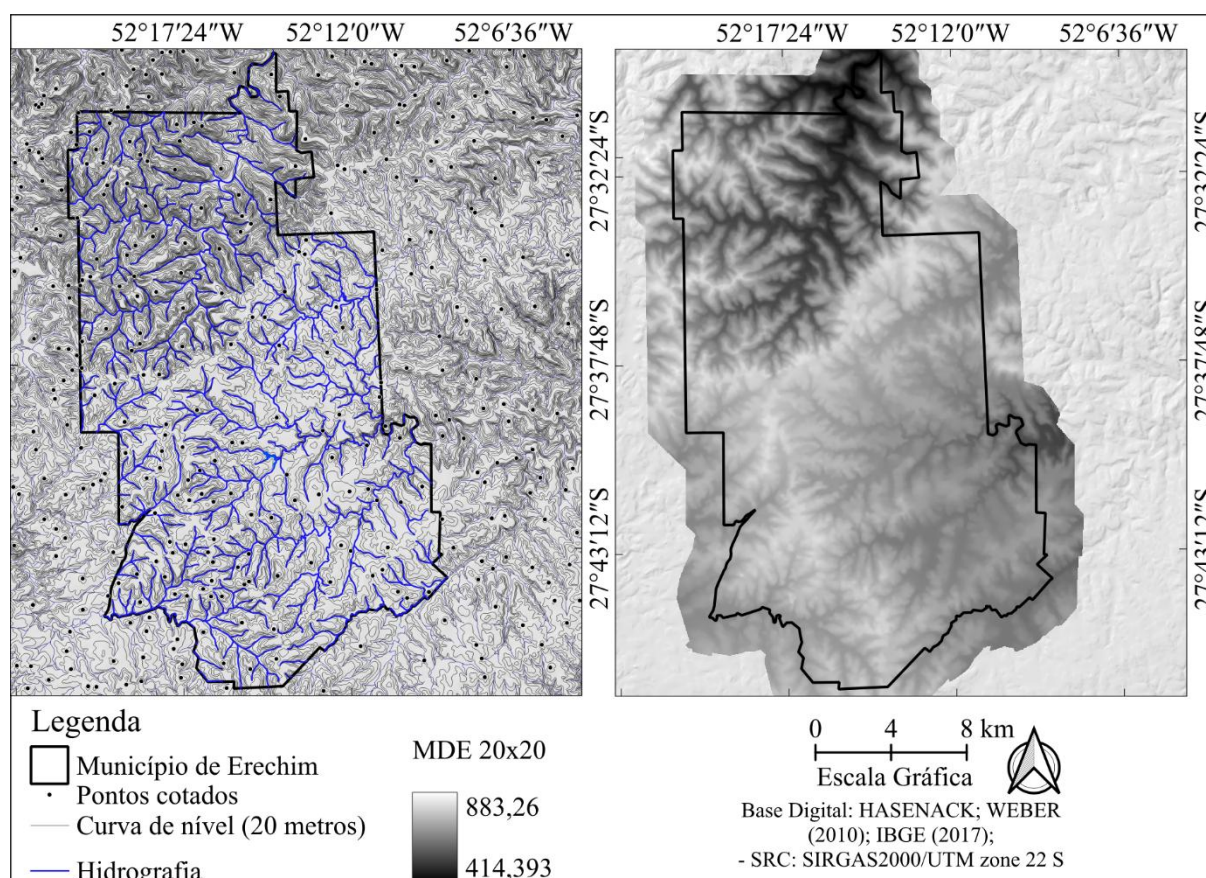
O processo de levantamento e organização dos dados de fontes secundárias foi sistematizado com o uso do Microsoft Excel e especializado nos programas Quantum GIS (QGIS) 3.16.7 e ArcGIS® 10.8. A utilização do Sistema de Informações Geográficas (SIG) seguiu os procedimentos técnicos descritos por Fitz (2008a, 2008b) e Menezes e Fernandes (2013).

A base cartográfica utilizada para a análise do relevo de Erechim foi composta por seis cartas topográficas (Quadro 1) de 1975, na escala de 1:50.000, disponibilizadas digitalmente por Hasenack e Weber (2010) e pertencentes ao Departamento de Serviço Geográfico (DSG). Essas cartas foram baseadas em fotografias aéreas de 1975, originalmente na escala de 1:20.000. Após a aquisição dos dados, foi realizada a transformação de projeção de WGS 84 para SIRGAS 2000/UTM 22S. Na Figura 3 é possível observar a base vetorial utilizada e o Modelo Digital de Terreno gerado.

Quadro 1 - Cartas Topográficas utilizadas para o recobrimento da área de estudo

Carta topográfica	Folha
Erechim	SG.22-Y-D-IV-1
Gaurama	SG.22-Y-D-IV-2
Sertão	SG.22.Y.D.IV-3
Getúlio Vargas	SG.22-Y-D-IV-4
Aratiba	SG.22-Y-D-I-3
Severiano de Almeida	SG.22-Y-D-I-4

Fonte: Hasenack; Weber, 2010. Organização: os autores, 2024.

Figura 3. Base vetorial e Modelo Digital de Terreno

Fontes: Hasenack; Weber, 2010; IBGE, 2017. Organização e Elaboração: os autores, 2024.

Para a definição dos elementos do relevo, caracterizados pelos *geomorphons*, a metodologia adotada segue as aplicações propostas por Stepinski e Jasiewicz (2011) e Jasiewicz e Stepinski (2013), que analisam a similaridade textural do Modelo Digital de Elevação (MDE). Vale destacar que este estudo utiliza o Modelo Digital de Terreno (MDT), que considera apenas as

altitudes do terreno, excluindo objetos de superfície, como vegetação e construções (Silveira; Silveira, 2015; Furlan; Trentin, 2019).

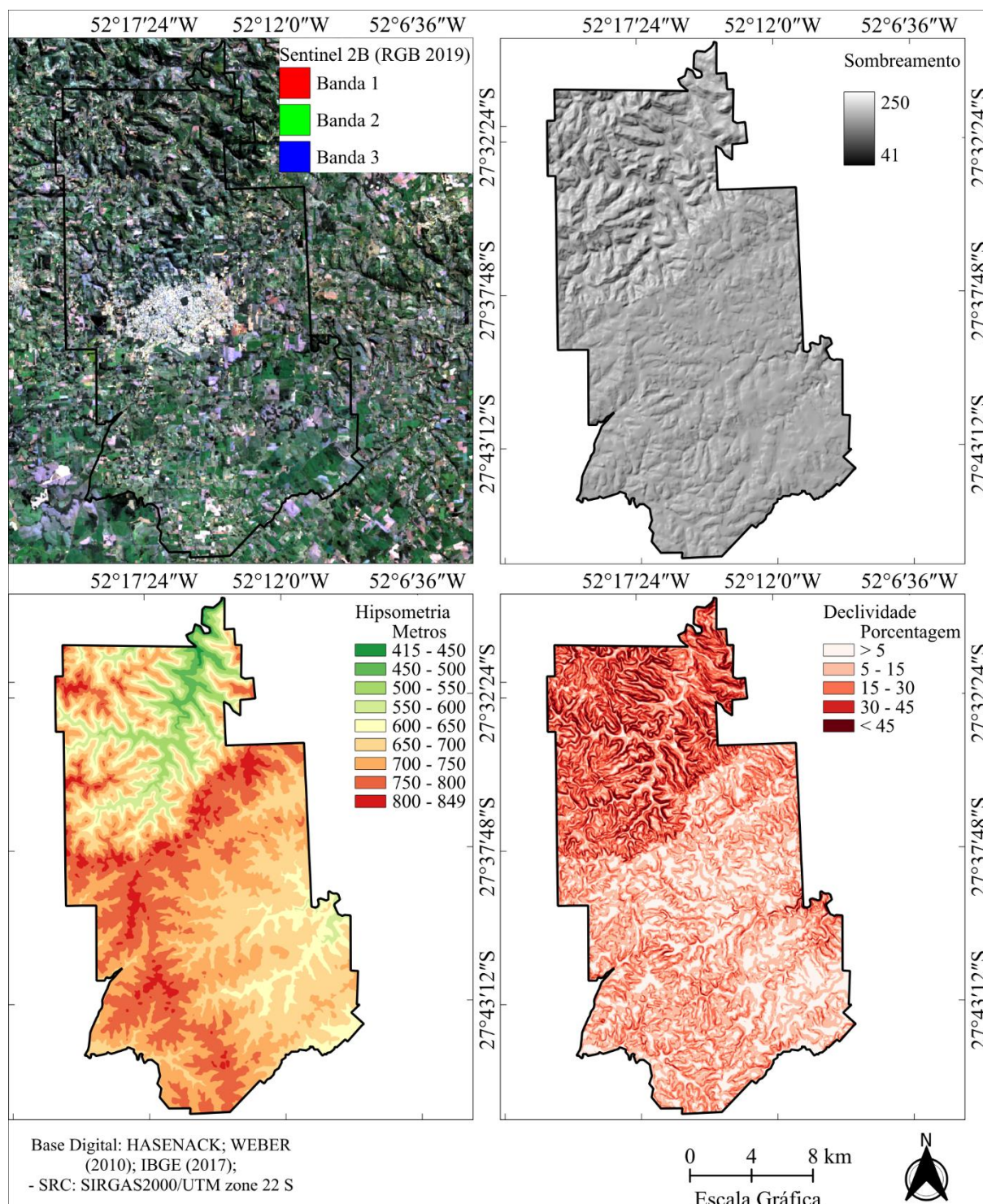
A geração do MDT foi realizada a partir de dados vetoriais como as curvas de nível, pontos cotados e hidrografia. Para garantir que o fluxo da hidrografia seguisse corretamente da montante para jusante, foi necessário corrigir o fluxo da camada vetorial.

