

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE BACHARELADO EM GEOGRAFIA – NOTURNO
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA

GABRIEL RUIZ PINHEIRO

**MAPEAMENTO E ANÁLISE ESPACIAL DE RAVINAS E
VOÇOROCAS ASSOCIADAS À FORMAÇÃO TUPANCIRETÃ EM
SANTIAGO-RS, PLANALTO MERIDIONAL**

Porto Alegre, RS

2023

GABRIEL RUIZ PINHEIRO

**MAPEAMENTO E ANÁLISE ESPACIAL DE RAVINAS E
VOÇOROCAS ASSOCIADAS À FORMAÇÃO TUPANCIRETÃ EM
SANTIAGO-RS, PLANALTO MERIDIONAL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado para a banca examinadora do curso de Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como exigência parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Clódis de Oliveira Andrades Filho (UFRGS)

Porto Alegre, RS

2023

CIP - Catalogação na Publicação

Pinheiro, Gabriel Ruiz
MAPEAMENTO E ANÁLISE ESPACIAL DE RAVINAS E
VOÇOROCAS ASSOCIADAS À FORMAÇÃO TUPANCIRETÃ EM
SANTIAGO-RS, PLANALTO MERIDIONAL / Gabriel Ruiz
Pinheiro. -- 2023.
52 f.
Orientador: Clódis de Oliveira Andrades Filho.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto
de Geociências, Bacharelado em Geografia, Porto
Alegre, BR-RS, 2023.

1. Mapeamento. 2. Feições erosivas. 3.
Sensoriamento remoto. 4. Geomorfométricas. I. Andrades
Filho, Clódis de Oliveira, orient. II. Título.

GABRIEL RUIZ PINHEIRO

**MAPEAMENTO E ANÁLISE ESPACIAL DE RAVINAS E
VOÇOROCAS ASSOCIADAS À FORMAÇÃO TUPANCIRETÃ EM
SANTIAGO-RS, PLANALTO MERIDIONAL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado para a banca examinadora do curso de Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como exigência parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geografia.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Clódis de Oliveira Andrades Filho

Departamento de Geodésia – UFRGS

Profa. Dra. Flávia Cristiane Farina

Departamento de Geodésia – UFRGS

Me. Mateus da Silva Reis

Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto - UFRGS

AGRADECIMENTOS

Quero expressar minha gratidão ao Prof. Dr. Clódis de Oliveira Andrades Filho, que foi meu orientador e me proporcionou tanta aprendizagem, atenção e generosidade.

Aos meus pais, por todo amor, condução e convívio durante a vida. Espero que saibam que eternamente terão méritos em minhas conquistas.

Aos meus avós, que tiveram um papel importante na minha criação, agradeço o carinho e ensinamentos, especialmente ao vô Dalton, que nos deixou no decorrer deste trabalho.

À minha irmã, uma artista nata, que encanta com sua dedicação e disposição.

À toda a minha Família, que é extensa, onde encontro carinho, acolhimento e estímulo.

Tantas pessoas que me inspiram com suas trajetórias de vida e profissional. Em especial aos meus tios e primos, que me acolheram em Porto Alegre, possibilitando uma melhor dedicação e qualidade nos estudos, nesta graduação.

Agradeço à minha namorada, Paulyne, por todo o amor, companheirismo e entusiasmo, em todos os momentos e desafios.

A todos os meus amigos e colegas, pelas parcerias, descontrações e aprendizados.

Agradeço a todos os meus professores, desde a educação básica até a graduação, que tiveram um papel fundamental no meu crescimento pessoal e profissional, e que sempre admirei e respeitei muito.

A todos os membros do grupo de pesquisa Latitude, os primeiros ouvintes e consultores do estudo desde a elaboração do projeto até a apresentação final.

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul, pela possibilidade de formação de qualidade em um dos melhores cursos de Geografia da América Latina.

RESUMO

A presente pesquisa tem como ponto de partida o uso do Sensoriamento Remoto na análise da geomorfologia relacionada aos depósitos sedimentares da Formação Tupanciretã. Visa espacializar e analisar as condicionantes geomorfométricas de ravinas e voçorocas associadas às Formações Tupanciretã e Serra Geral no Planalto Meridional do Rio Grande do Sul, a partir de sensoriamento remoto e geoprocessamento. A relevância deste trabalho parte da caracterização de importantes componentes geológicos e geomorfológicos da ocorrência da Formação Tupanciretã, além de contribuir para o aperfeiçoamento do mapeamento das formações geológicas na região. Tendo como metodologia um caráter exploratório começando com a coleta de observações que indicam discrepâncias em relação às descrições teóricas existentes. Em seguida, foi estabelecida uma hipótese sobre a localização da área de estudo, com o objetivo de realizar o mapeamento das feições erosivas e a análise geomorfométricas. Assim, os produtos cartográficos produzidos sintetizam a análise geomorfométrica da área de estudo, proporcionando uma representação visual da forma do terreno onde as feições erosivas se encontram.

Palavras chave: Mapeamento. Feições erosivas. Sensoriamento remoto.

ABSTRACT

The present research has as its starting point the use of Remote Sensing in the analysis of the geomorphology related to the sedimentary deposits of the Tupanciretã Formation. It aims to spatialize and analyze the geomorphometric constraints of ravines and gullies associated with the Tupanciretã and Serra Geral Formations in the Southern Plateau of Rio Grande do Sul, based on remote sensing and geoprocessing. The relevance of this work comes from the characterization of important geological and geomorphological components of the occurrence of the Tupanciretã Formation, in addition to contributing to the improvement of the mapping of the geological formations in the region. Then, a hypothesis about the location of the study area was established, with the objective of mapping the erosive features and geomorphometric analysis. Thus the cartographic products produced synthesize the geomorphometric analysis of the study area, providing a visual representation of the shape of the terrain where the erosive features are found.

Key words: Mapping. Erosional features. Remote sensing.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Afloramento da Formação Tupanciretã em voçoroca, Fortaleza dos Valos - RS ... | 14 |
| Figura 2 - Afloramento da Formação Tupanciretã em ravina, Tupanciretã - RS..... | 15 |
| Figura 3 - Ilustração de feição erosiva do tipo ravina..... | 16 |
| Figura 4 - Ilustração de feição erosiva do tipo voçoroca | 17 |
| Figura 5 - Esquemático metodológico | 21 |
| Figura 6 - Localização da Área de Estudo | 23 |
| Figura 7 - Área de Estudo e unidades geológicas (i.e., litologia)..... | 24 |
| Figura 8 - Área de varredura e quadrículas de mapeamento | 28 |
| Figura 9 - Mapeamento das Feições Erosivas | 30 |
| Figura 10 - Exemplos de feições vetorizadas | 31 |
| Figura 11 - Mapeamento das Feições Erosivas - Declividade | 32 |
| Figura 12 - Mapeamento das Feições Erosivas – Orientações de Vertentes | 33 |
| Figura 13 - Mapeamento das Feições Erosivas – Curvatura Vertical..... | 34 |
| Figura 14 - Mapeamento das Feições Erosivas – Curvatura Horizontal..... | 35 |
| Figura 15 - Mapeamento das feições erosivas - Densidade | 36 |
| Figura 16 - Vetorização – Área de ocorrência e área de não ocorrência. Polígono em roxo (área de ocorrência de feições erosivas), polígono em magenta (área de não ocorrência de feições erosivas)..... | 37 |
| Figura 17 - Área de não ocorrência – Declividade | 38 |
| Figura 18 - Área de ocorrência – Declividade..... | 38 |
| Figura 19 - Área de não ocorrência – Orientação de vertentes | 39 |
| Figura 20 - Área de ocorrência – Orientação de Vertentes | 39 |
| Figura 21 - Área de não ocorrência – Curvatura vertical | 40 |
| Figura 22 - Área de ocorrência – Curvatura vertical | 41 |
| Figura 23 - Área de não ocorrência – Curvatura horizontal..... | 41 |
| Figura 24 - Área de ocorrência – Curvatura horizontal | 42 |

LISTA DE ABREVIATURAS

| | |
|--------|--|
| ANA | Agência Nacional de Águas |
| CPRM | Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais |
| DNPM | Departamento Nacional de Produção Mineral |
| INPE | Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais |
| MDE | Modelo Digital de Elevação |
| MDT | Modelo Digital de Terreno |
| SIAGAS | Sistema de Informações de Águas Subterrâneas |
| SIG | Sistema de Informação Geográfica |
| SRTM | <i>Shuttle Radar Topography Mission</i> |
| UTM | <i>Universal Transverse Mercator</i> |

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| 1. INTRODUÇÃO..... | 10 |
| 1.1. OBJETIVOS..... | 12 |
| 1.1.1. OBJETIVO GERAL..... | 12 |
| 1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 12 |
| 2. REFERENCIAL TEÓRICO..... | 13 |
| 2.1. FORMAÇÕES SERRA GERAL E TUPANCIRETÃ..... | 13 |
| 2.2. GEOMORFOLOGIA E FEIÇÕES EROSIVAS..... | 15 |
| 2.3 SENSORIAMENTO REMOTO E ANÁLISE ESPACIAL..... | 17 |
| 2.3.1 VARIÁVEIS GEOMORFOMÉTRICAS..... | 18 |
| 3. METODOLOGIA..... | 20 |
| 3.1 ESPACIALIZAÇÃO DAS FEIÇÕES EROSIVAS E ANÁLISE ESPACIAL..... | 22 |
| 3.2 ÁREA DE ESTUDO E BASES DE DADOS..... | 22 |
| 3.2.1 ÁREA DE ESTUDO..... | 22 |
| 3.2.2 BASES DE DADOS GEOESPACIAIS..... | 24 |
| 3.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS..... | 25 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES..... | 30 |
| 4.1 DISTRIBUIÇÃO DAS FEIÇÕES EROSIVAS..... | 30 |
| 4.2 CARACTERIZAÇÃO GEOMORFOMÉTRICA..... | 32 |
| 4.3 ANÁLISE ESPACIAL INTEGRADA..... | 35 |
| 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 43 |
| 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 44 |
| APÊNDICE A – CARTOGRAFIA SÍNTESE..... | 47 |

1. INTRODUÇÃO

A distribuição espacial das unidades geológicas em superfície no norte do Estado do Rio Grande do Sul é marcada pela expressiva presença das rochas da Formação Serra Geral, portanto, predominante enquanto substrato do Planalto Meridional. Estas unidades compõem o preenchimento superior da Bacia intracratônica do Paraná, que tem sido bastante estudada (p.e., MILANI *et al.*, 2007), sobretudo no que diz respeito à evolução de suas unidades geológicas datadas até o período Cretáceo, que foi quando se encerraram os eventos magmáticos extrusivos na Bacia.

As rochas da Formação Serra Geral têm sua gênese nesta série de eventos ígneos extrusivos, ligados aos processos tectônicos que culminaram na abertura do Oceano Atlântico e separação dos continentes da América do Sul e África. Na porção central do Planalto Meridional, a Formação Serra Geral é recoberta pelos depósitos sedimentares fluviais da Formação Tupanciretã. Especialmente estes depósitos possuem seus remanescentes distribuídos de forma descontínua, predominantemente nos interflúvios dos altos cursos das bacias hidrográficas Alto do Jacuí (Região Hidrográfica do Guaíba), Ijuí, Ibicuí, Butuí, Piratinim, Icamauã e Várzea (Região Hidrográfica do Uruguai).

As rochas da Formação Serra Geral possuem datação absoluta definida do Eo-Cretáceo, no Mesozoico, e a Formação Tupanciretã tem idade relativa estabelecida ao início da Era Cenozoica (Menegotto *et al.*, 1968, CPRM, 2006). Assim como a cronologia, a Formação Tupanciretã carece de estudos sobre a sua evolução geológica e geomorfológica nos períodos pós-cretáceo. Nesse sentido, contribuições recentes estão sendo importantes para o aprimoramento do debate e entendimento sobre a proveniência dos sedimentos da Formação Tupanciretã e sobre a influência estrutural e tectônica em sua evolução (RICCOMINI *et al.*, 2016; REIS, 2020; MARIN, 2022; REIS *et al.*, 2022; RUPPEL *et al.*, 2023). No entanto, destaca-se a necessidade de estudos que visem o aperfeiçoamento do mapeamento destes depósitos sedimentares e das feições geomorfológicas associadas a este substrato de natureza sedimentar. Dentre estas feições, destacam-se as erosivas, sobretudo ravinas e voçorocas.

Em análises preliminares do presente estudo e outros estudos na região (p.e., ANDRADES FILHO *et al.*, 2017) foram observadas incompatibilidades com relação a distribuição de dados *in loco* com o mapa geológico do Rio Grande do Sul (CPRM, 2006). Entre estas incompatibilidades destaca-se a distribuição dos perfis construtivos de poços

cadastrados no Sistema de Informação de Águas Subterrâneas (SIAGAS), que indicam a presença de rochas da Formação Tupanciretã além de sua área de abrangência estabelecida na cartografia oficial vigente. Estas observações foram feitas pela graduanda em Geografia Antonele Valcareggi e divulgadas no Salão de Iniciação Científica da UFRGS 2021 (VALCAREGGI; ANDRADES FILHO, 2021). Além disso, por meio da observação de imagens de satélites de alta resolução espacial, foram identificadas ravinas e voçorocas em áreas adjacentes à Formação Tupanciretã, áreas estas mapeadas, no entanto, como Formação Serra Geral (CPRM, 2006).

Essas feições erosivas são comumente associadas, na região, às áreas cujo substrato é dos arenitos da Formação Tupanciretã, devido à fragilidade deste substrato rochoso aos processos erosivos, condição incompatível, por outro lado, com a alta resistência das litologias da Formação Serra Geral. Assim, levanta-se a hipótese de que estas feições erosivas sejam indicação da circunstância de submapeamento da Formação Tupanciretã na porção central do Planalto Meridional do Rio Grande do Sul. Portanto, a espacialização destas feições erosivas, a análise espacial da sua distribuição, bem como as relações com a hidrografia, litologia e demais elementos fisiográficos, contribuirão para a caracterização de importantes componentes geológicos e geomorfológicos da ocorrência da Formação Tupanciretã.

A cartografia de referência sobre a distribuição espacial das Formações Tupanciretã e Serra Geral na porção central do Planalto Meridional do RS vem de trabalhos pioneiros realizados nas décadas de 60 e 70 ancorados em aerofotogrametria (p.e., MENEGOTTO et al., 1968), sistematizados em mapeamentos de órgãos oficiais posteriormente (p.e., DNPM, 1989) e mais recentemente o Mapa Geológico do Rio Grande de Sul (CPRM, 2006).

A alta disponibilidade e diversidade atual de dados de sensoriamento remoto orbital e aéreo, como imagens ópticas, radar e modelos digitais de elevação, se constitui numa oportunidade de aplicação e testes na investigação geológica e geomorfológica direcionadas ao melhor entendimento dos processos erosivos, da dinâmica geomorfológica e, sobretudo, da distribuição espacial das Formações Serra Geral e Tupanciretã.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. OBJETIVO GERAL

O objetivo geral da presente pesquisa é espacializar e analisar condicionantes fisiográficas de ravinas e voçorocas associadas às Formações Tupanciretã e Serra Geral no Planalto Meridional do Rio Grande do Sul, sul do Brasil, a partir de sensoriamento remoto e geoprocessamento.