No programa ArcGIS®, a construção do MDT foi feita por meio da ferramenta *Topo to Raster* (*ArcToolbox* → *Spatial Analyst Tools* → *Interpolation* → *Topo to Raster*). Após a criação do modelo, aplicou-se a correção de células espúrias utilizando a ferramenta *Fill* (*ArcToolbox* → *Spatial Analyst Tools* → *Hydrology* → *Fill*), também no ArcGIS®. O resultado foi um MDT com resolução de 20x20m de acordo com orientações preestabelecidas (Silveira; Silveira, 2015; Furlan; Trentin, 2019).

2.3 Refinamento das Unidades Geomorfológicas

O refinamento na delimitação das Unidades Geomorfológicas foi conduzido com o objetivo de melhorar a precisão da classificação do relevo em Erechim. A classificação original das Unidades Geomorfológicas foi extraída da Carta Geomorfológica CURITIBA/ASUNCIÓN/IGUAPE (Folha SG.22/21/23) na escala 1:1.000.000 (IBGE, 2008). Esses dados passaram por um processo de refinamento para adequação à escala de 1:100.000, utilizando recortes de imagens de satélite e informações obtidas do Modelo Digital do Terreno (MDT), como hipsometria, sombreamento e declividade (Figura 4).

Figura 4. Imagens de satélite, sombreamento, hipsometria e declividade



Fontes: Hasenack; Weber (2010); IBGE, 2017; Sentinel 2B, 2019). Organização e Elaboração: os autores, 2024.

Esse procedimento permitiu uma melhor definição das formas do relevo, ajustando a classificação às especificidades locais e proporcionando maior detalhamento geomorfológico. A partir da reinterpretação da carta topográfica na escala 1:50.000, foi identificado um novo fato geomorfológico, classificado como uma Forma de Gênese Indiferenciada, especificamente um Ressalto. Este elemento foi representado seguindo a simbologia definida no Manual Técnico de Geomorfologia do IBGE (2009).

2.3 - Classificação Automatizada do Relevo

Para a análise dos *geomorphons* no município de Erechim, foi utilizado um Modelo Digital de Terreno (MDT) com resolução de 20 metros. A metodologia adotada baseia-se na proposta de Stepinski e Jasiewicz (2011) e Jasiewicz e Stepinski (2013), que introduzem uma abordagem inovadora para a classificação do relevo, identificando 10 formas geomorfológicas principais denominadas *geomorphons*. Essa classificação é flexível em termos de escala e se baseia na análise de padrões topográficos, facilitando a identificação automatizada das formas do relevo.

O método de classificação, aplicado com o auxílio de ferramentas de geoprocessamento, permite a identificação dos seguintes elementos geomorfológicos: 1) áreas planas (*flat*), 2) picos (*peak*), 3) cristas (*ridge*), 4) ressaltos (*shoulder*), 5) crista secundária (*spur*), 6) encostas (*slope*), 7) escavado (*hollow*), 8) bases de encosta (*footslope*), 9) vales (*valley*) e 10) fossos (*pit*) (Stepinski; Jasiewicz, 2011; Jasiewicz; Stepinski, 2013).

O algoritmo GRASS GIS *r.geomorphon*, executado no ambiente QGIS, foi utilizado para realizar a classificação dos *geomorphons*. Este algoritmo avalia a similaridade textural de um Modelo Digital de Terreno (MDT), analisando a relação entre uma célula central e suas células vizinhas. A célula central recebe um valor de "0" quando possui a mesma elevação que suas vizinhas, "1" se sua elevação for maior, e "-1" se for menor, levando em consideração tanto a variação de altitude quanto o ângulo de inclinação, que pode ser ajustado pelo usuário (GRASS GIS, 2023).

Além da variação altimétrica, Stepinski e Jasiewicz (2011) destacam a importância de considerar a distância horizontal entre as células, bem como os ângulos de visão Zênite e Nadir. Esses ângulos são calculados ao longo das oito direções principais da bússola e permitem uma análise detalhada das formas do relevo, tal enfoque contribui para uma classificação mais

precisa e detalhada da superfície terrestre, capturando tanto a elevação quanto a orientação e a morfologia do terreno.

Para calcular os ângulos Zenital e Nadir em uma célula central, oito perfis de elevação a partir da célula central que se estende ao longo das direções principais até a “*look up distance*” L que são extraídos do MDE. Um ângulo de elevação é o ângulo entre o plano horizontal e uma linha que liga a célula central a um ponto localizado no perfil, sendo que, em ângulos negativos, o ponto do perfil fica mais rebaixado do que os valores encontrados na célula central, enquanto em cada perfil é calculado o ângulo de elevação “DSL”, que indica as dependências de direção (D) e distância (L).

O ângulo Zenital de um perfil é definido como $D\phi L = 90^\circ - D\beta L$, onde $D\beta L$ é o ângulo máximo de elevação em “DSL”. Da mesma forma, o ângulo Nadir de um perfil é definido como $D\psi L = 90^\circ - \text{“DSL”}$, onde $D\delta L$ é o ângulo mínimo de elevação em “DSL”. Para definição do ângulo Zênite utiliza-se o valor do “ $D\beta L$ ”, é o ângulo máximo de elevação “DSL”, é definido por “ $D\phi L = 90^\circ - D\beta L$ ”, portanto, trata-se de um ângulo entre o Zênite e a “*line of sight*”.

Na definição do ângulo Nadir verifica-se o emprego do “ $D\delta L$ ”, que consiste no ângulo mínimo de elevação “DSL”, define-se a aplicação “ $D\psi L = 90^\circ - D\delta L$ ”. Assim, o ângulo Nadir é uma linha hipotética em relação a “*line of sight*”, deriva da ponderação do perfil de elevação em analogia ao plano horizontal. Trata-se, então, de que os valores positivos se encontram definidos entre 0° a 180° .