1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Mapear a ocorrência de ravinas e voçorocas por meio de imagens de satélite de alta resolução espacial;
- b) Caracterizar a relação espacial das feições erosivas com a litologia e propriedades geomorfométricas;
- c) Produzir cartografia síntese das análises e avaliar o potencial destas para o aperfeiçoamento do mapeamento das Formações Tupanciretã e Serra Geral na porção central do Planalto Meridional.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

A finalidade principal deste estudo é mapear e examinar as características físicas das ravinas e voçorocas que estão relacionadas com as formações geológicas Tupanciretã e Serra Geral, utilizando tecnologias de sensoriamento remoto e geoprocessamento para análise espacial. Portanto, este capítulo tem como objetivo fornecer um embasamento teórico dos temas, estabelecendo conceitos e referencial fundamentais para o trabalho.

2.1. FORMAÇÕES SERRA GERAL E TUPANCIRETÃ

A Formação Serra Geral é a designação para o litotipo oriundo dos derrames magmáticos ocorridos no período Cretáceo, Era Mesozoica. Estes derrames são datados de 133 a 127 Ma, aproximadamente (CPRM, 2006). Porém, há ainda uma classificação das fácies desta Formação, levando em consideração as variações de derrames, características químicas e composicionais. As fácies presentes especificamente na área de estudo são a fácies Caxias e a fácies Gramado. A fácies Caxias ocorre sobrejacente à fácies Gramado e tem por característica derrames de composição intermediária a ácida, apresentando riódacitos a riolitos, mesocráticos, microgranulares a vitrofíricos. A fácies Gramado é composta de derrames basálticos granulares finos a médio, composta por zeolitas, carbonatos, apofilitas e saponita (CPRM, 2006).

A Formação Tupanciretã abrange rochas sedimentares (Figura 1 e Figura 2), predominantemente de arenitos finos, quartzosos, paraconglomerados e arenitos conglomeráticos, depositados em ambiente continental fluvial e lacustre (CPRM, 2006), ocorre inteiramente sobre a Formação Serra Geral. A Formação Tupanciretã foi definida pelos autores Menegotto *et al.* (1968), sendo descrita como uma unidade de manchas isoladas, descontínuas, com uma superfície de aproximadamente 7.800 km². Antes de Menegotto *et al.* (1968), os arenitos desta Formação eram considerados “janelas” dos arenitos da Formação Botucatu. Ao ser considerada uma Formação específica, os sedimentos da Formação Tupanciretã possuem proveniência tida atualmente como da Formação Serra Geral, porém carecendo de estudos detalhados e aperfeiçoados por metodologias recentes. Coulon *et al.* (1973), por exemplo, apresentam a presença de diversos tipos de sedimentos não provenientes da Formação Serra Geral. Estes autores supracitados concluem que a Formação Tupanciretã

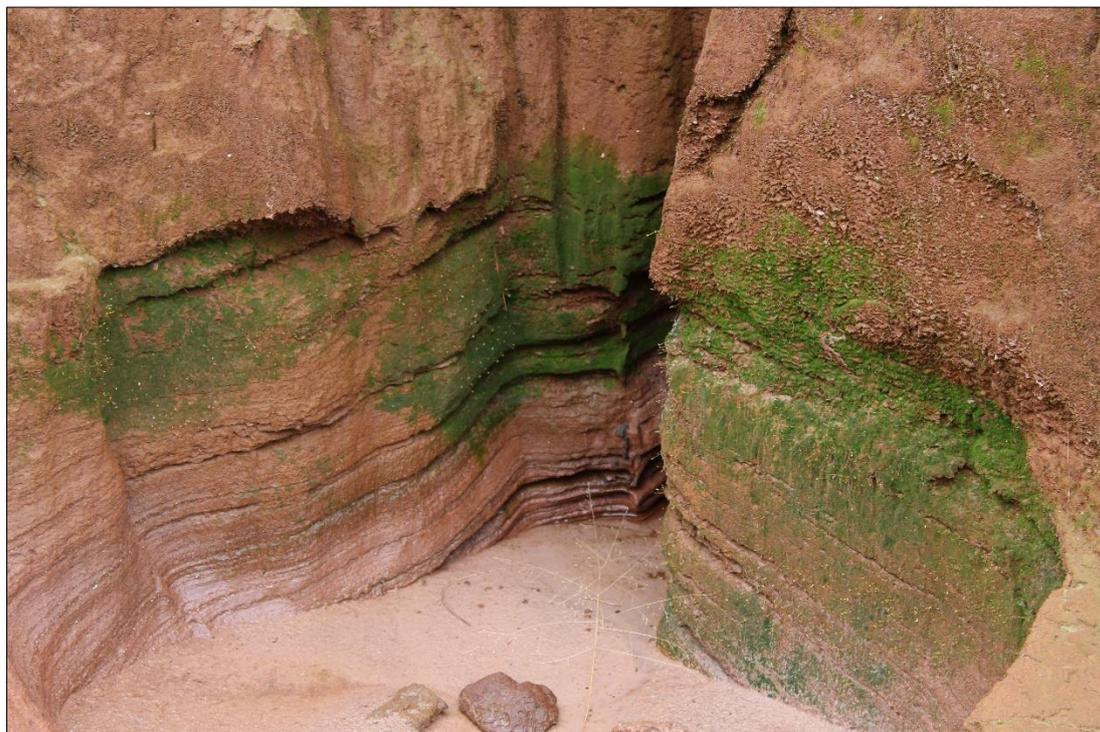
tem sua gênese complexa atrelada a diversos fatores, como por exemplo, o soerguimento do estado do Rio Grande do Sul durante o Paleógeno-Neógeno, ainda decorrente da separação dos continentes.

Figura 1 - Afloramento da Formação Tupanciretã em voçoroca, Fortaleza dos Valos - RS



Fonte: Reis (2020).

Figura 2 - Afloramento da Formação Tupanciretã em ravina, Tupanciretã - RS



Fonte: Reis (2020).

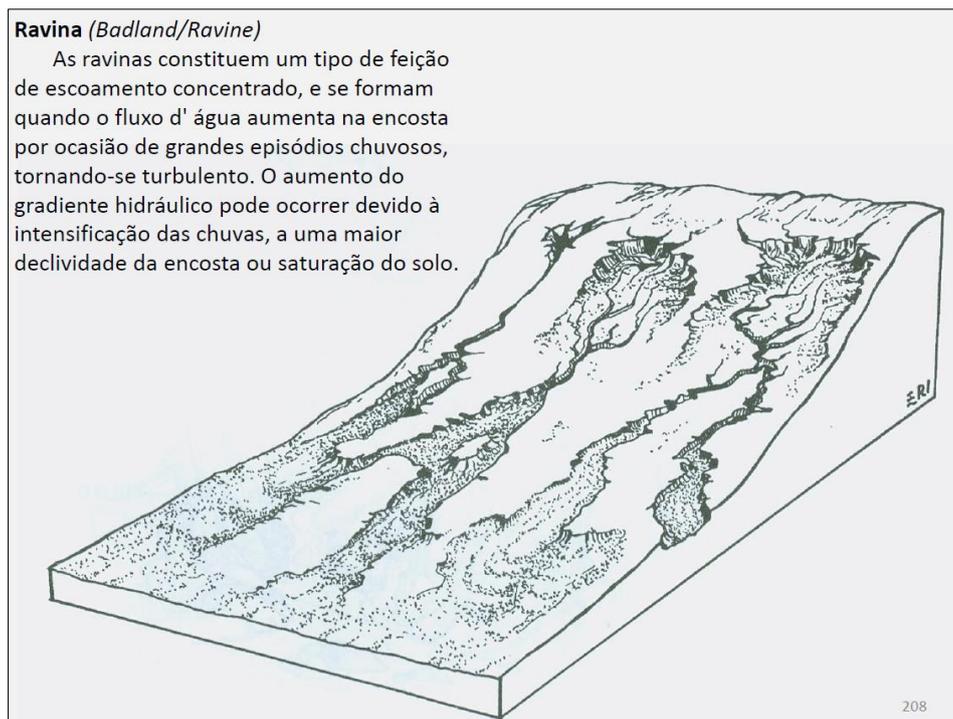
2.2. GEOMORFOLOGIA E FEIÇÕES EROSIVAS

A erosão do solo é um processo que ocorre quando há desequilíbrio entre os elementos naturais, como vegetação, solo e clima, ou por ações humanas. Essa erosão pode ser classificada de acordo com diferentes critérios, como o agente causador, tipo ou origem, ou ainda a sua natureza. Quando a erosão ocorre de forma natural, sem interferência antrópica, é chamada de erosão geológica. Já a erosão acelerada é aquela que decorre do aumento das taxas de erosão, muitas vezes ocasionadas pela atividade humana, e pode levar ao esgotamento da capacidade produtiva do solo. Embora a erosão geológica seja um processo natural, as altas taxas de erosão acelerada podem ter impactos negativos significativos no ambiente, especialmente na produtividade do solo (PEREIRA; RODRIGUES, 2022).

A diferenciação entre ravinas (Figura 3) e voçorocas é, principalmente, baseada em dimensões, como observado na literatura nacional e internacional. Embora ambas apresentem características morfológicas semelhantes, sua gênese pode ser distinta, sendo necessário considerar a influência do afloramento do lençol freático e da dinâmica de infiltração. Ravinas

são causadas apenas por escoamento superficial concentrado, enquanto a voçorocamento pode ser resultado de uma interconexão entre processos de escoamento superficial e subsuperficial (VIEIRA, 2008). No entanto, a questão central transcende as características morfológicas e envolve a magnitude do impacto ambiental, que interfere diretamente na capacidade de uso da terra (PEREIRA; RODRIGUES, 2022).

Figura 3 - Ilustração de feição erosiva do tipo ravina

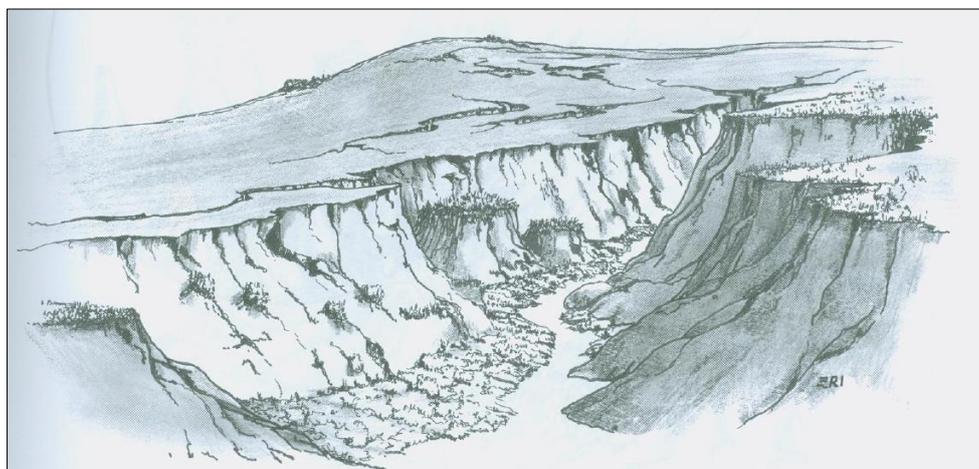


Fonte: Suertgaray *et al.* (2008).

Haja visto, as feições erosivas investigadas, são processos que podem ocorrer naturalmente ou potencializados pela ação humana, sendo as voçorocas (Figura 4) como principais alvos de mapeamento, definidas como:

As voçorocas podem ser originadas pelo aprofundamento e alargamento de ravinas, ou por erosão causada pelo escoamento subsuperficial, o qual dá origem a dutos. São relativamente permanentes nas encostas. Têm paredes laterais íngremes, em geral fundo chato, ocorrendo fluxo de água no seu interior durante os períodos chuvosos. Ao aprofundarem seus canais, as voçorocas atingem o lençol freático. Constituem um processo de erosão acelerada e de instabilidade nas paisagens. (SUERTEGARAY *et al.*, 2008 p. 245)

Figura 4 - Ilustração de feição erosiva do tipo voçoroca



Fonte: Suertgaray *et al.* (2008).

Segundo Bacellar (2006), existem alguns fatores que definem uma maior tendência para o aparecimento de voçorocas, das quais se destacam: relevo, fatores geológicos, fatores climáticos, humanos etc. Sendo assim, a pesquisa necessita observar estes processos e suas progressões ao longo do tempo, para melhor identificação.

2.3 SENSORIAMENTO REMOTO E ANÁLISE ESPACIAL

Segundo Crepani *et al.* (1996), o sensoriamento remoto é uma ciência que permite a obtenção de informações sobre objetos, áreas ou fenômenos por meio de dados coletados por sensores que não têm contato direto com os alvos em estudo. O geoprocessamento, por sua vez, consiste em qualquer tipo de processamento de dados georreferenciados, envolvendo técnicas e conceitos de cartografia, sensoriamento remoto e Sistema de Informação Geográfica (SIG) (SILVA, 2003). De acordo com Fitz (2008), o geoprocessamento é uma tecnologia que possibilita a manipulação, análise e visualização de dados georreferenciados. O SIG é um ambiente de trabalho utilizado para analisar dados geográficos em diferentes formatos, permitindo o manuseio e a análise desses dados para extrair o máximo de informações possíveis (MENDONÇA *et al.*, 2011).

A técnica de estaqueamento é comumente utilizada para mapear e monitorar áreas afetadas por ravinas e voçorocas, através de medições realizadas *in loco* (TEDESCO *et al.*, 2014). Uma opção alternativa aos estudos realizados presencialmente consiste no uso de técnicas aerofotogramétricas para gerar um Modelo Digital de Terreno (MDT) ou, por meio de fotointerpretação, mapear as voçorocas (MARTÍNEZ-CASASNOVAS, 2003). Neste sentido, os mosaicos globais de imagens fornecidos pelo Google Earth e a *Environmental Systems Research Institute* (ESRI), podem ser alternativas para realização de alguns estudos. O Google Earth é amplamente reconhecido como um dos principais aplicativos de disponibilização de imagens da superfície terrestre. Além de fornecer imagens espaciais, esta plataforma oferece a possibilidade de se sobrepor camadas de um Sistema de Informação Geográfica (SIG), que podem incluir dados em formato vetorial ou matricial. A popularidade do Google Earth se deve em grande parte à sua capacidade de democratizar o uso de tecnologia de informação geográfica, tornando-a acessível a qualquer pessoa (OLIVEIRA, 2021).

2.3.1 VARIÁVEIS GEOMORFOMÉTRICAS

Segundo Valeriano e Albuquerque (2010), cada aspecto ou processo da paisagem tem uma função específica em resposta às diversas variáveis do relevo. Para obter as informações relevantes, é necessário analisar os dados topográficos, que fornecem principalmente informações sobre elevação. Esse processo de análise, conhecido como derivação geomorfométrica, produz variáveis geomorfométricas. Embora todos os produtos extraídos de dados altimétricos possam ser considerados derivações geomorfométricas, é mais apropriado restringir o conceito a dados que se relacionam estritamente com as características geométricas do terreno.

As variáveis geomorfométricas locais referem-se à características observadas em pequenas áreas que podem ser caracterizadas pela observação da vizinhança próxima de um ponto. Por exemplo, a altitude de um ponto pode ser determinada apenas observando-o, enquanto a declividade requer a ampliação da observação para permitir a comparação dos desníveis ao redor do ponto de interesse (VALERIANO; ALBUQUERQUE, 2010).

A altimetria é considerada uma derivação de ordem zero, enquanto a declividade e a orientação das vertentes são derivadas de primeira ordem, e as curvaturas vertical e horizontal

são derivadas de segunda ordem. Essas variáveis geomorfométricas locais básicas são fundamentais para o estudo da geomorfologia (VALERIANO; ALBUQUERQUE, 2010).

A declividade do terreno é considerada uma variável fundamental, devido à sua estreita relação com processos de transporte gravitacional como escoamento, erosão e deslizamento. É expressa em graus (0° a 90°) ou percentuais. Usada em praticamente todos os métodos de avaliação de terras ou planejamento de conservação baseados em modelagem numérica ou em decisões lógicas, importante para a interpretação geomorfológica (VALERIANO, 2008).

A orientação de vertentes é um parâmetro que indica a direção em que uma vertente está voltada e é expressa em graus, de 0° a 360° . Ela é determinada pelo ângulo azimutal correspondente à maior inclinação do terreno no sentido descendente. No campo, a orientação pode ser determinada pela leitura da bússola na direção presumida do escoamento ou na direção morro abaixo. Em mapas topográficos, a orientação é representada pela direção transversal à isolinha local e no sentido descendente. A geometria de exposição da superfície do terreno em representações sob esquema de relevo sombreado é formada pela combinação da orientação de vertentes com a declividade (VALERIANO, 2008).

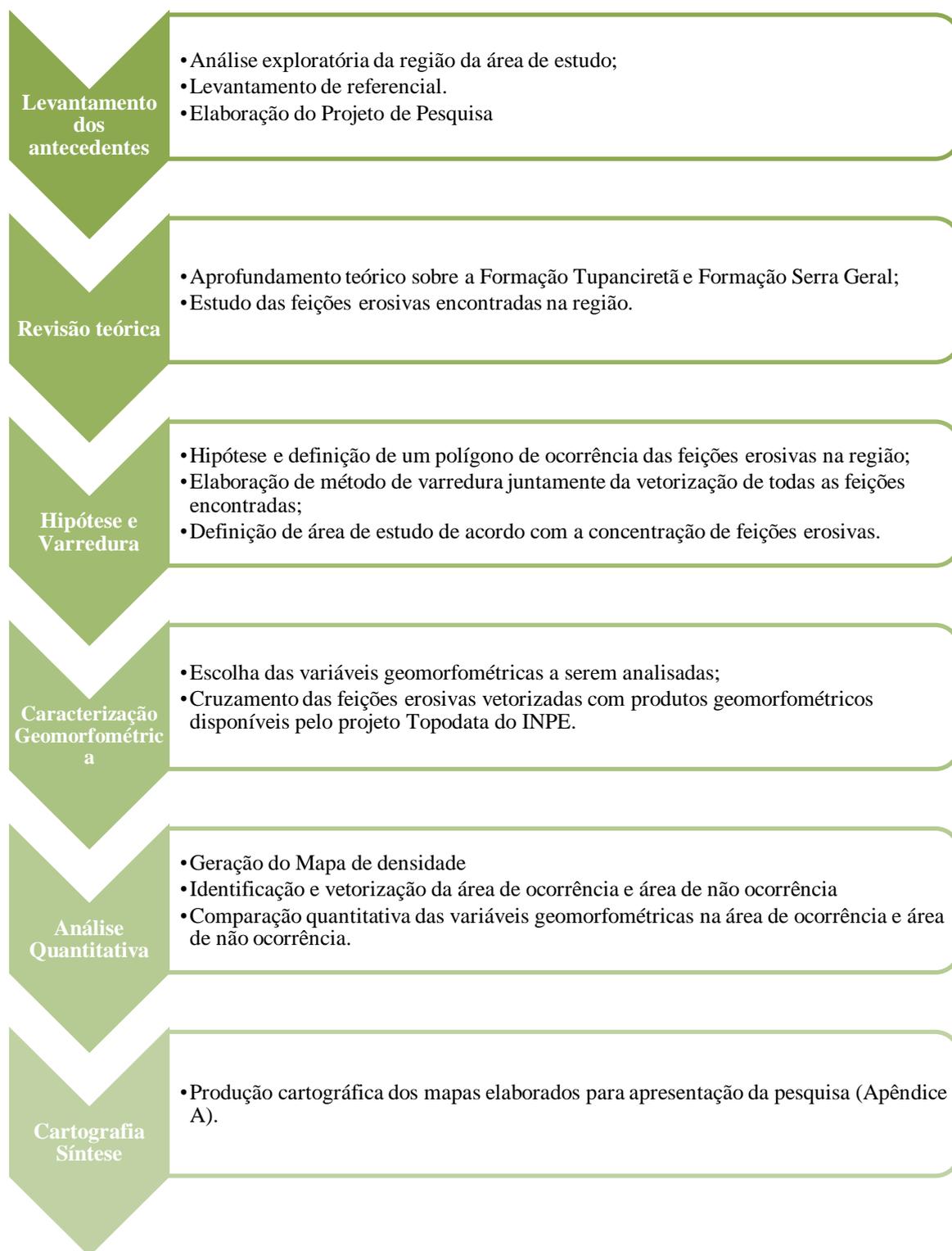
A curvatura vertical é uma classificação do perfil da vertente que indica se o terreno é convexo ou côncavo. Ela é expressa em graus por metro ($^\circ/m$) e determinada pela segunda derivada da altitude e pode ser descrita como a mudança na inclinação do terreno ao longo de uma certa distância. Em termos mais simples, a curvatura vertical refere-se à forma como a superfície do terreno se curva para dentro ou para fora quando vista de lado (VALERIANO, 2008).

A curvatura horizontal representa a forma da vertente quando vista em projeção horizontal. Ela é expressa em graus por metro ($^\circ/m$) e é calculada como uma derivada de segunda ordem das curvas de nível, e não da elevação. Similar à relação entre a curvatura vertical e a declividade, a curvatura horizontal pode ser descrita como a mudança na orientação das vertentes ao longo de uma certa distância. Em termos mais simples, a curvatura horizontal se refere à convergência ou divergência das linhas de fluxo na superfície da vertente. No entanto, devido à distribuição espacial não uniforme da curvatura horizontal, sua representação em escalas generalizadas pode ser desfavorável. A curvatura horizontal é mais útil em escalas detalhadas, especialmente para informações hidrológicas (VALERIANO, 2008).

3. METODOLOGIA

A metodologia adotada deu-se a partir de passos desde a elaboração do projeto como explicitado no esquemático abaixo (Figura 5). Devido ao caráter exploratório da pesquisa o estudo inicia-se com a obtenção de observações que apontem para inconsistências com as descrições teóricas existentes. Em seguida, foi definida uma hipótese da localização da área de estudo, para a realização da vetorização das feições erosivas e a análise geomorfométricas, que é cruzada com os resultados do mapeamento realizado. Sendo então, finalizada pela elaboração de produtos que sintetizassem a pesquisa e contribuíssem com futuros mapeamentos na região.

Figura 5 - Esquemático metodológico



Fonte: Elaboração Própria (2023).

3.1 ESPACIALIZAÇÃO DAS FEIÇÕES EROSIVAS E ANÁLISE ESPACIAL

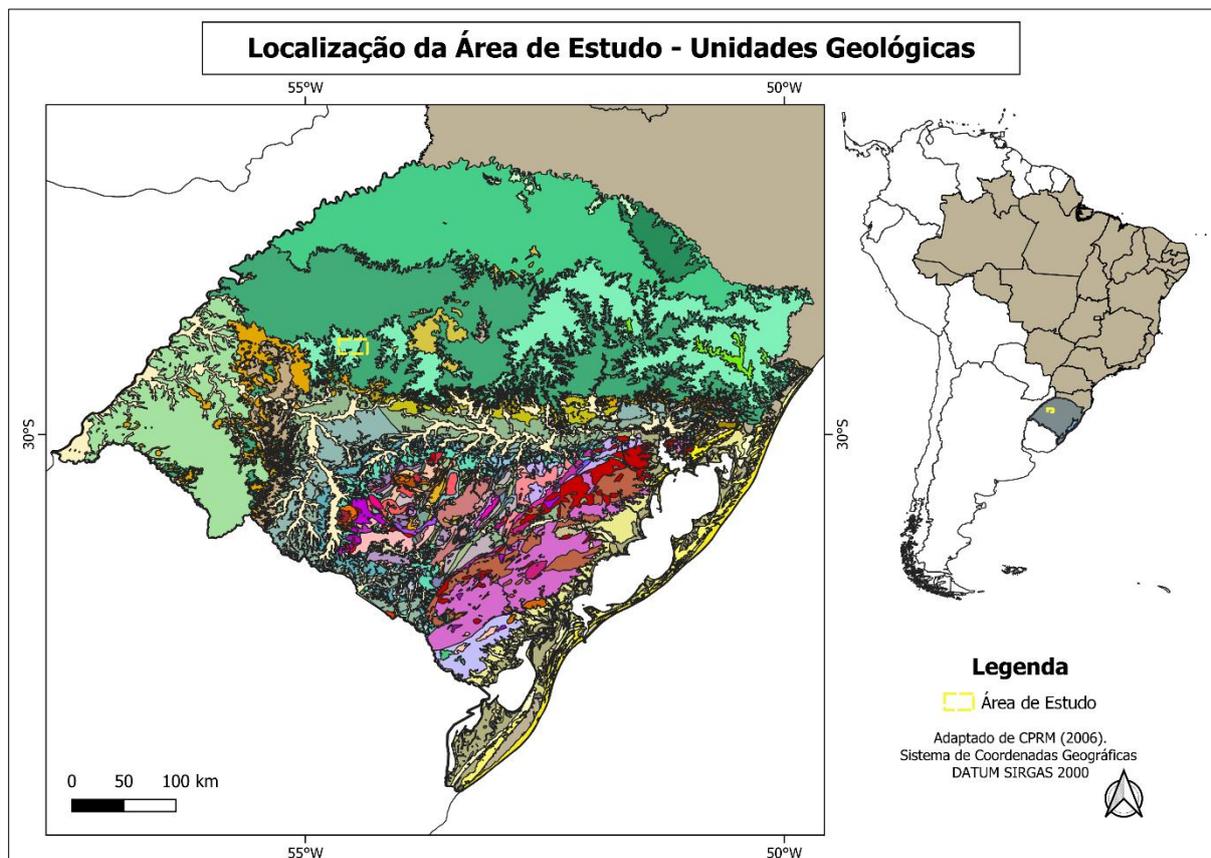
A metodologia proposta buscou espacializar e caracterizar as ocorrências das feições erosivas na área de estudo. Para isto, foram observadas imagens ópticas de satélite de alta resolução espacial e modelo digital de elevação (MDE), compatíveis com o sistema de projeção *Universal Transversa de Mercator* (UTM), *datum* SIRGAS 2000 e processados e analisados em Sistema de Informação Geográfica (SIG).

3.2 ÁREA DE ESTUDO E BASES DE DADOS

3.2.1 ÁREA DE ESTUDO

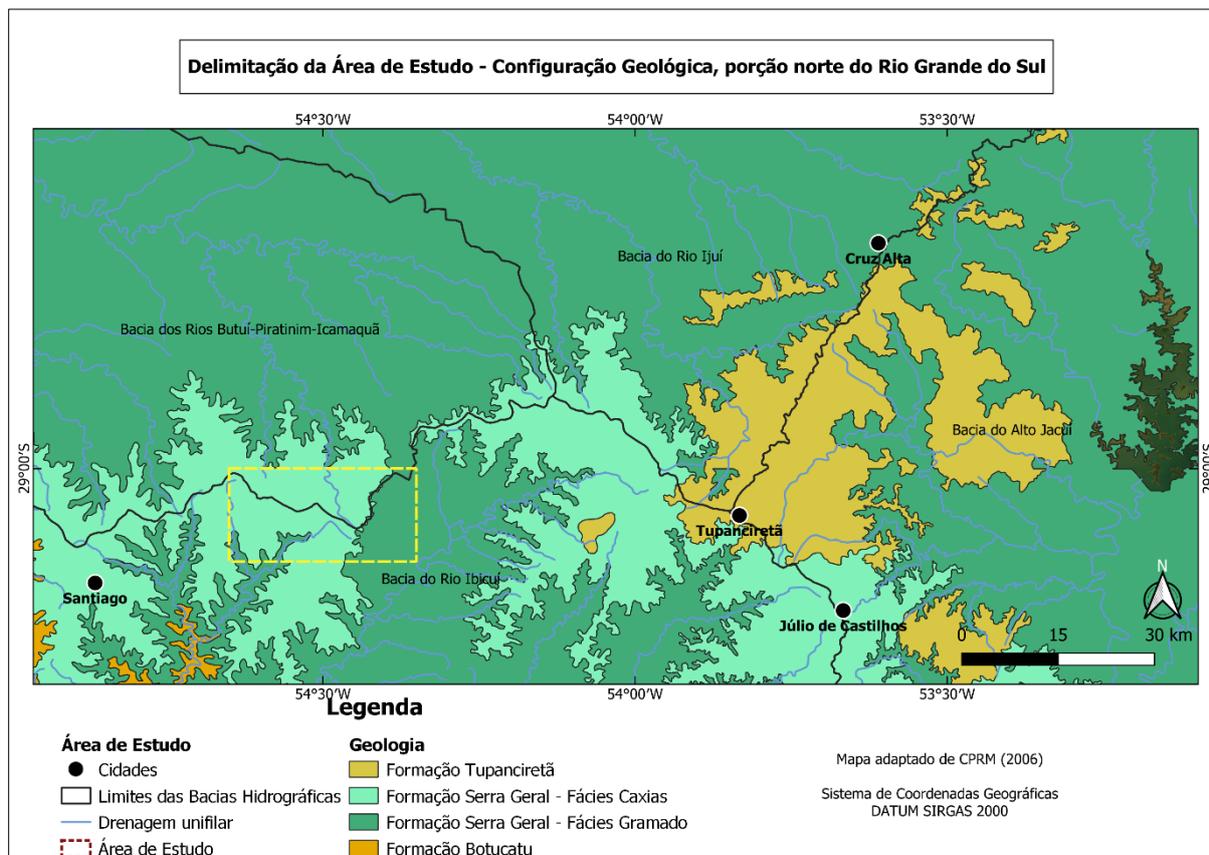
A área de estudo (Figura 6 e Figura 7) com 486 km², está localizada em posição adjacente às áreas atualmente delimitadas litologicamente por ocorrência da Formação Tupanciretã, nos municípios de Santiago, Capão do Cipó, e Tupanciretã. Para definição da área de estudo, foi levado em conta análises prévias de ocorrência das voçorocas e a presença de poços areníticos encontrados em áreas da Formação Serra Geral (VALCAREGGI; ANDRADES-FILHO, 2022). Além disso, foi delimitado para enquadrar o divisor de águas das bacias do rio Ibicuí e dos Rios Butuí, Piratinim e Icamaquã, pois a ocorrência em região de interflúvio é uma característica associada à Formação Tupanciretã (ANDRADES-FILHO *et al.*, 2017; REIS *et al.*, 2022).

Figura 6 - Localização da Área de Estudo



Fonte: Elaboração Própria (2023). Adaptado de CPRM (2006).

Figura 7 - Área de Estudo e unidades geológicas (i.e., litologia)



Fonte: Elaboração Própria (2023). Adaptado de CPRM (2006).