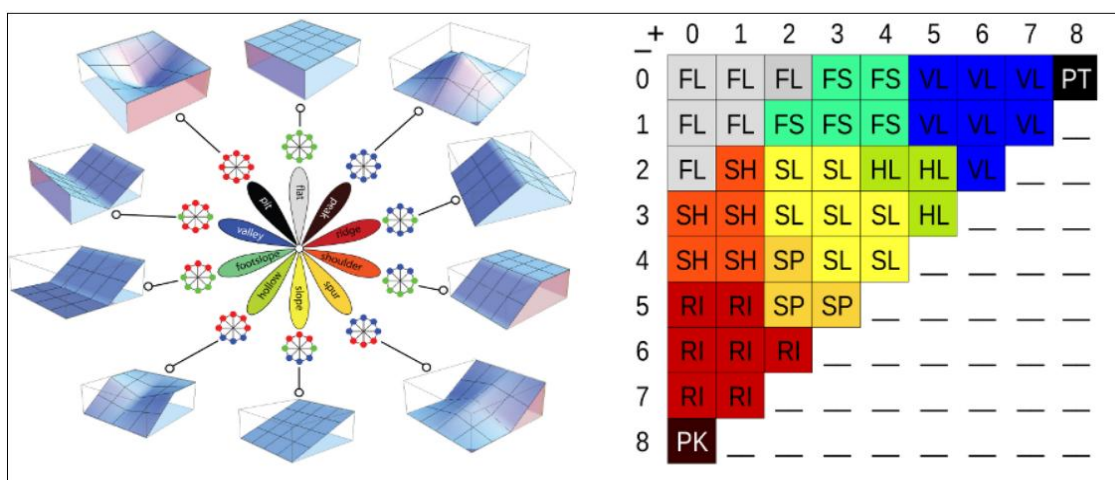
Para criar um mapa geomorfométrico contendo os 10 principais elementos do relevo (*geomorphons*) mais comumente reconhecíveis de forma exclusiva, precisa-se reclassificar todo o conjunto de 498 formas em 10 formas selecionadas. Escolhe-se uma fórmula de reclassificação baseada em uma tabela de consulta específica construída com base na similaridade entre padrões ternários que representam os *geomorphons*; os padrões são semelhantes se tiverem um número semelhante de elementos ternários diferentes.

A Figura 5 apresenta o funcionamento da classificação, à direita as colunas representadas pelos eixos vertical e horizontal 0 a 8 mostram a partir da tabela de consulta; que as linhas indicam o número de (-1) elementos no padrão e as colunas indicam o número de (1) elementos no padrão. Ao observar os *geomorphons* em 3D, parte esquerda da Figura 5, verifica-se que o arquétipo

“flat” consiste exclusivamente de (0) elementos ternários, portanto seu número de (-1) elementos é zero e seu número de (1) elementos também é zero.

Figura 5. Plano de consulta para reclassificação de *geomorphons* nos 10 tipos comuns de terreno.

Linhas / Colunas em uma tabela indicam o número de elementos ternários (-1) / (1) no padrão *geomorphon*. Abreviações para elementos comuns de relevo são: FL áreas planas (*flat*), PK picos (*peak*), RI crista (*ridge*), SH ressaltos (*shoulder*), HL crista secundária (*spur*), SL encosta (*slope*), SP escavado (*hollow*), FS base de encosta (*footslope*), VL vales (*valley*) e PT fosso (*pit*).



Fonte: GRASS GIS, 2023.

Existem dois parâmetros livres na fórmula acima, um é a distância de pesquisa “L” e o outro é o limite de nivelamento “t”, e são utilizados dois parâmetros livres, o *lookup* “L” (raios externos), igual a 50 células (1.000 m), e o *threshold* “t” (limiar de nivelamento) em que foi utilizado “t” igual a 2°.

2.4 - Apresentação dos Resultados

Para realizar a análise dos dados, primeiramente foi imprescindível o recorte da imagem para abranger a área do município. Para a extração dos dados, foi essencial utilizar algoritmos de manipulação no console *Python*, que estão disponíveis na Caixa de Ferramentas de Processamento do QGIS.

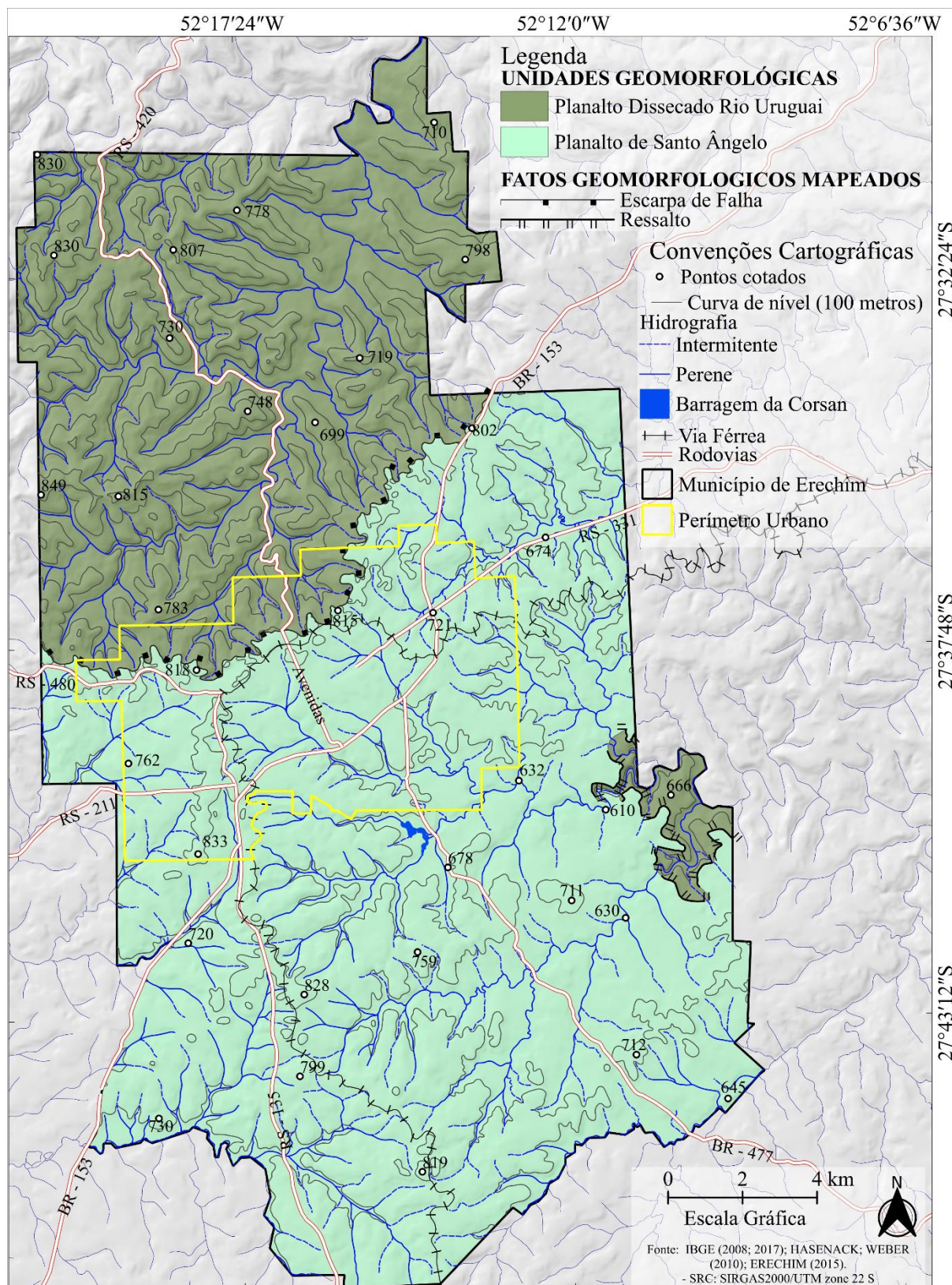
O primeiro algoritmo utilizado foi histograma zonal, que acrescenta campos que representam contagens de cada valor exclusivo de uma imagem contida em zonas definidas como polígonos.

Dessa forma, foram calculadas as células de cada *geomorphon* para cada Unidade Geomorfológica. Com a calculadora de campo é possível obter a área de cada forma, a partir da extração desses dados, foram calculadas as porcentagens dos *geomorphons* em relação às Unidades Geomorfológicas.