3.2.2 BASES DE DADOS GEOESPACIAIS

Podem ser utilizados para criar bases de dados geoespaciais diferentes fontes de dados, como bases obtidas por meio de satélites, levantamentos *in loco*, sensores e registros de dispositivos móveis. Essas informações são normalmente armazenadas em um formato geoespacial específico, como o *Shapefile* ou GeoJSON, e podem ser acessadas e analisadas usando software especializado em Sistema de Informação Geográfica (SIG). No presente estudo, utilizou-se o *software* QGIS 3.26.3 como plataforma SIG e os dados vetoriais salvos em formato *Shapefile*. As imagens utilizadas no estudo consistiram em imagens de base do Google Earth e ESRI, mosaico majoritariamente formado por imagens no satélite Geoeye (i.e., quando em maior escala), conjuntamente com mosaico de imagens gerados a partir de dados coletados por diversos satélites, como Landsat, Sentinel-2, MODIS e NAIP. Estas bases podem

ser acessadas para obtenção de dados em:
https://services.arcgisonline.com/ArcGIS/rest/services/World_Imagery/MapServer.

As variáveis geomorfométricas são elaboradas e disponibilizadas pelo projeto TOPODATA do INPE, que oferece livre acesso a esses dados locais derivados de SRTM. (*Shuttle Radar Topographic Mission*) para todo o território nacional. Estes dados foram refinados da resolução espacial original de 3 arco-segundos (~90m) para 1 arco-segundo (~30m) por krigagem. Assim, disponibilizando as variáveis de declividade, orientação de vertentes, curvatura horizontal e curvatura vertical, que no presente trabalho foram cruzadas com a vetorização das feições erosivas na elaboração dos mapas síntese. As bases podem ser acessadas em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/> e/ou <https://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/>.

A base hidrográfica utilizada no estudo é proveniente da Agência Nacional de Águas (ANA), que consiste em um vetor de cursos d'água unifilares representados graficamente na escala do milionésimo, codificados usando a metodologia de Otto Pfafster. Esses dados podem ser acessados através do catálogo de metadados da ANA e embora não sejam essenciais para o mapeamento realizado no trabalho, são úteis na caracterização da área de estudo e observação espacial. Base acessada em:
<https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/5dd8982f-afe3-4bf0-88d1-73fd53bc196c>

3.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para o estudo foi aplicada uma metodologia de mapeamento das feições erosivas no ambiente do *software* QGIS 3.26.3, por meio da observação e comparação de imagens de satélite de alta resolução espacial nas plataformas do *Google Earth Pro* e ESRI, importadas por meio do *plug in QuickMapServices*. Além da utilização do recurso temporal, disponível na plataforma *Google Earth Pro* para auxiliar na interpretação e evolução erosiva. A escolha por distintas plataformas, dá-se pela disponibilidade e qualidade de imagens entre elas, buscando assim uma melhor cobertura da área estudada.

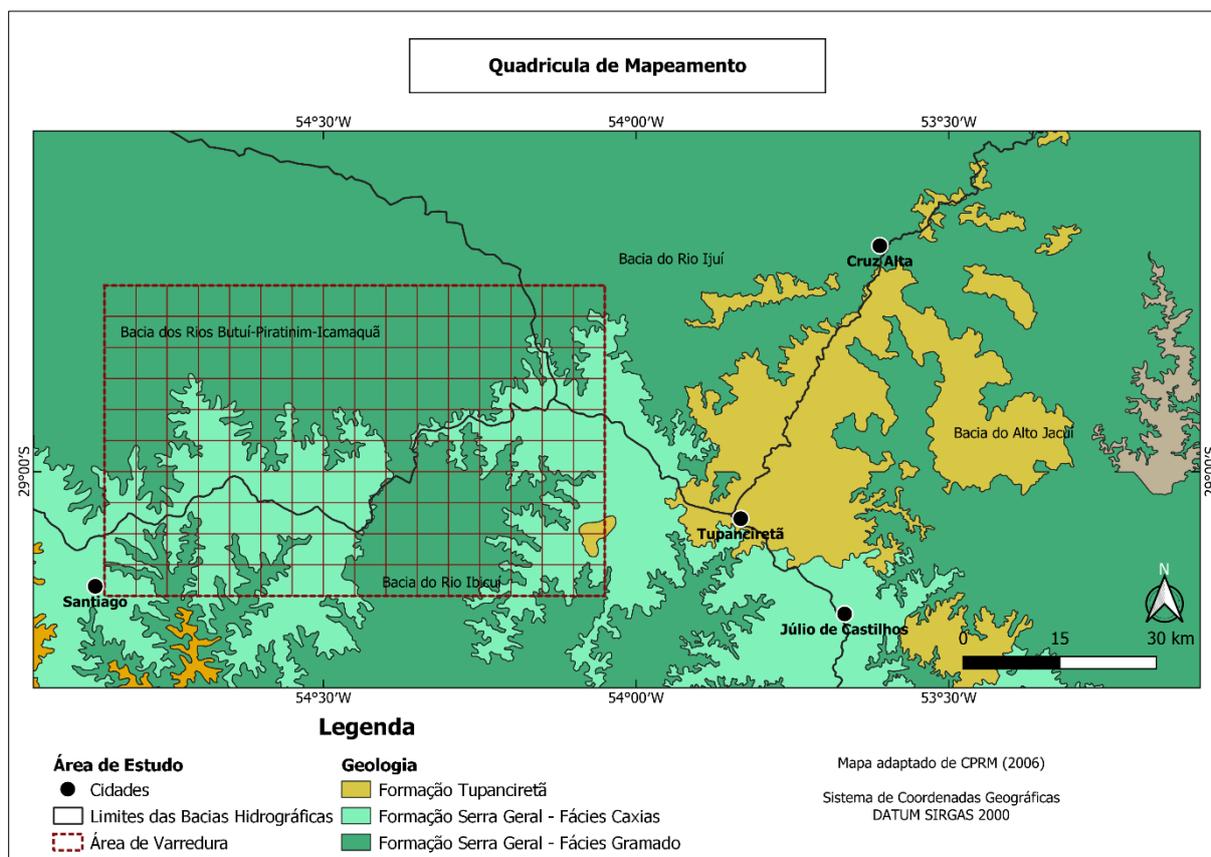
Foi desenvolvida uma chave de interpretação de imagens (Quadro 1) para referência e realização do trabalho de espacialização por interpretação visual. Além disso, devido a extensão da área (4320 km²) e minúcia necessária para a realização desta tarefa, a área de varredura foi subdividida em quadriculas de aproximadamente 27 km² (Figura 8), criando setores menores e possibilitando melhor organização de trabalho.

Quadro 1 - Chave de interpretação

| Classe Temática | Definição | Textura | Forma ou padrão | Exemplo |
|---------------------|---|---------|--|---|
| Cultura | Áreas de Agricultura, por vezes solo exposto arado. | Lisa | Lotes geométricos ou guiados pela topografia. Verde |  |
| Estradas e Vicinais | Área pavimentada ou não. Interconexão de diferentes localidades | Lisa | Linear |  |
| Floresta Arbórea | Vegetação | Rugosa | Irregular. Verde escuro |  |
| Campo | Vegetação rasteira e arbustiva | Rugosa | Irregular. Verde e marrom |  |
| Corpos D'água | Corpos d'água com ou sem presença de sedimentos. Açudes | Lisa | Irregular |  |
| Feições Erosivas | Solo exposto com evidência de aprofundamento. | Rugosa | Irregular com presença de sombreamento |  |

Fonte: Elaboração Própria (2023).

Figura 8 - Área de varredura e quadrículas de mapeamento



Fonte: Elaboração Própria (2023).

Após varredura foi percebida uma maior presença das feições erosivas na zona de interflúvio das bacias do Rio Ibicuí e Bacia do Rio Butuí-piratinim-icamaquã. Subsidiando assim a delimitação definitiva da área de estudo deste trabalho, conforme demonstrado no item 3.2.1.

As feições erosivas foram vetorizadas a partir da linha de cabeceira, utilizando critérios como sombreamento intenso, que indica maior profundidade, alargamento e exposição do solo. Foram excluídas do mapeamento as feições estáveis e com vegetação densa em seu interior, que não puderam ser identificadas em imagens históricas, devido ao alto grau de incerteza envolvido na identificação visual, além de sulcos em estágio inicial.

Em seguida, o processamento destes dados foi realizado em ambiente de *software* de Sistema de Informação Geográfica (SIG), no QGIS 3.26.3, onde foram feitas análises de ocorrência espacial das feições erosivas, por meio de observação estatística, análise de

densidade por mapas de calor, análises geomorfométricas da declividade, orientação de vertentes, curvatura vertical e curvatura horizontal.

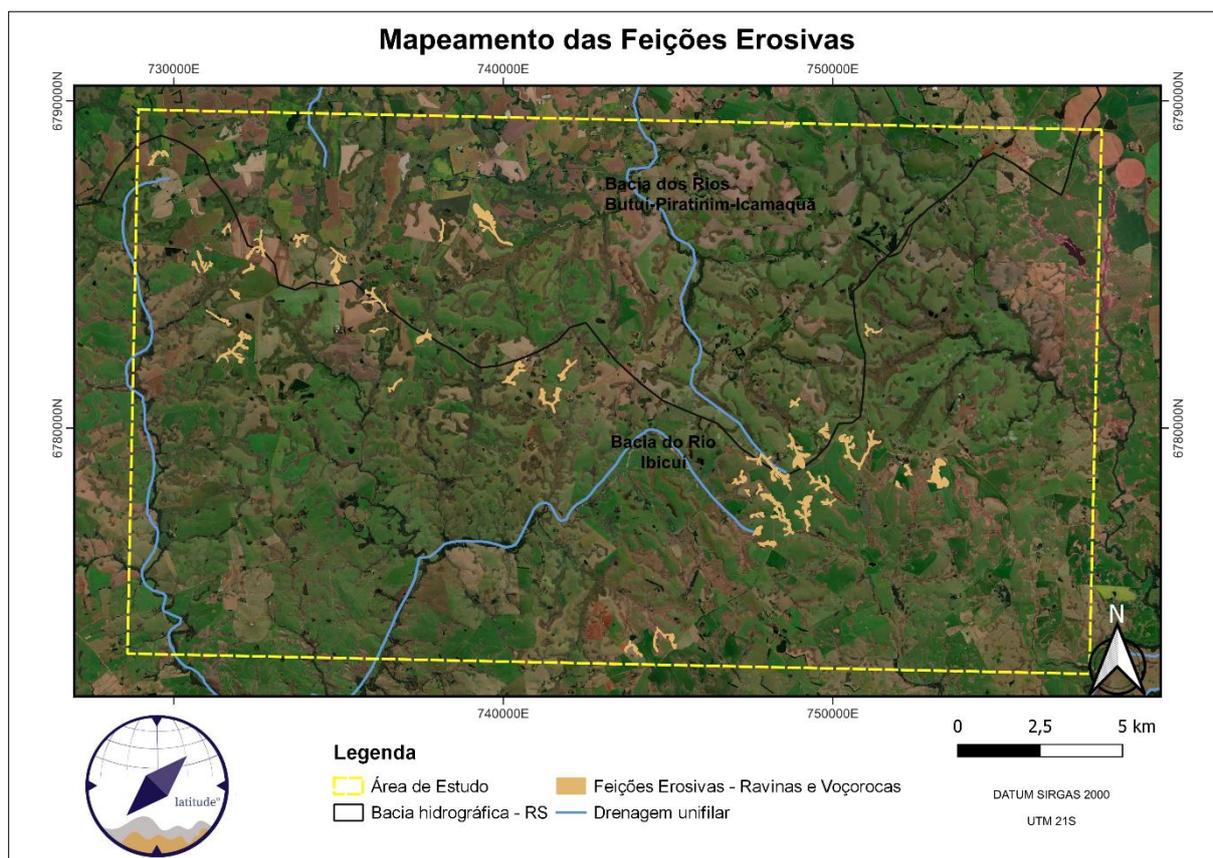
O *Software* QGIS 3.26.3 foi utilizado para visualização, tratamento e produção cartográfica, síntese das análises e melhor apresentação dos dados. Os mapas foram elaborados em um sistema de projeção Universal Transversa de Mercator UTM fuso 21 Sul, datum SIRGAS 2000 (Apêndice A).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 DISTRIBUIÇÃO DAS FEIÇÕES EROSIVAS

Ao examinarmos o resultado da vetorização, podemos ver no mapa apresentado na Figura 9, que há um total de 44 feições erosivas na área de estudo. A maioria dessas feições está concentrada em uma faixa de 2,5 km ao longo do divisor de águas, o que é condizente com a natureza do substrato da Formação Tupanciretã, similarmemente presente em regiões de topo de relevo, nas áreas adjacentes mapeadas. A feição erosiva mais distante da linha de divisor de águas está localizada a cerca de 7 km e a ocorrência das feições dá-se em ambas as bacias hidrográficas na área de estudo (Butuí-Piratinim-Icamaquã e Ibicuí).

Figura 9 - Mapeamento das Feições Erosivas



Fonte: Elaboração Própria (2023).

O detalhamento apresentado (Figura 10), além de expor o que foi visualizado na etapa de vetorização, também mostra algumas situações de maior adensamento das feições, geralmente separadas pelo divisor de águas, assim é possível observar sua dinâmica de erosão, resultando, inclusive, na alteração dos traçados de estradas.

Figura 10 - Exemplos de feições vetorizadas



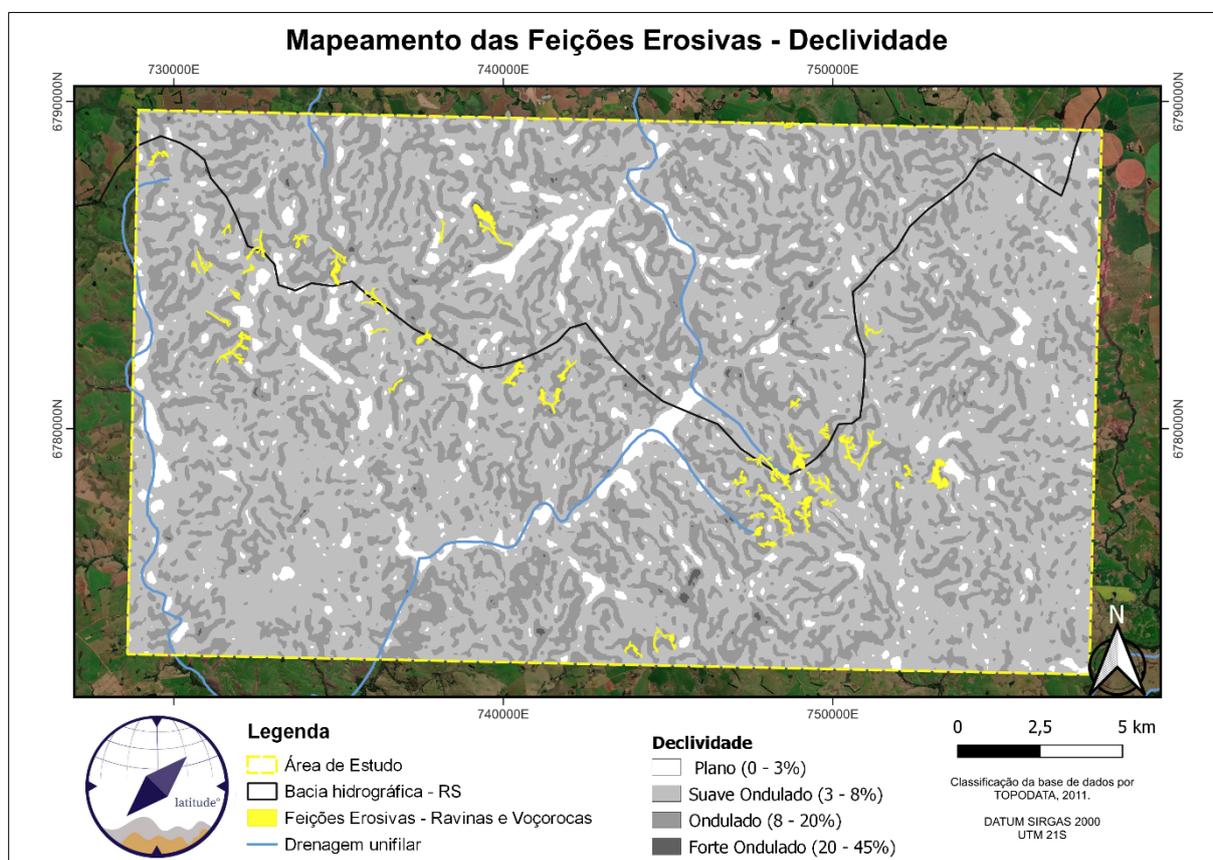
Fonte: Elaboração Própria (2023).