3 – Resultados e discussão

A partir dos levantamentos como característica, o Planalto de Santo Ângelo, no município de Erechim, representa 64,85% de sua área. Sua altimetria média está em cerca de 722 m. A amplitude altimétrica alcança 246 m, possuindo altitude mínima de 592 m e máxima de 838 m, dessa forma, pode-se identificar que o relevo ondulado. A menor porção fica no Planalto Dissecado do Rio Uruguai, com 35,15%. Sua altimetria média nessa unidade de relevo encontra-se na altitude de 648 m, com amplitude altimétrica alcançando 433 m, possuindo altitude mínima de 416 m e máxima de 849 m. O relevo nessa unidade é considerado fortemente ondulado (Figura 6).

Figura 6. Unidades Geomorfológicas do município de Erechim



Fontes: IBGE, 2008, 2017; Hasenack; Weber, 2010; Erechim, 2015. Elaboração: os autores, 2024.

Ao observar a fotografia oblíqua (Figura 7a), identifica-se o limite do Planalto Dissecado Rio Uruguai e do Planalto de Santo Ângelo, separado pela escarpa de falha. Na Figura 7b é possível identificar as colinas onduladas pertencentes ao Planalto de Santo Ângelo, e na Figura 7c apresenta-se a configuração encontrada no Planalto Dissecado do Rio Uruguai, apontando variação altimétrica entre 250 e 350 m. Essa classificação é crucial para a análise detalhada das formas do relevo e suas interações com os processos ambientais, contribuindo para o entendimento do ordenamento territorial e para o planejamento ambiental em nível municipal.

Figura 7. Características das Unidades Geomorfológicas a) Fotografia oblíqua b) Planalto de Santo Ângelo c) Planalto Dissecado do Rio Uruguai



Fonte: a) Arquivo histórico de Erechim (2007) b e c) autores (2020). Elaboração: os autores, 2024.

A análise da distribuição dos *geomorphons* no município de Erechim revelou características importantes da morfologia local, com uma predominância de terrenos inclinados. Os elementos Encostas e Cristas Secundárias destacam-se como os mais frequentes, enquanto os elementos Vales, Áreas Planas e Bases de Encostas possuem uma ocorrência mais restrita (Tabela 1).

Tabela 1 - Porcentagem da Distribuição dos *Geomorphons*.

<i>Geomorphons</i>	Erechim		Planalto de Santo Ângelo		Planalto Dissecado do Rio Uruguai	
	km ²	%	km ²	%	km ²	%
1 - Área Plana	1,66	0,39	1,66	0,60	0,00	0,00
2 - Pico	11,45	2,66	6,48	2,32	4,97	3,28
3 - Crista	74,10	17,21	54,56	19,55	19,54	12,91
4 - Ressalto	6,28	1,46	6,28	2,25	0,00	0,00
5 - Crista Secundária	78,55	18,25	49,24	17,64	29,31	19,36
6 - Encosta	125,61	29,18	78,76	28,22	46,85	30,95
7 - Escavado	54,66	12,70	32,24	11,55	22,42	14,81
8 - Base de encosta	4,56	1,06	4,56	1,63	0,00	0,00
9 - Vales	63,70	14,80	42,00	15,05	21,71	14,34
10 - Fosso	9,92	2,30	3,44	1,23	6,48	4,28

Elaboração: Os autores, 2024.

As Encostas, que representam 29,18% da área total, são superfícies inclinadas que conectam áreas elevadas e mais baixas. Esse tipo de relevo é essencial para o escoamento da água e o transporte de sedimentos, o que indica que a região de Erechim é majoritariamente composta por terrenos com declives. Essa configuração geomorfológica tem implicações diretas no uso do solo e na ocupação humana, além de ser um indicativo da prevalência de processos erosivos na área.

As Cristas Secundárias, que ocupam 18,25% da área, e as Cristas, com 17,21%, são outras formas de relevo de destaque. As Cristas Secundárias consistem em projeções laterais de cristas principais, criando um relevo mais complexo e influenciando diretamente o escoamento de água. Já as Cristas são elevações alongadas formadas por processos erosivos que atuam como divisores naturais de águas. A presença dessas formas indica a existência de terrenos compartimentados, possivelmente moldados por processos geológicos de soerguimento e intensa erosão ao longo do tempo.

Os Vales, que ocupam 14,80% da área, são depressões formadas por processos de erosão fluvial, sendo áreas importantes para o escoamento superficial das águas e o delineamento da rede hidrográfica. Esses vales abrigam diversos ecossistemas e são fundamentais para a dinâmica fluvial do município. As Áreas Escavadas, que correspondem a 12,70% da área, indicam a presença de erosão concentrada, resultando em cavidades no terreno. Essas áreas, conhecidas como Escavados, podem acumular água, o que influencia diretamente o microambiente local.

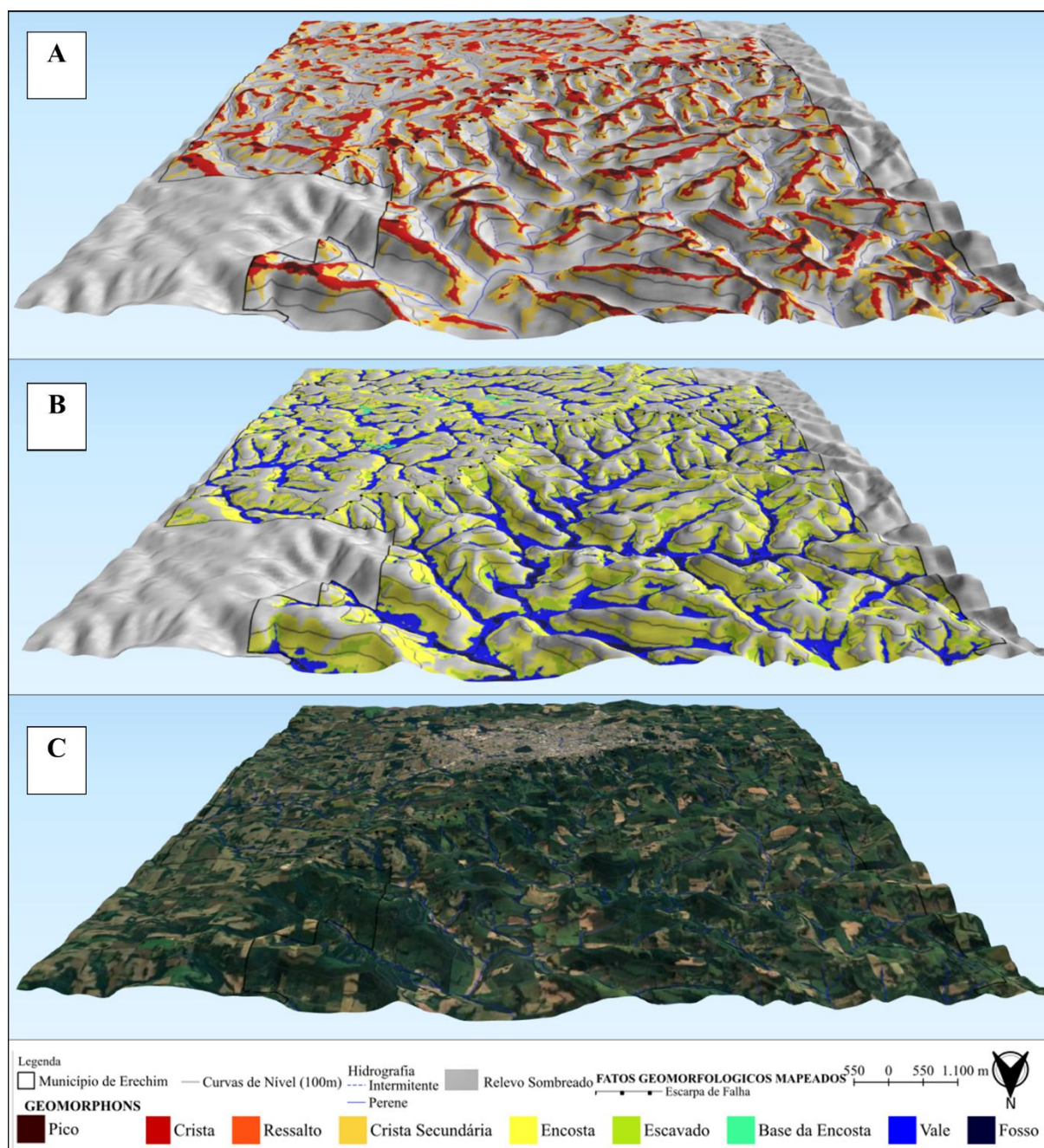
Os Picos, com 2,66%, são elevações proeminentes no relevo, geralmente formadas por processos erosivos em áreas dissecadas. Essas elevações têm um papel importante na composição topográfica de Erechim, representando pontos de destaque na paisagem. Os Fossos, que ocupam 2,30% da área, são cavidades profundas, esses fossos podem acumular água e sedimentos. Os Ressaltos, embora menos expressivos, com 1,46% da área, formam transições suaves entre encostas íngremes e áreas mais planas, essas formas ajudam a entender a dinâmica de sedimentação e a evolução do relevo local.

As Bases de Encostas, representando 1,06% da área, são compostas por áreas onde ocorre a acumulação de sedimentos transportados pelas encostas. Essas áreas, conhecidas como Bases de Encostas, são importantes para a vegetação, devido ao acúmulo de nutrientes trazidos pela gravidade e o escoamento da água. Por fim, as Áreas Planas, que ocupam apenas em 0,39% da área total, são pouco expressivas no município, e essas superfícies horizontais, ou quase horizontais, indicam que os terrenos com baixa declividade são raros.

Ao observar a linha que representa a Escarpa de Falha na representação em 3D (Figura 8), pode-se observar os limites entre as Unidades Geomorfológicas do Planalto de Santo Ângelo e Planalto Dissecado do Rio Uruguai. A Figura 8a representa os elementos Picos, Cristas, Ressaltos e Cristas Secundárias. A Figura 8b as Encostas, Escavados, Bases de Encostas, Vales e Fossos. A Figura 8c representa o ortomosaico, com destaque para a área urbana de Erechim que se encontra assentada sobre essa transição.

As Cristas correspondem à linha de interflúvio, formada pelos pontos mais altos do relevo, onde ocorre a divisão das águas pluviais, com as vertentes apresentando declives divergentes. No Planalto de Santo Ângelo, essas cristas possuem, em sua maioria, uma geometria alongada e mais ampla, com larguras variando entre 300 e 500 m. Já no Planalto Dissecado do Rio Uruguai, as cristas são mais estreitas, com larguras que variam entre 100 e 300 m.

Figura 8. Limite entre o Planalto de Santo Ângelo e Planalto Dissecado Rio Uruguai a) Pico, Crista, Ressalto e Crista Secundária b) Encosta, Escavado, Base de encosta, Vale e Fosso c) Ortomosaico



Fontes: IBGE, 2008, 2017; Hasenack; Weber, 2010; Google Satélite, 2024. Elaboração: os autores, 2024.

As Encostas estão dispostas espacialmente sobre toda área, porém representam amplitudes altimétricas baixas no Planalto de Santo Ângelo, que variam entre 20 e 40 m. No Planalto

Dissecado do Rio Uruguai, as amplitudes podem variar entre 80 e 250 m. Nas encostas em degraus dessa área, são frequentes as marcas deixadas por movimentações de massa, formando anfiteatros erosivos (IBGE, 2008). Como característica, o geomorphons Escavados no Planalto de Santo Ângelo possui abrangência espacial menor, já no Planalto Dissecado do Rio Uruguai torna-se maior, principalmente nos valores altimétricos.

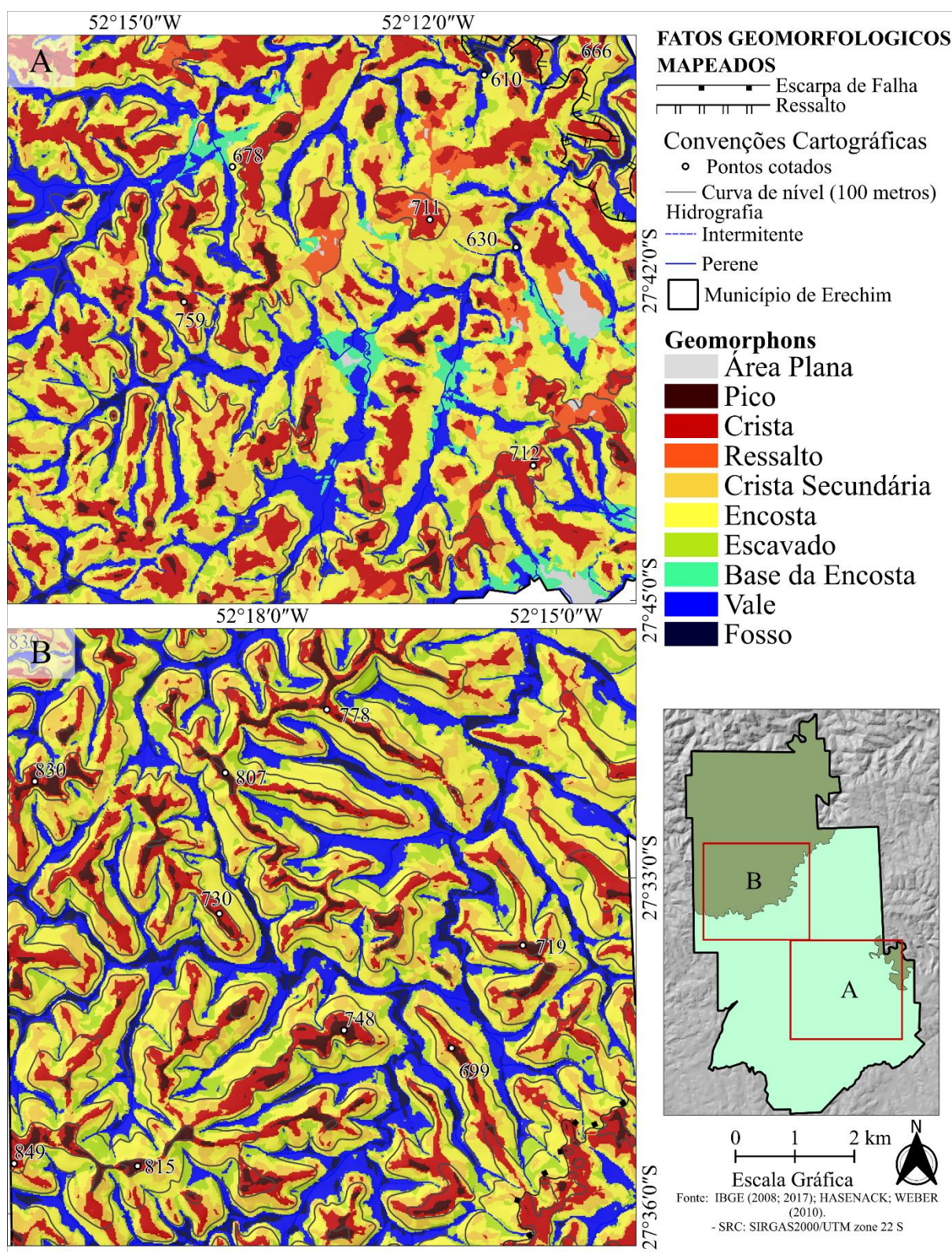
Os Picos, que são pontos culminantes e proeminentes do relevo, estão sobre os interflúvios, e encontram-se distribuídos ao longo de toda a área. No Planalto de Santo Ângelo os Picos são representados em formas com geometrias circulares, consistindo em topos convexizados. No Planalto Dissecado do Rio Uruguai, a geometria da forma é estreita e alongada, revelando áreas de topo aguçadas.

As Bases das Encostas encontram-se em pequenas áreas associadas às drenagens, como pode ser identificado na Figura 9a. No Planalto Dissecado do Rio Uruguai, essa forma encontra-se ausente devido à densidade de drenagem e altas amplitudes altimétricas. O Vale possui como característica estar associado aos canais de drenagem, apresentando uma dinâmica de fluxo. No Planalto de Santo Ângelo, esse elemento do relevo possui maiores larguras, o que demonstra entalhes suaves. No Planalto Dissecado do Rio Uruguai, a largura desse elemento torna-se mais estreita, apresentando maior entalhamento do relevo, como pode ser identificado e comparado na Figura 9ab.