Devido a forma de observação dos dados utilizados na pesquisa, não é possível afirmar com precisão algumas características distintivas entre ravinas e voçorocas. No entanto, a observação geral das formas das feições, considerando-as como voçorocas, mostrou que elas apresentam uma seção transversal em forma de U, indicando que o solo e subsolo possuem alta erodibilidade, profundidade superior a 5 metros e em sua maioria integradas ao escoamento superficial e subsuperficial. Além disso, as feições apresentam uma forma ramificada e bifurcada (VIEIRA, 2008). Para uma análise mais precisa, sugere-se a realização de observações e visitas de campo em trabalhos futuros.

4.2 CARACTERIZAÇÃO GEOMORFOMÉTRICA

A sobreposição entre as feições mapeadas e as variáveis geomorfométricas gerou resultados que contribuem para a compreensão das características geomorfométricas das feições e de seu contexto. Ao analisar a declividade na área de estudo (Figura 11), pode-se observar que a região é predominantemente suave ondulada a ondulada, com poucas áreas mais planas associadas, geralmente, a proximidade de rios. As feições erosivas estão presentes em áreas com declividade suave ondulada e ondulada.

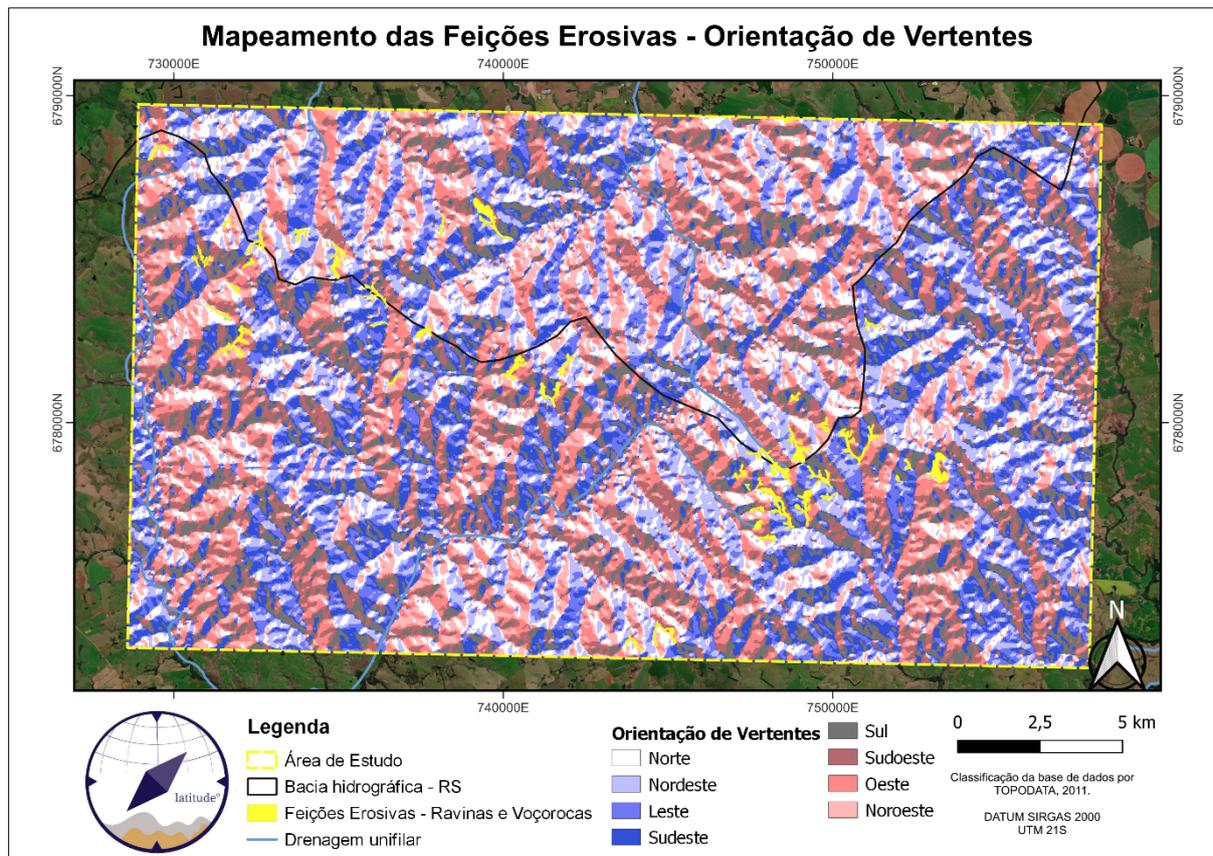
Figura 11 - Mapeamento das Feições Erosivas - Declividade



Fonte: Elaboração Própria (2023). Adaptado de TOPODATA (2011).

Ao analisarmos a orientação de vertentes (Figura 12) de forma visual, não é possível identificar um padrão claro, pois as erosões ocorrem em diferentes direções de vertentes. No entanto, levando em consideração que a área de estudo é dividida por duas bacias criando uma porção norte e uma porção sul, é possível observar uma dinâmica das feições acompanhando a orientação geral das vertentes das bacias.

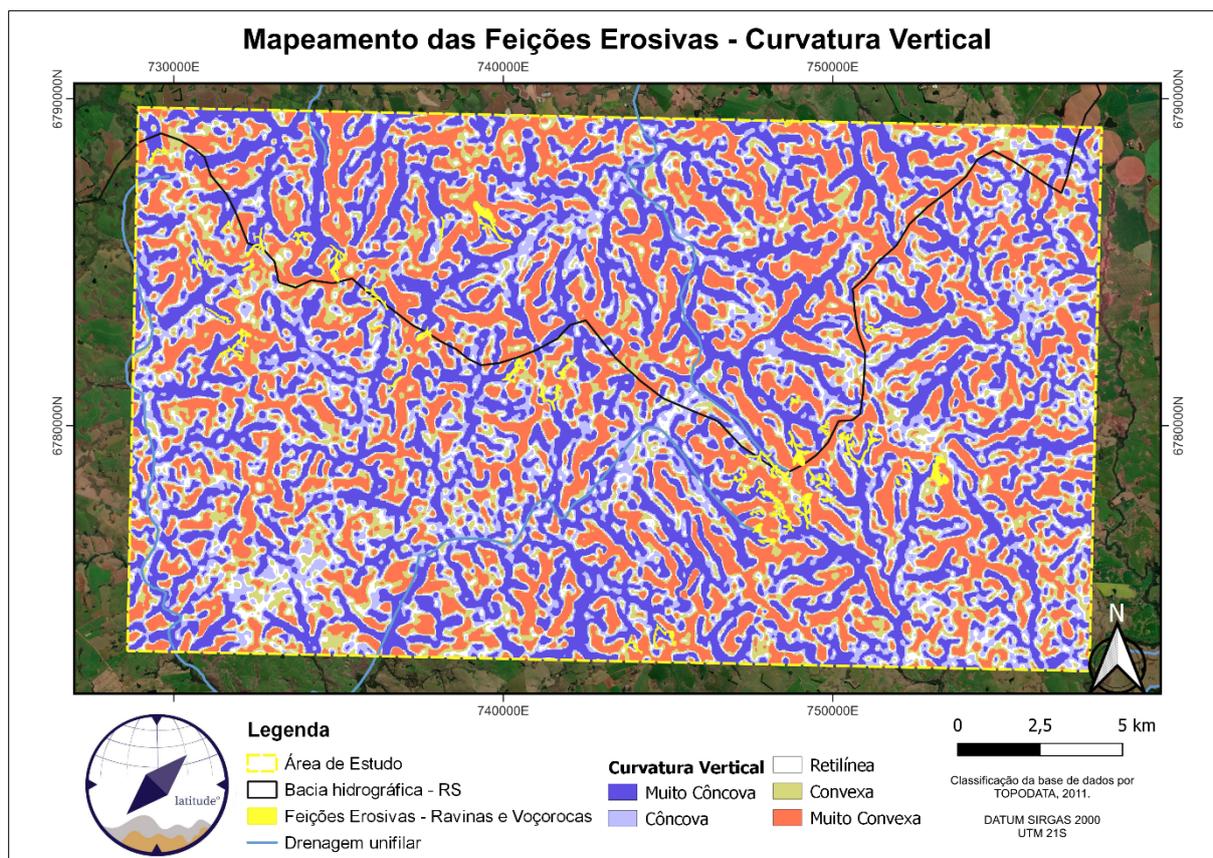
Figura 12 - Mapeamento das Feições Erosivas – Orientações de Vertentes



Fonte: Elaboração Própria (2023). Adaptado de TOPODATA (2011).

Já para a caracterização das feições na variável de curvatura vertical há presença de erosões nas encostas côncavas (Figura 13). Isso sugere que exista uma possível relação entre o escoamento superficial e o processo de erosão, o que pode formar uma cadeia de retroalimentação.

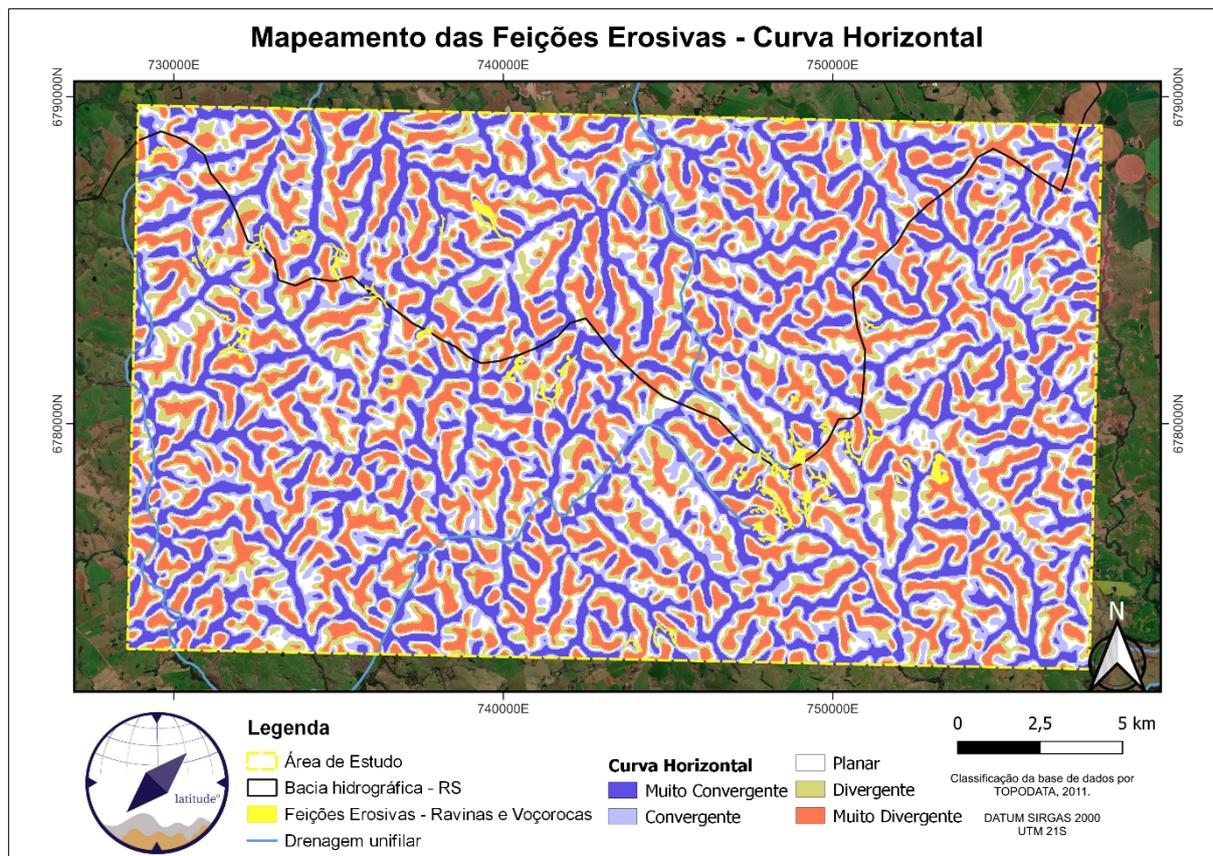
Figura 13 - Mapeamento das Feições Erosivas – Curvatura Vertical



Fonte: Elaboração Própria (2023). Adaptado de TOPODATA (2011).

A presença de erosões pode ser observada visualmente em vertentes convergentes (Figura 14), o que está em consonância com a hipótese de que a concentração do fluxo de água superficial é uma das principais causas da erosão.

Figura 14 - Mapeamento das Feições Erosivas – Curvatura Horizontal



Fonte: Elaboração Própria (2023). Adaptado de TOPODATA (2011).