Os Fossos estão associados às áreas com vales profundos e dissecados, e constitui-se como uma depressão alongada, ou degraus, como pode ser observado na Figura 9ab. Ao realizar a análise dos elementos do relevo e sua distribuição nas Unidades Geomorfológica inicia-se pelo elemento Áreas Planas, o qual possui menor percentual entre os *geomorphons* no Planalto de Santo Ângelo. É muito pouco representativo, ocorrendo somente no Planalto de Santo Ângelo, com 0,60 % da área, o que corresponde a 1,66 km². No Planalto Dissecado do Rio Uruguai, constatou-se a ausência desse elemento, provavelmente devido à alta dissecação do relevo.

O Pico representa a quinta menor porcentagem em área e corresponde a 2,32% no Planalto de Santo Ângelo, que representa 6,48 km². No Planalto Dissecado do Rio Uruguai, o Pico representa a menor porcentagem entre os *geomorphons* identificados, apenas 3,28%, o que corresponde a uma área de 4,97 km².

Figura 9. Recortes das porções do Planalto de Santo Ângelo e Planalto Dissecado Rio Uruguai a) Porção do Planalto de Santo Ângelo b) Porção do Planalto Dissecado Rio Uruguai



Fontes: IBGE, 2008, 2017; Hasenack; Weber, 2010. Elaboração: os autores, 2024.

A Crista representa a segunda maior área entre os elementos no relevo fortemente ondulado do Planalto de Santo Ângelo e equivale a 19,53% da área total, o que corresponde a 54,56 km². A Crista equivale a quinta maior porção do relevo no Planalto Dissecado do Rio Uruguai, com 12,91% da área, o que expressa 19,54 km².

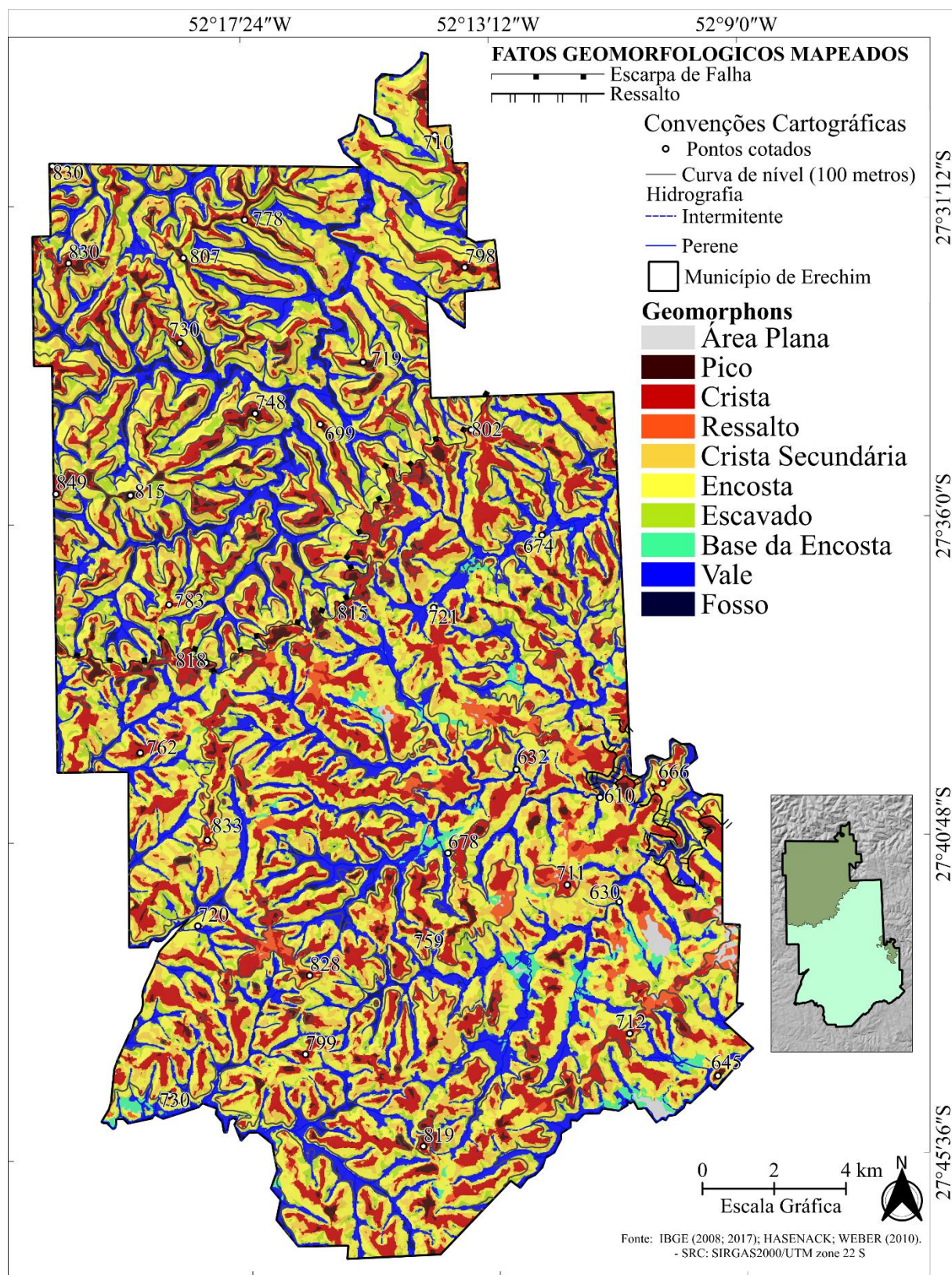
Os Ressaltos representam degraus formados por porções resistentes de rocha, no Planalto de Santo Ângelo perfaz 2,25% da área total, correspondendo a 6,28 km², já no Planalto Dissecado do Rio Uruguai, esse *geomorphon* não ocorre. As Cristas Secundárias compõem a segunda maior porção no Planalto de Santo Ângelo, representando 17,63% e com área de 49,24 km², e corresponde também a segunda maior porção no Planalto Dissecado do Rio Uruguai, totalizando 19,37%, e representando 29,31 km².

As Encostas são mais representativo em relevos dissecados, representa o maior percentual em área no Planalto de Santo Ângelo, com 28,20%, correspondendo a uma área de 78,76 km². Esse é o elemento do relevo com maior percentual no Planalto Dissecado do Rio Uruguai, totalizando 30,96%, e possui área de 46,85 km².

Os *geomorphons* Escavados apresentam o percentual mais alto, de 11,54% no Planalto de Santo Ângelo, com área de 32,24 km². No Planalto Dissecado do Rio Uruguai, esse *geomorphon* representa a terceira maior porção, com 14,81%, com área de 22,42 km². O *geomorphon* Bases de Encostas representa depósitos colúvio-aluvionares e ocorrem somente no relevo mais fortemente ondulado do Planalto de Santo Ângelo, com 1,63%, e área de 4,56 km². No Planalto Dissecado do Rio Uruguai, esse elemento não ocorre. A distribuição espacial dos elementos do relevo pode ser observada na Figura 10.

Os Vales representam o quarto maior elemento no Planalto de Santo Ângelo, contabilizando o percentual de 15,04%, e área de 42,00 km². Representa a quarta maior porção entre os *geomorphons* no Planalto Dissecado do Rio Uruguai, com 14,34%, e área de 21,71 km², a principal diferença é a maior largura dos Vales no relevo dissecado e maior ocorrência do elemento Fosso. Os Fossos ocorrem em 1,23% da área do Planalto de Santo Ângelo em Erechim, o que corresponde a 3,44 km². No Planalto Dissecado do Rio Uruguai, o Fossos apresenta percentual de 4,28% e área de 6,48 km².

Figura 10. *Geomorphons*: município de Erechim (RS – Brasil)



Fontes: IBGE, 2008, 2017; Hasenack; Weber, 2010. Elaboração: os autores, 2024.

O uso do processamento de *geomorphons*, conforme descrito por Stepinski e Jasiewicz (2011), sinaliza uma nova tendência em ferramentas de análise de terreno, movendo-se da geometria diferencial para padrões digitais. Estudos que aplicaram essa metodologia em grandes áreas territoriais, como os de Robaina, Trentin e Laurent (2016), Robaina *et al.*, (2017), Silveira *et al.*, (2018) e Robaina, Trentin e Achkar (2023), demonstram a viabilidade de aglomerar *geomorphons* para regionalizar o relevo em um número menor de classes, oferecendo uma abordagem prática para a análise de grandes extensões territoriais. No presente estudo, procurou-se identificar dez elementos de relevo distribuídos em duas Unidades Geomorfológicas, contribuindo para o entendimento da diversidade morfológica do município de Erechim.

Conforme observado em estudos anteriores, como os de Sccoti (2017), Dutra, Furlan e Robaina (2020) e Silva, Trentin e Robaina (2023), o presente trabalho reafirma a importância dos *geomorphons* como uma ferramenta para o planejamento territorial e para análises detalhadas do relevo. A metodologia aplicada possibilitou mapeamentos mais detalhados e de grande utilidade para o planejamento ambiental e o ordenamento territorial.

No caso específico de Erechim, a identificação dos elementos do relevo foi amplamente beneficiada pela aplicação da metodologia dos *geomorphons*, permitindo um detalhamento preciso da superfície terrestre. A utilização dessa técnica em um ambiente de SIG permitiu a identificação de dez elementos de relevo distribuídos em duas unidades geomorfológicas, enriquecendo a análise morfológica local. Ademais, o trabalho de campo validou os parâmetros empregados no processamento do Modelo Digital de Elevação (MDE), reforçando a precisão e aplicabilidade da metodologia utilizada.

6 - Considerações Finais

A atualização do mapeamento das Unidades Geomorfológicas é fundamental para aprimorar a análise dos *geomorphons*, pois permite uma compreensão mais precisa das dinâmicas de relevo e suas características. O mapeamento dos elementos do relevo com níveis de dissecação diferenciados apresenta configurações geométricas marcantes. Dessa forma, as vantagens da utilização de técnicas morfometrias encontram-se na agilidade no processamento dos dados. Os limites encontram-se principalmente na interpretação dos resultados, que necessita de trabalho de campo para validar a configuração das formas.

Os resultados da pesquisa mostraram a diferentes características do relevo representando pelos elementos de *geomorphons* entre o Planalto Santo Ângelo e o Planalto Dissecado do Rio Uruguai. A partir do exposto, foi possível identificar que no Planalto de Santo Ângelo predominam os elementos Encostas, Cristas Secundárias, Cristas, Vales e os Escavados. As menores representações dos *geomorphons* ocorrem com os elementos Áreas Planas, Bases de Encostas, Ressaltos, Fossos e Picos. No Planalto Dissecado Rio Uruguai, os elementos do relevo com maior expressividade são Encostas, Cristas Secundárias, Escavados, Vales e Cristas. Nessa Unidade Geomorfológica encontram-se ausentes os elementos Áreas Planas, Ressaltos e Bases de Encostas, possuindo menor porção o Picos e o Fossos.

O mapeamento dos *geomorphons*, resultante da compilação de atributos morfológicos, extraídos de dados topográficos, é importante parâmetro de análise geomorfológica. Identifica-se que nessa escala, é possível identificar a evolução morfológica do relevo, que auxilia no planejamento ambiental e no ordenamento territorial, por apresentar formas com dimensões e características individualizadas do relevo. Vislumbra-se que a metodologia empregada na análise possibilita agilidade e aplicabilidade, expressando subsídios para implementação do ordenamento territorial em escala municipal, evidenciando, ainda, a síntese do modelado do relevo em nível de formas de vertente.

Para a continuidade deste estudo, pretende-se aprofundar a análise das Unidades Morfológicas com formas com média de 10 km². O objetivo é identificar padrões de formas semelhantes ou unidades morfológicas relacionadas a diferentes tipos de relevo, tanto de agregação (como planícies e terraços fluviais) quanto de denudação (colinas, morros, e formas com topo plano, aguçado ou convexo). A análise destacará as características morfológicas (forma) e morfométricas (tamanho), buscando compreender a relação entre essas formas e sua idade geológica. Dessa forma, elaborando uma base em uma escala de 1:50.000, utilizando índices de rugosidade topográfica, índice de dissecação e características geomorfológicas como o formato de topos, vertentes e vales.

Agradecimento

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Referências

- AMORIM, A. E. de S; CAPOANE, V. Classificação automatizada do relevo utilizando a ferramenta Geomorphons: estudo de caso para o município de Campo Grande – MS. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.15, n.2, p.750-766, 2022. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v15.2.p750-766>
- ATKINSON, J; CLERCQ, W de; ROZANOV, A. Multi-resolution soillandscape characterisation in KwaZulu Natal: Using geomorphons to classify local soilscares for improved digital geomorphological modelling. **Geoderma Regional**, [s.l.], v. 22, p. 1-17, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2020.e00291>
- ARGENTO, M. S. F. 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, 1994, p. 365-391.
- BARBOSA, G. V *et al.* Evolução da metodologia para mapeamento geomorfológico do Projeto RADAMBRASIL. In: PROJETO RADAMBRASIL. **Boletim Técnico: Série Geomorfologia**. Ministério de Minas e Energia, Projeto RADAMBRASIL, n.1, 1984.
- BOTELHO, R. G. M; PELECH, A. S. Do Mapeamento Geomorfológico do IBGE a um Sistema Brasileiro de Classificação do Relevo. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 64, p. 183-201, 2019.
- CPRM - COMPANHIA DE PESQUISAS E RECURSOS MINERAIS. **Gravataí – SH,22-X-CV**, escala 1:100.000: nota explicativa. Porto Alegre: UFRGS/CPRM, 2007.
- DRAMISA, F; GUIDAB, D; CESTARIC, A. Nature and Aims of Geomorphological Mapping. In: SMITH, M. J.; PARON, P; GRIFFITHS, J. S (Eds.). **Geomorphological Mapping: Methods and Application**. Amsterdam: Elsevier, 2011, p. 39-64.
- DUTRA, D. da S; FURLAN, A. R; ROBAINA, L. E. de S. Compartimentação dos elementos do relevo da bacia hidrográfica do arroio Pantanoso - Canguçu/RS, através da proposta dos geomorphons. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, p. 713, 2020. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.2.p713-726>
- ERECHIM – Prefeitura Municipal de Erechim. **Mapa Urbano de Erechim**. 1:10.000. Disponível em: <https://www.pmerechim.rs.gov.br/uploads/paginas/49b679a01f12b14c2488ec2cfc6105fc.pdf>. Acesso em: 04 set. 2016.

ESRI. ArcGIS: Spatial Analyst Tutorial. Disponível em: <https://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/pdf/spatial-analyst-tutorial.pdf>. Acesso em: 04 set. 2022.

FITZ, P. R. **Cartografia básica**. São Paulo: Oficina de textos, 2008a.

FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação**. São Paulo: Oficina de textos, 2008b.

FLORENZANO, T. G. (Org.). **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

FLORINSKY, I. V. Accuracy of local topographic variables derived from digital elevation models. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 12, n. 1, 47–62, 1998. DOI: <https://doi.org/10.1080/136588198242003>

FURLAN, A. R; TRENTIN, R; ROBAINA, L. E. S. Classificação dos elementos do relevo a partir da metodologia dos *geomorphons* na bacia hidrográfica do rio Apuaê-Mirim, RS. **Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul**, v. 32, p. 27-45, 2018a.

FURLAN, A. R *et al.* Identificação das unidades geomorfométricas da bacia hidrográfica do arroio Carijinho, Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 19, n. 4, p. 807-820, 2018b. DOI: <https://doi.org/10.20502/rbg.v19i4.1377>

FURLAN, A. R; TRENTIN, R. Identificação das unidades geomorfométricas a partir da declividade e plano de curvatura na bacia hidrográfica do rio Henrique, Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Geonorte**, v. 10, p. 1-19, 2019. DOI: <https://doi.org/10.21170/geonorte.2019.V.10.N.34.01.19>

GRASS GIS. **r.geomorphon**: Calculates geomorphons (terrain forms) and associated geometry using machine vision approach. 2023. Disponível em: <https://grass.osgeo.org/grass84/manuals/r.geomorphon.html>. Acesso em: 7 abr. 2024.