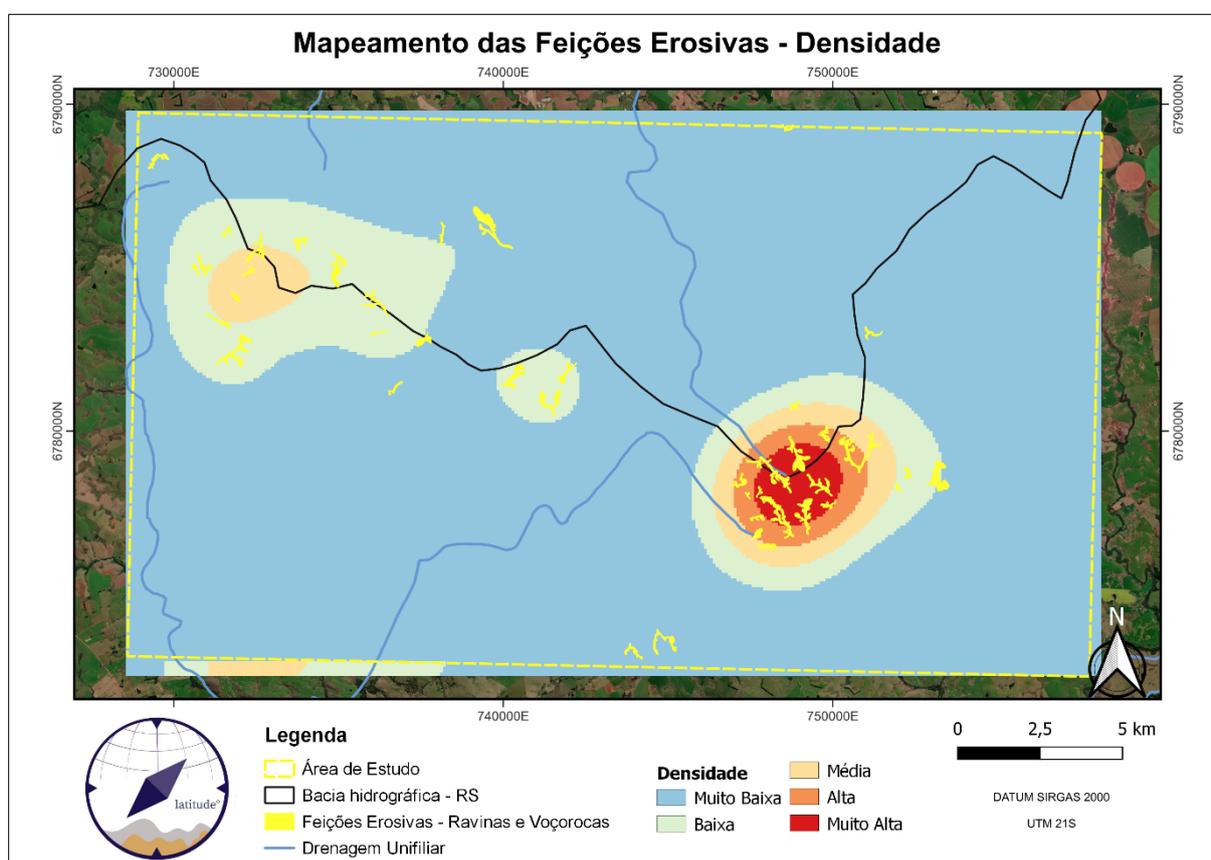
Assim apresentou-se a caracterização geomorfométrica da área de estudo sintetizada nos produtos cartográficos. Com a possibilidade de expressar a forma do terreno onde as feições estão presentes, principalmente nas variáveis de curvatura, vertical e horizontal, que as feições estão em classes que ressaltam a própria gênese dessas feições.

4.3 ANÁLISE ESPACIAL INTEGRADA

Uma opção para avaliar os padrões geográficos de densidade é o uso do Mapa de Kernel. Esse mapa utiliza a técnica de interpolação para exibir a intensidade de um fenômeno em diferentes pontos de uma região de estudo. Dessa forma, é possível obter uma visão abrangente da intensidade do processo em todas as áreas do mapa (SOUZA *et al.*, 2013). Pode-se observar que o estimador de densidade *Kernel* analisou a densidade de pontos, detectando e

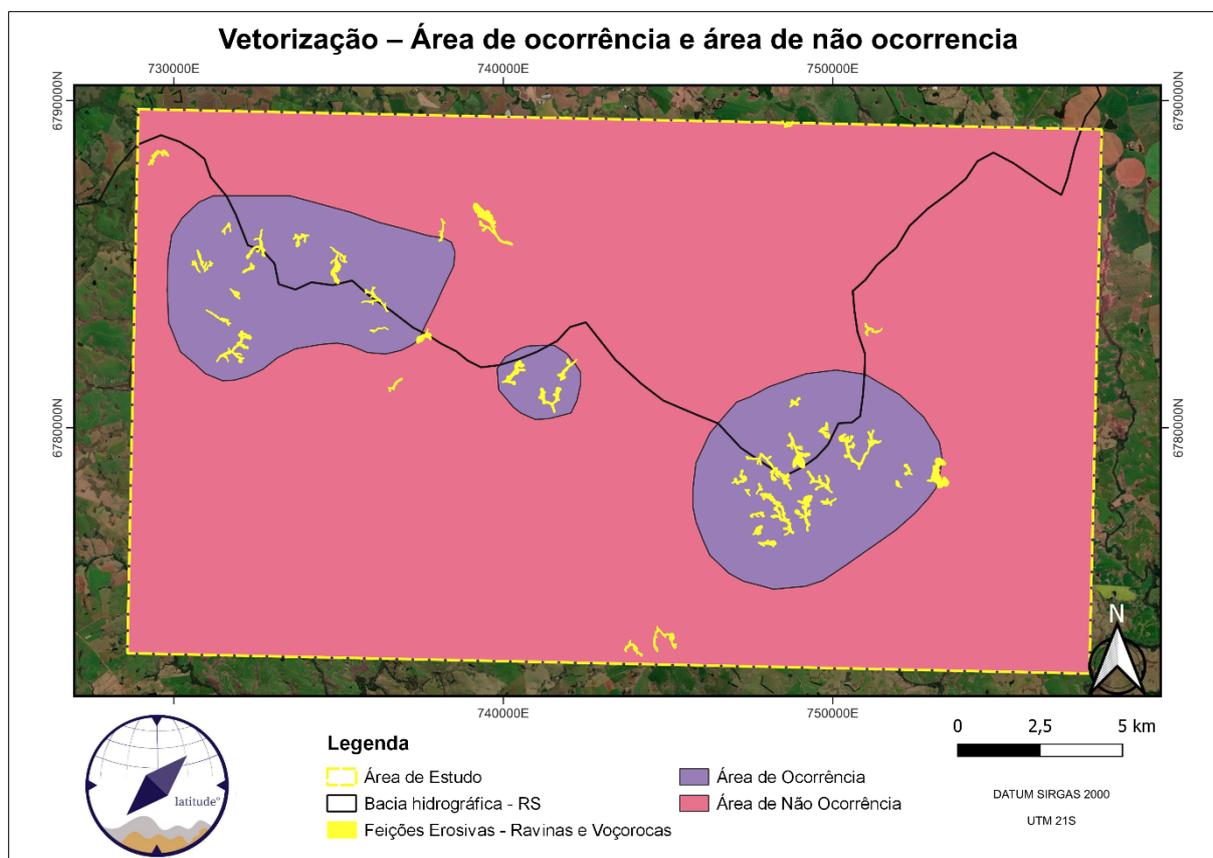
representando as áreas com maior concentração de feições erosivas na região de estudo (Figura 15). Esse método permitiu a interpolação, resultando em um mapa de densidade que destaca as áreas mais concentradas de erosão. E a partir dela foi definido visualmente o que chamamos de área de ocorrência e área de não ocorrência de feições erosivas (Figura 16). Esses dois polígonos serviram de máscara para recortar as imagens *raster* dos produtos geomorfométricos para análise posterior. Estes produtos, além de confirmar a maior densidade de feições erosivas junto aos divisores de água, também revelam a maior ocorrência em três áreas específicas do recorte espacial (i.e., sudeste, centro e noroeste), com destaque maior para a porção sudeste.

Figura 15 - Mapeamento das feições erosivas - Densidade



Fonte: Elaboração Própria (2023).

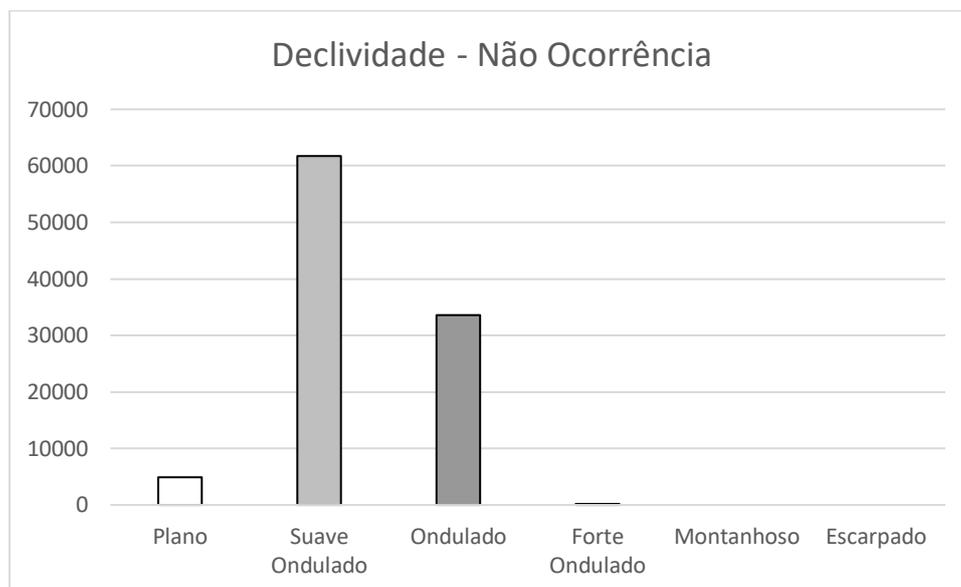
Figura 16 - Vetorização – Área de ocorrência e área de não ocorrência. Polígono em roxo (área de ocorrência de feições erosivas), polígono em magenta (área de não ocorrência de feições erosivas).



Fonte: Elaboração Própria (2023).

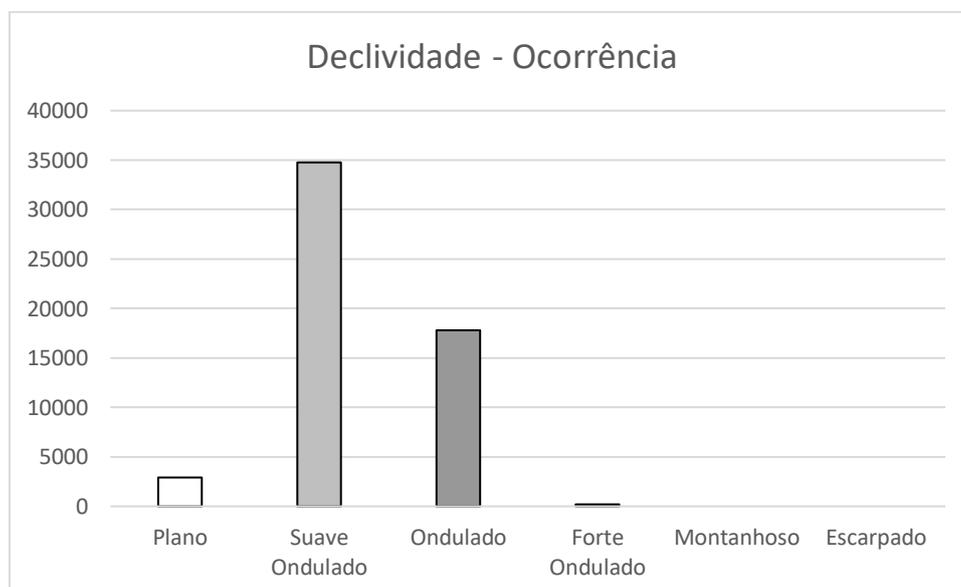
A partir dos recortes de cada variável geomorfométrica no *software* QGIS, foi realizada uma análise de frequência dos pixels em cada classe qualitativa, separando as áreas de ocorrência e não ocorrência para fins de comparação. O gráfico apresenta as classes do mapeamento geomorfométrico no eixo X e o número de pixels no eixo Y. A começar pela declividade (Figura 17 e Figura 18), que apresentam comportamento muito parecido em ambas as poligonais (i.e., área de ocorrência x não ocorrência).

Figura 17 - Área de não ocorrência – Declividade



Fonte: Elaboração própria a partir de dados do TOPODATA (2011).

Figura 18 - Área de ocorrência – Declividade

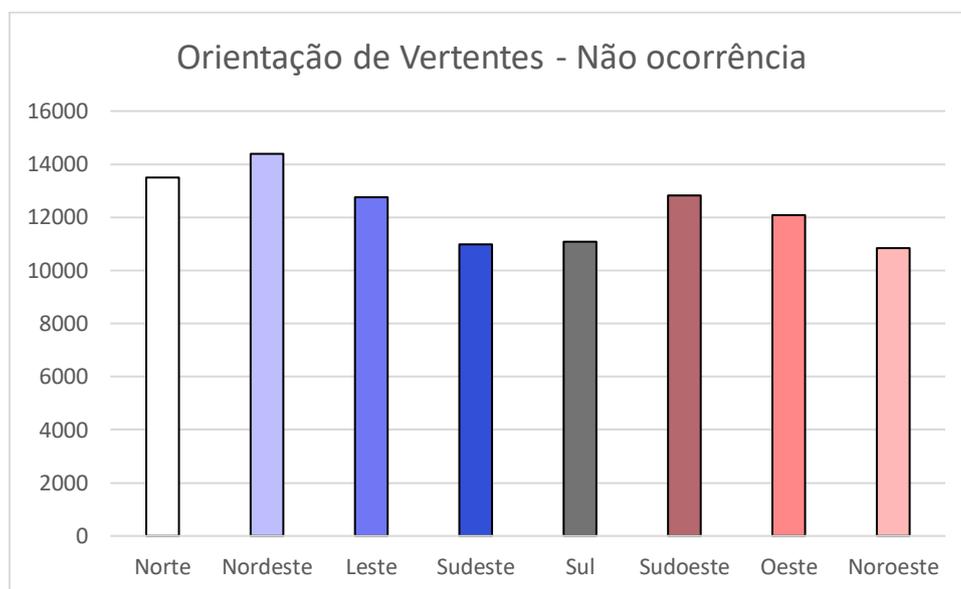


Fonte: Elaboração própria a partir de dados do TOPODATA (2011).

Ao examinar a orientação das vertentes por meio de análise visual no mapa, não foi possível identificar um padrão claro na distribuição de erosões, visto que elas ocorrem em várias categorias. No entanto, quando a análise foi aprofundada na frequência de pixels dos recortes de ocorrência e não ocorrência, foram observadas diferenças mais sutis entre os padrões (Figura 19 e Figura 20). Isso indicou que as áreas onde ocorrem erosões têm uma maior proporção de

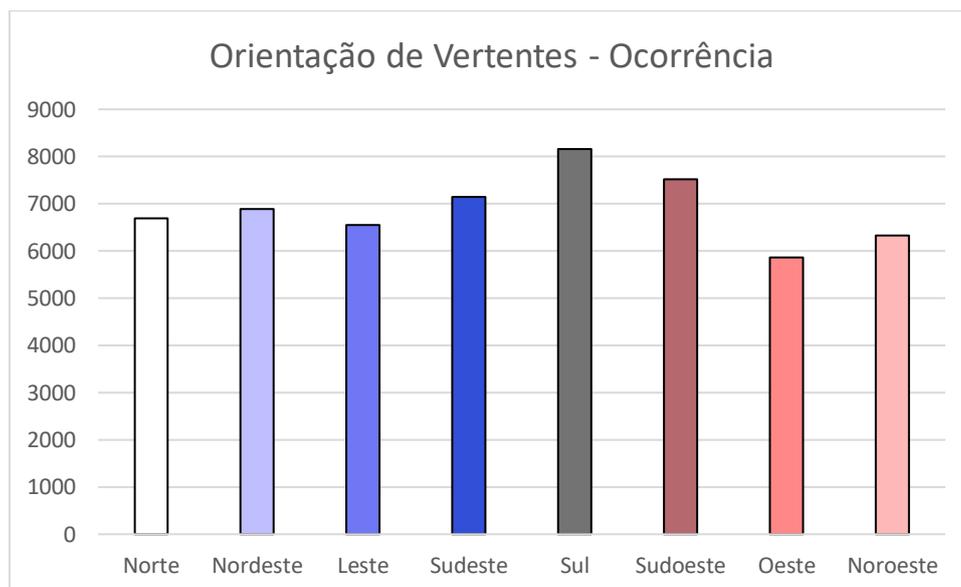
vertentes orientadas para o sul e sudoeste, enquanto as áreas onde não ocorrem apresentam uma predominância de vertentes orientadas para o norte e nordeste.