GUERRA, A. J. T; MARÇAL, M. dos S. **Geomorfologia Ambiental**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012.

HASENACK, H.; WEBER, E. (org.). **Base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul** - Escala 1:50.000. Porto Alegre: UFRGS Centro de Ecologia. 2010. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/labgeo/index.php/dados-espaciais/250-base-cartografica-vetorial-continua-do-rio-grande-do-sul-escala-1-50-000>. Acesso em: 7 abr. 2019.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapeamento Pedológico**. 1:250.000. Rio de Janeiro: IBGE, 2003.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapeamento Geomorfológico SG.22/21/23 CURITIBA/ASUNCIÓN/IGUAPE**. 1:1.000.000. Projeto RADAMBRASIL: Levantamento de Recursos Naturais, n. 35. Rio de Janeiro: IBGE, 2008.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual Técnico de Geomorfologia**. Rio de Janeiro: IBGE, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. 2. ed., 2009.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Base Cartográfica Contínua do Brasil**. 1:250.000 - BC250, Versão 2017. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/apps/basescartograficas/#/home>. Acesso em: 7 jan. 2018.

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

KOHLER, H. C. A Escala na Análise Geomorfológica. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.1, p. 21-31, 2002. DOI: <https://doi.org/10.20502/rbg.v2i1.5>

MENEZES, P. M. L de; FERNANDES, M. do C. **Roteiro de Cartografia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

MINÁR, J *et al.* Physical geomorphometry for elementary land surface segmentation and digital geomorphological mapping. **Earth-Science Reviews**, v. 248, p. 1 – 24, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2023.104631>

MUÑOZ, V. A. **Análise geomorfométrica de dados SRTM aplicada ao estudo das relações solo-relevo**. 2009, f. 112 Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2009.

NUNES, B. de A *et al* (coord.). **Manual técnico de geomorfologia**. Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1995.

OGUCHI, T. Geomorphological mapping based on DEMs and GIS: A review, **Abstracts of the International Cartographic Association**. v. 1, n. 275, p. 1, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5194/ica-abs-1-275-2019>

PARONA; P; CLAESSENS, L. Makers and Users of Geomorphological Maps. *In*: SMITH, Mike. J; PARON, Paolo; GRIFFITHS, James. S (Eds.). **Geomorphological Mapping: Methods and Application**. Amsterdam: Elsevier, 2011, p. 75-103.

PELECH, A. S *et al.* Considerações sobre o mapeamento geomorfológico do território brasileiro: algumas abordagens na representação regional. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 20, n. 3, p. 681-690, 2019. DOI: <https://doi.org/10.20502/rbg.v20i3.1565>

PETSCH, C *et al.* Método de geomorphon aplicado à Antártica: identificação de formas de relevo paraglaciais de macro e meso-escala. Ilha Rei George, Ilhas Shetlands do Sul. **Cuadernos de Geografia: Revista Colombiana de Geografía**, v.31, n.1, p.108-127, 2022. DOI: <https://doi.org/10.15446/rcdg.v31n1.85644>

PIKE, R. J. Geomorphometry diversity in quantitative surface analysis. **Progress in Physical Geography**, v. 24, n. 1, p. 1-20, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1191/030913300674449511>

QGIS. **Desktop 3.16 User Guide**. 2022. Disponível em: https://docs.qgis.org/3.16/pdf/pt_BR/QGIS-3.16-DesktopUserGuide-pt_BR.pdf. Acesso em: 7 dez. 2022.

RIBEIRO, L. S; ROBAINA, L. E. de S; CRISTO, S. S. V. de. Análise e caracterização dos aspectos do relevo da bacia hidrográfica do Ribeirão Lajeado - Tocantins. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, p. 2851, 2021. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.5.p2851-2865>

ROBAINA, L. E. S; TRENTIN, R; LAURENT, F. Compartimentação do estado do Rio Grande do Sul, Brasil, através do uso de geomorphons obtidos em classificação topográfica automatizada. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.17, n.2, p.287-298, 2016. DOI: <https://doi.org/10.20502/rbg.v17i2.857>

ROBAINA, L. E. S *et al.* Application of the geomorphons to the landform classification in Tocantins state, Brazil. **Revista Ra'e Ga**, v. 41 Temático de Geomorfologia, p. 37-48, 2017. DOI: <https://doi.org/10.5380/raega.v41i0.48724>

ROBAINA, L. E de S; TRENTIN, R; BORRAS, M. A. Compartimentação do Relevo do Uruguai com Uso de Geomorphons obtidos em Classificação Automática. **Geografia** (Londrina), v. 32, p. 9-29, 2023. DOI: <https://doi.org/10.20502/rbg.v17i2.857>

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia, Ambiente e Planejamento**. São Paulo, 9ª ed. Editora Contexto, 2017.

ROSSATO, M. S. Os climas do Rio Grande do Sul: uma proposta de classificação climática. **ENTRE-LUGAR**, v. 11, n. 22, p. 57–85, 2020. DOI: <https://doi.org/10.30612/el.v11i22.12781>

SCCOTI, A. A. V. **Estudo e zoneamento geoambiental com auxílio de SIG na bacia hidrográfica do rio Santa Mario**: Sudoeste do Estado do Rio Grande do Sul. Tese (Tese em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2017.

SCCOTI, A. A. V; DOTTO, A. V. E. ROBAINA, L. E. S. Análise geomorfológica com apoio de técnicas digitais: município de São Martinho da Serra, RS. **Boletim de Geografia** (Online), v. 40, p. 68-83, 2022. DOI: <https://doi.org/10.4025/bolgeogr.v40.a2022.e61650>

SILVA, T. M da. Mapeamentos Geomorfológicos: escalas, aplicações e técnicas de compartimentação do relevo. **Geo UERJ**, v. 1, p. 1-25, 2007.

SILVA, W. O. da; TRENTIN, R; ROBAINA, L. E. de S. Análise do relevo a partir de parâmetros geomorfométricos obtidos em análise automatizada no município de Toropi/RS. **Geografia Ensino & Pesquisa**, Santa Maria, v. 27, p. 1-24, e74261, 2023. DOI: <https://doi.org/10.5902/2236499474261>

SILVEIRA, R. M. P; da SILVEIRA, C. T. Análise comparativa entre modelos digitais de elevação com distintas características de processamento e aquisição. **Boletim de Geografia** (Online), v. 33, p. 106-121, 2015. DOI: <https://doi.org/10.4025/bolgeogr.v33i0.31930>

SILVEIRA, C. T. da *et al.* Classificação automatizada de elementos de relevo no estado do paraná (Brasil) por meio da aplicação da proposta dos geomorphons. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.19, n.1, p.33-57, 2018. DOI: <https://doi.org/10.20502/rbg.v19i1.1263>

SOUZA, M. J. N. de Geomorfologia e Planejamento Ambiental. **Revista de Geografia (Recife)** v. 35, n. 4 (especial XII SINAGEO), p. 380 – 393, 2018. DOI: <https://doi.org/10.51359/2238-6211.2018.238237>

STEPINSKI, T.F; JASIEWICZ, J. Geomorphons— a new approach to classification of landform. *In*: HENGL, T *et al.* (Eds.). **Proceedings of Geomorphometry**. San Bernardino: Redlands, p. 109-112, 2011.

TRICART, J. **Principes et methodes de la geomorphologie**. Paris: Masson, 1965.

VERSTAPPEN, H. T. Old and new trends in geomorphological and landform mapping. *In*: SMITH, M. J.; PARON, P; GRIFFITHS, J. S (Eds.). **Geomorphological Mapping: Methods and Application**. Amsterdam: Elsevier, 2011, p. 13-38.

XAVIER DA SILVA, J. Geomorfologia e Geoprocessamento. *In*: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B (Org.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 7. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1994, p. 393-419.