Figura 19 - Área de não ocorrência – Orientação de vertentes



Fonte: Elaboração própria a partir de dados do TOPODATA (2011).

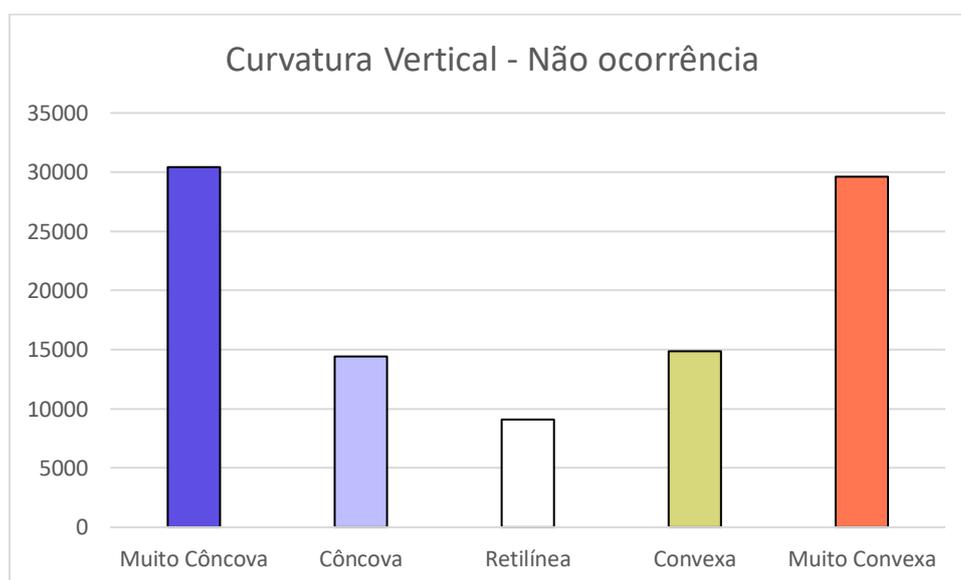
Figura 20 - Área de ocorrência – Orientação de Vertentes



Fonte: Elaboração própria a partir de dados do TOPODATA (2011).

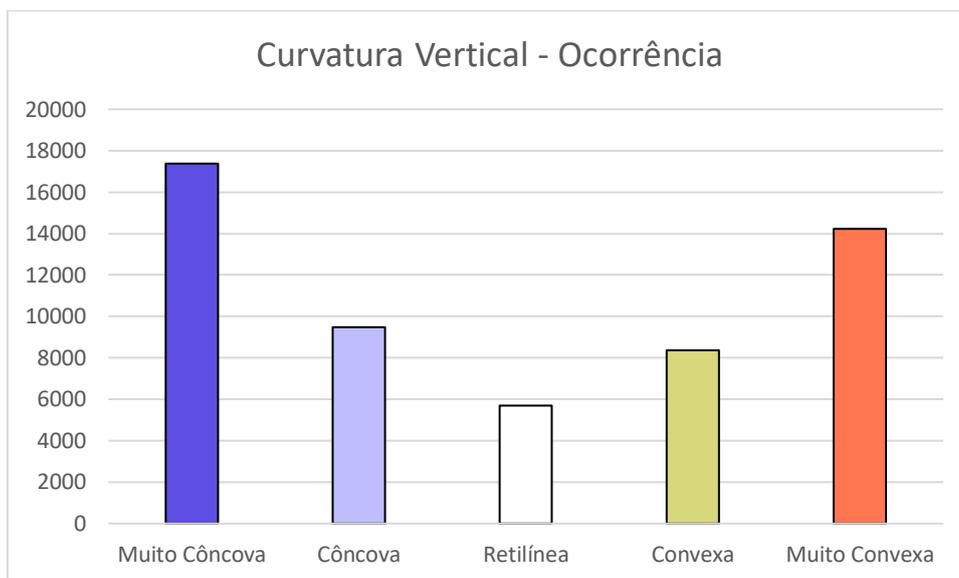
As representações gráficas da curvatura vertical (Figura 21 e Figura 22) são bastante similares, com uma ligeira intensificação na categoria muito côncava na área de ocorrência, o que é esperado. Em relação à análise da curvatura horizontal (Figura 23 e Figura 24), as proporções também são muito parecidas, sem nenhum ponto de destaque. Assim, a expectativa formada de que as curvaturas vertical e horizontal revelariam características distintas nas áreas de ocorrência e não ocorrência, quando da sobreposição imediata das feições, não se concretiza quando utilizadas as duas compartimentações generalizadas. Portanto, são condições determinantes do ponto de vista local, mas não regional.

Figura 21 - Área de não ocorrência – Curvatura vertical



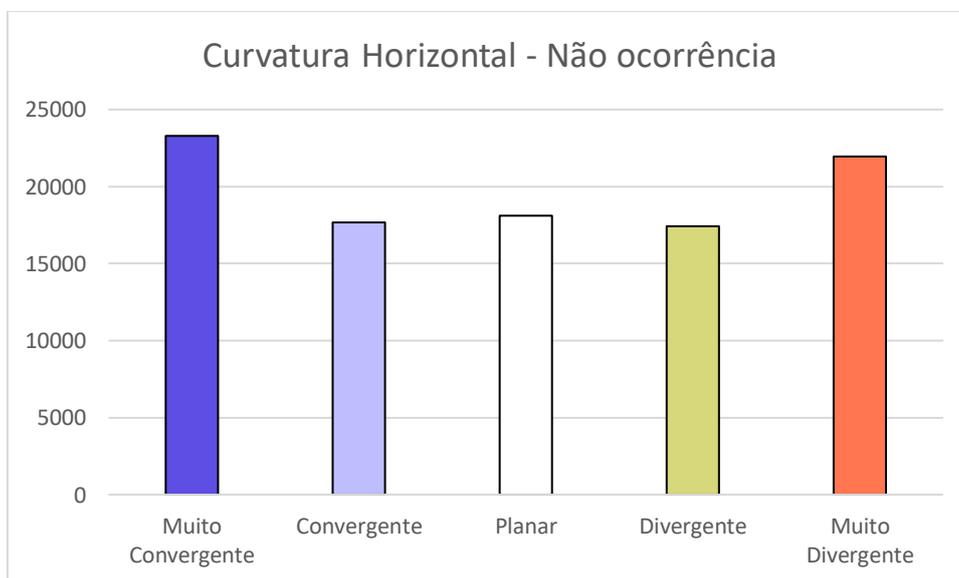
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do TOPODATA (2011).

Figura 22 - Área de ocorrência – Curvatura vertical



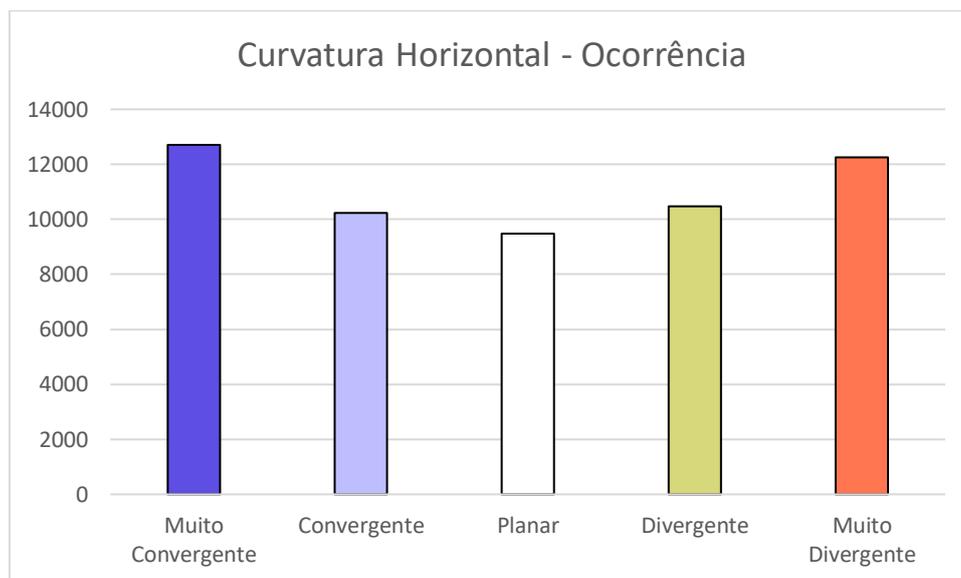
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do TOPODATA (2011).

Figura 23 - Área de não ocorrência – Curvatura horizontal



Fonte: Elaboração própria a partir de dados do TOPODATA (2011).

Figura 24 - Área de ocorrência – Curvatura horizontal



Fonte: Elaboração própria a partir de dados do TOPODATA (2011).

Ao avaliar o panorama geral da separação entre a área onde as feições erosivas ocorrem e a área onde não ocorrem, nenhuma das variáveis apresenta diferenças significativas. Conseqüentemente, da forma como foram processadas e analisadas, essas variáveis não contribuem para distinção das características da relação entre as formas generalizadas das vertentes e as feições erosivas na área de estudo. Em suma, as variáveis avaliadas neste estudo são importantes, porém, é recomendável explorar outras variáveis geomorfométricas em futuras pesquisas, além de explorar diferentes resoluções e escalas disponíveis.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa alcançou seu objetivo geral de espacializar e analisar as condicionantes espaciais, sobretudo geomorfométricas, de ravinas e voçorocas associadas às Formações Tupanciretã e Serra Geral no Planalto Meridional do Rio Grande do Sul, sul do Brasil, a partir de sensoriamento remoto e geoprocessamento.

Os produtos cartográficos apresentaram uma síntese da caracterização geomorfométrica da área de estudo. Essa visualização permitiu que se expresse a forma do terreno onde as feições estão presentes, principalmente nas variáveis de curvatura vertical e horizontal. Além disso, as feições foram classificadas de forma a destacar a própria gênese dessas características.

Não foi encontrada nenhuma discrepância significativa entre as variáveis geomorfométricas na separação de área de ocorrência e área de não ocorrência das feições erosivas. Logo, essas variáveis não ajudam a esclarecer, do ponto de vista da discriminação de padrões espaciais, o fenômeno das feições erosivas na área estudada, pelo menos na forma em que foram analisadas. Em resumo, embora as variáveis estudadas tenham valor de observação local, sugere-se investigar outras variáveis em futuras pesquisas, além de outras bases de dados, resoluções e escalas.

Para fazer uma distinção precisa entre ravinas e voçorocas, ainda são necessárias investigações de campo adicionais. Ademais, a pesquisa sublinhou a relevância de aprofundar e examinar a ocorrência da Formação Tupanciretã na área em questão e todas as possibilidades de aprofundamento investigativo que se descortinam nessa condição.

Adicionalmente, uma avaliação futura pode ser direcionada ao uso do solo na região, considerando a extensa presença de agricultura intensiva. Nesse sentido, o mapeamento das feições erosivas é de suma importância para a gestão adequada do uso dessas áreas e a prevenção de possíveis riscos de erosão. Logo, torna-se indispensável a realização de mais pesquisas sobre a Formação Tupanciretã, com o objetivo de compreender sua influência na atual dinâmica da paisagem.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADES FILHO, C. O.; RIBEIRO, B. M. G.; ALVES, F. C.; CREMON, E. H.; SOARES, R. D. **Potencial de discriminação geomorfométrica da Formação Tupanciretã na Bacia do Paraná, sul do Brasil**. In: XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2017, Santos. Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Santos: Galoá Proceedings, 2017. v. 18. p. 3247-3254.

BACELLAR, L.A.P. **Processos de formação de voçorocas e medidas preventivas e corretivas**. 2006. Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS – CPRM. **Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul**: Escala 1:750.000. 2006. Disponível em: www.cprm.gov.br/publique/media/geologia_basica/.../mapa_rio_grande_sul.pdf.

COULON, F. K.; GAMERMANN, N.; LAQUINTINIE FORMOSO, L. M. **Considerações sobre a gênese da formação Tupanciretã**. Porto Alegre: Instituto de Geociências UFRGS, 1973.

CREPANI, E. **Princípios básicos de Sensoriamento Remoto**. São José dos Campos: INPE, 1983.

CREPANI, E. *et al.* **Curso de sensoriamento remoto aplicado ao zoneamento Ecológico-Econômico**. São José dos Campos: INPE, 1996. 18p.

DNPM. 1989. **Mapa geológico do Estado do Rio Grande do Sul**. Departamento Nacional de Pesquisas Minerais. Escala 1:1.000.000. Brasília

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

MARTÍNEZ-CASASNOVAS, J. A. **A spatial information technology approach for the mapping and quantification of gully erosion**. CATENA, v. 50, n. 2–4, p. 293–308, jan. 2003.

MARIN, H. D. **Análise Morfoestrutural como ferramenta para a identificação da influência de processos tectônicos associados com a Formação Tupanciretã- RS**. Monografia (Conclusão de Curso), Curso de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 64 p, 2022.

MENDONÇA, R. A. M. de.; BERNASCONI, P.; SANTOS, R. dos; SCARANELLO, M. **Uso das Geotecnologias para Gestão Ambiental: Experiências na Amazônia Meridional.** Cuiabá: ICV- Instituto Centro de Vida, 2011.

MENEGOTTO, E.; SARTORI, P. L.; MACIEL FILHO, C. L. **Nova sequência sedimentar sobre a Serra Geral no Rio Grande do Sul.** Santa Maria: Instituto de Solos e Culturas da Universidade Federal de Santa Maria, 1968.

MENEGOTTO, E.; SARTORI, P. L. P.; MACIEL FILHO, C.L. Nova sequência sedimentar sobre a Serra Geral no Rio Grande do Sul. **Publicação Especial do Instituto de Solos e Culturas**, Seção Geologia e Mineralogia, Santa Maria, v. 1, p. 1-19, ago. 1968.

MILANI, E. J.; MELO, J. H. G.; SOUZA, P. A.; FERNANDES, L. A.; FRANÇA, A. B. **Bacia do Paraná. Boletim de Geociências da Petrobrás**, v. 15, n. 2, p. 265-287, 2007.

OLIVEIRA, E. C. **Mapeamento de uso e cobertura da terra utilizando a plataforma Google Earth Engine.** 2021.

PEREIRA, Juliana Sousa; RODRIGUES, Silvio Carlos. **EROSÃO POR VOÇOROCAS: ESTADO DA ARTE.** In: REVISÕES de Literatura da Geomorfologia Brasileira. [S. l.: s. n.], 2022. cap. Capítulo 18, p. 503-529. Disponível em: <http://lsie.unb.br/ugb/livros>. Acesso em: 19 jan. 2023.

REIS, Mateus da Silva; ANDRADES FILHO, Clódís de Oliveira ; ROSSETTI, Dilce de Fátima. **Análise morfoestrutural da Formação Tupanciretã (cenozoico), Planalto Meridional do Rio Grande do Sul, Brasil.** PESQUISAS EM GEOCIÊNCIAS (ONLINE), v. 49, p. 1-18, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.22456/1807-9806.108111>

REIS, Mateus da Silva. **CARACTERIZAÇÃO MORFOESTRUTURAL DOS DEPÓSITOS SEDIMENTARES DA FORMAÇÃO TUPANCIRETÃ, NO PLANALTO MERIDIONAL DO RIO GRANDE DO SUL, BRASIL.** 2020. Dissertação (Mestrado em Ambiente e Sustentabilidade) - Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, [S. l.], 2020.

RICCOMINI, C.; SANT'ANNA, L. G.; FAMBRINI, G. L. **The Early Cretaceous Jacuí Group, a newly discovered volcanoclastic-epiclastic accumulation at the top of the Parana Basin, southern Brazil.** *Cretaceous Research*, v. 59, p. 111- 128, 2016.

RUPPEL, Kelvyn Mikael Vaccari *et al.* Evolução Morfotectônica e Megageomorfológica das Formações Pós Gondwânicas Santa Tecla e Tupanciretã no Rio Grande do Sul. **Revista**

Brasileira de Geomorfologia, [s. l.], v. 24, ed. 1, 16 jan. 2023. DOI <https://doi.org/10.20502/rbg.v24i1.2181>. Disponível em: <https://rbgeomorfologia.org.br/rbg/article/view/2181>. Acesso em: 18 mar. 2023.

SILVA, A. D. B. **Sistema de Informações Geo-referenciadas: conceitos e fundamentos**. Campinas: UNICAMP, 2003. 240 p.

SOUZA, N. P *et al.* A. **Aplicação do estimador de densidade kernel em unidades de conservação na bacia do rio São Francisco para análise de focos de desmatamento e focos de calor**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 16. (SBSR), 2013, Foz do Iguaçu. Anais... São José dos Campos: INPE, 2013. p. 4958-4965. Internet. ISBN 978-85-17-00066-9 (Internet). Disponível em: <http://marte2.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte2/2013/05.29.00.28.09/doc/thisInformationItemHomePage.html>. Acesso em: 19 mar. 2023.

SUERTEGARAY, Dirce *et al.* **Terra: Feições Ilustradas**. [S. l.]: UFRGS, 2008.

TEDESCO, A.; ANTUNES, A. F. B.; OLIANI, L. O. Detecção de formação erosiva (voçoroca) por meio de classificação hierárquica e por árvore de decisão. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 20, n. 4, p. 1005–1026, dez. 2014.

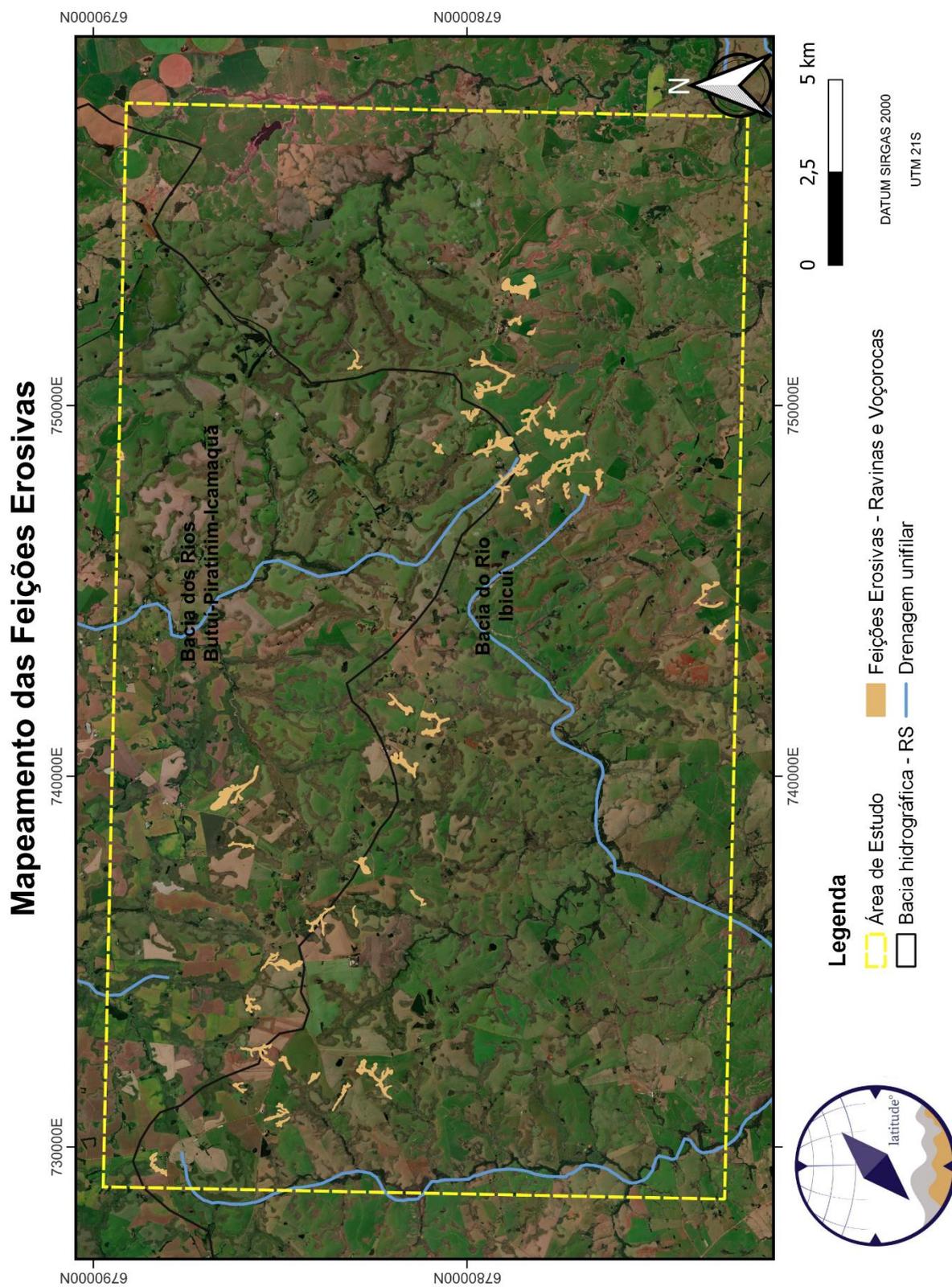
VALCAREGGI, Antonele Crestani; ANDRADES FILHO, Clódis de Oliveira. **Ocorrência das Formações Serra Geral e Tupanciretã na porção meridional da Bacia do Paraná, sul do Brasil**. Salão de Iniciação Científica (33. : 2021 set. 27 - out. 1 : UFRGS, Porto Alegre, RS).

VALERIANO, Márcio de Morisson. **TOPODATA: GUIA PARA UTILIZAÇÃO DE DADOS GEOMORFOLÓGICOS LOCAIS**. [S. l.: s. n.], 2008. Disponível em: <http://mtc-m16c.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2008/07.11.19.24/doc/thisInformationItemHomePage.html> Acesso em: 23 mar. 2023.

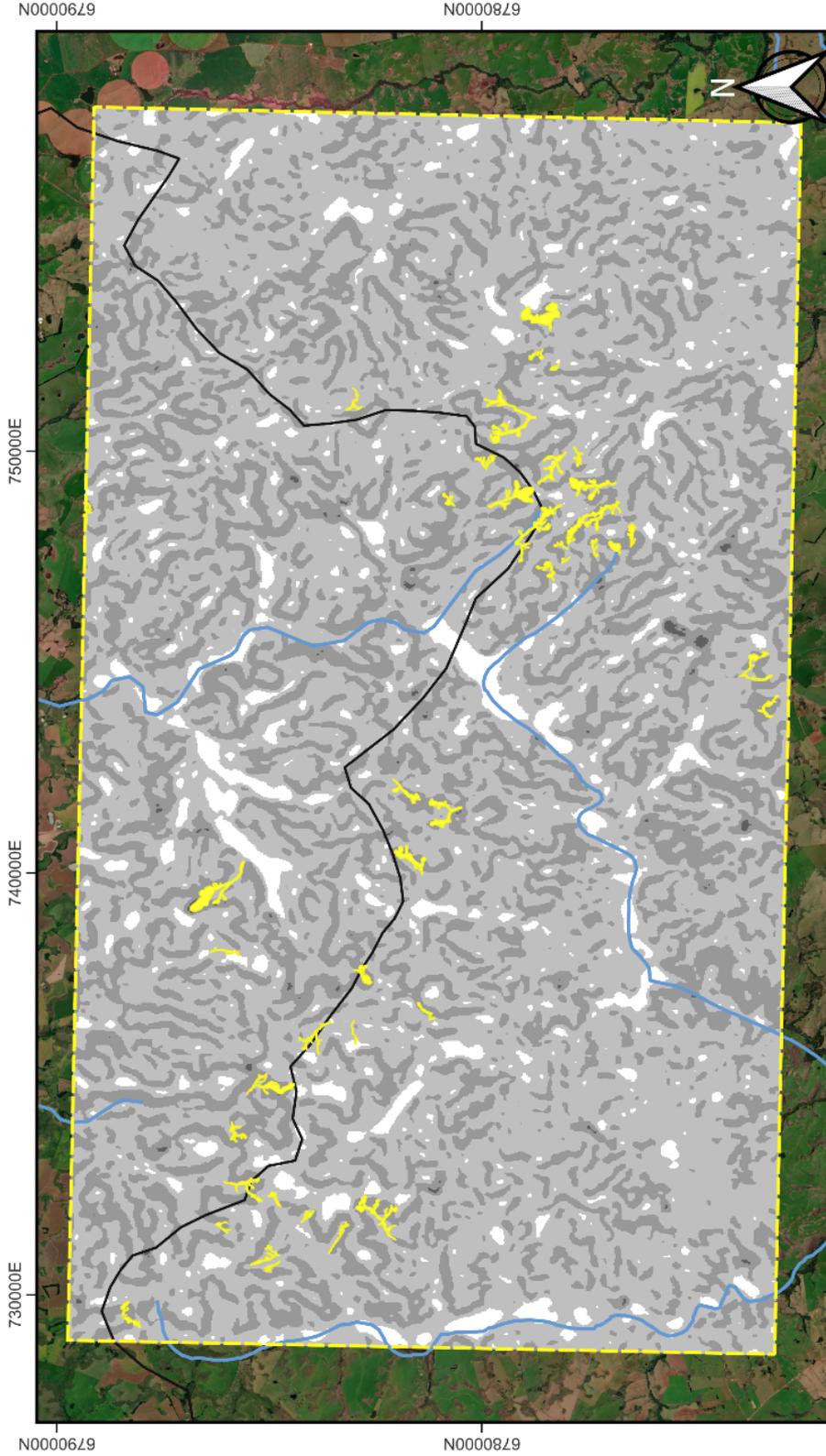
VALERIANO, Márcio de Morisson; ALBUQUERQUE, Paulo Cesar Gurgel de. **TOPODATA: PROCESSAMENTO DOS DADOS SRTM**. [S. l.: s. n.], 2010. Disponível em: <http://mtc-m16d.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m19@80/2010/05.10.18.42/doc/thisInformationItemHomePage.html>. Acesso em: 23 mar. 2023.

VIEIRA, A. F. G. **Desenvolvimento e distribuição de voçorocas em Manaus (AM): principais fatores controladores e impactos urbano-ambientais**. 2008, 223 f. Tese (Doutorado em Geografia). Departamento de Geografia. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2008. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/91352>>. Acesso 19 de jan. 2023.

APÊNDICE A – CARTOGRAFIA SÍNTESE



Mapeamento das Feições Erosivas - Declividade



Legenda

-  Área de Estudo
-  Bacia hidrográfica - RS
-  Feições Erosivas - Ravinas e Voçorocas
-  Drenagem unifilar

Declividade

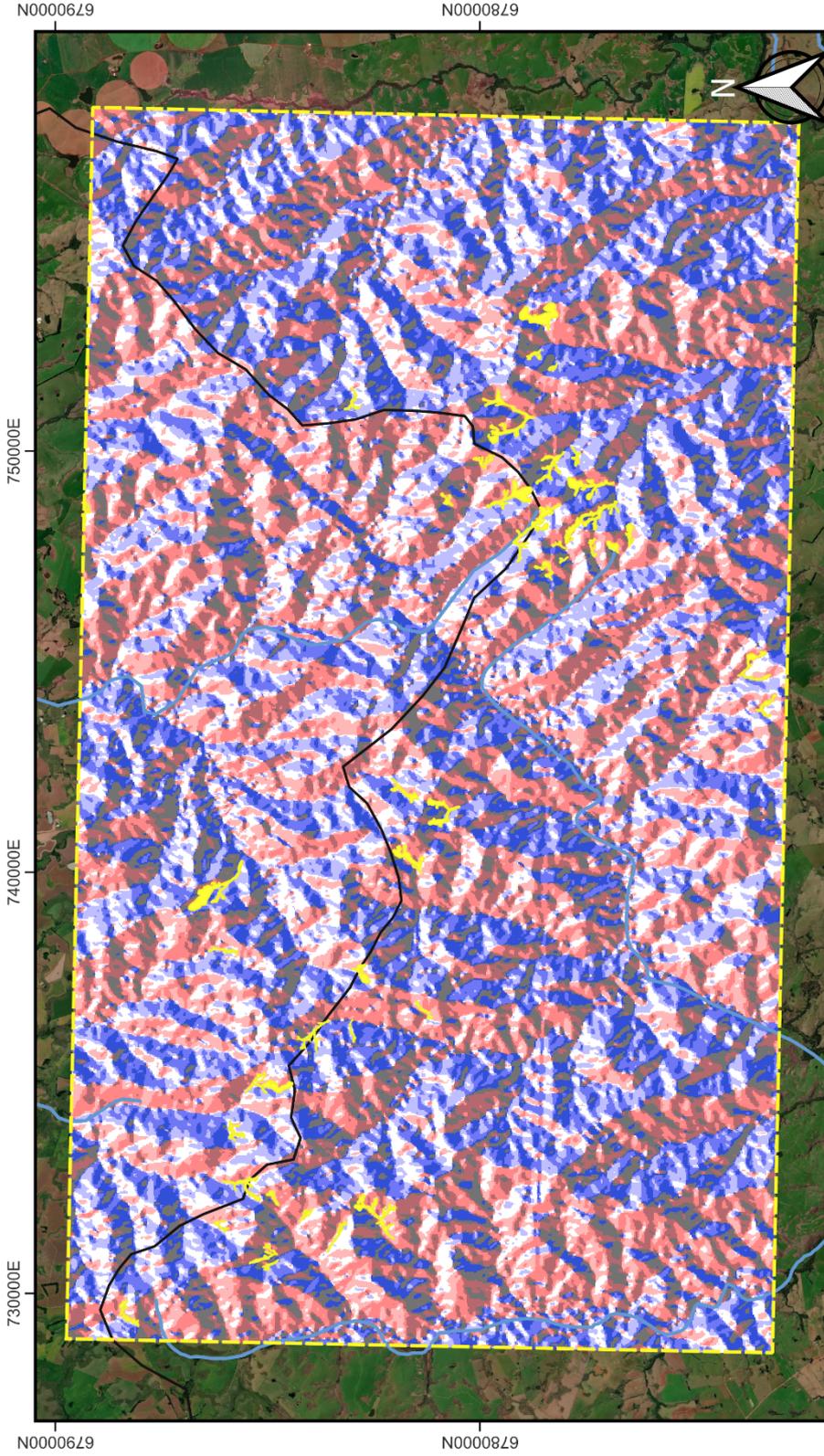
-  Plano (0 - 3%)
-  Suave Ondulado (3 - 8%)
-  Ondulado (8 - 20%)
-  Forte Ondulado (20 - 45%)



Classificação da base de dados por TOPODATA, 2011.

DATUM: SIRGAS 2000
UTM 21S

Mapeamento das Feições Erosivas - Orientação de Vertentes



Legenda

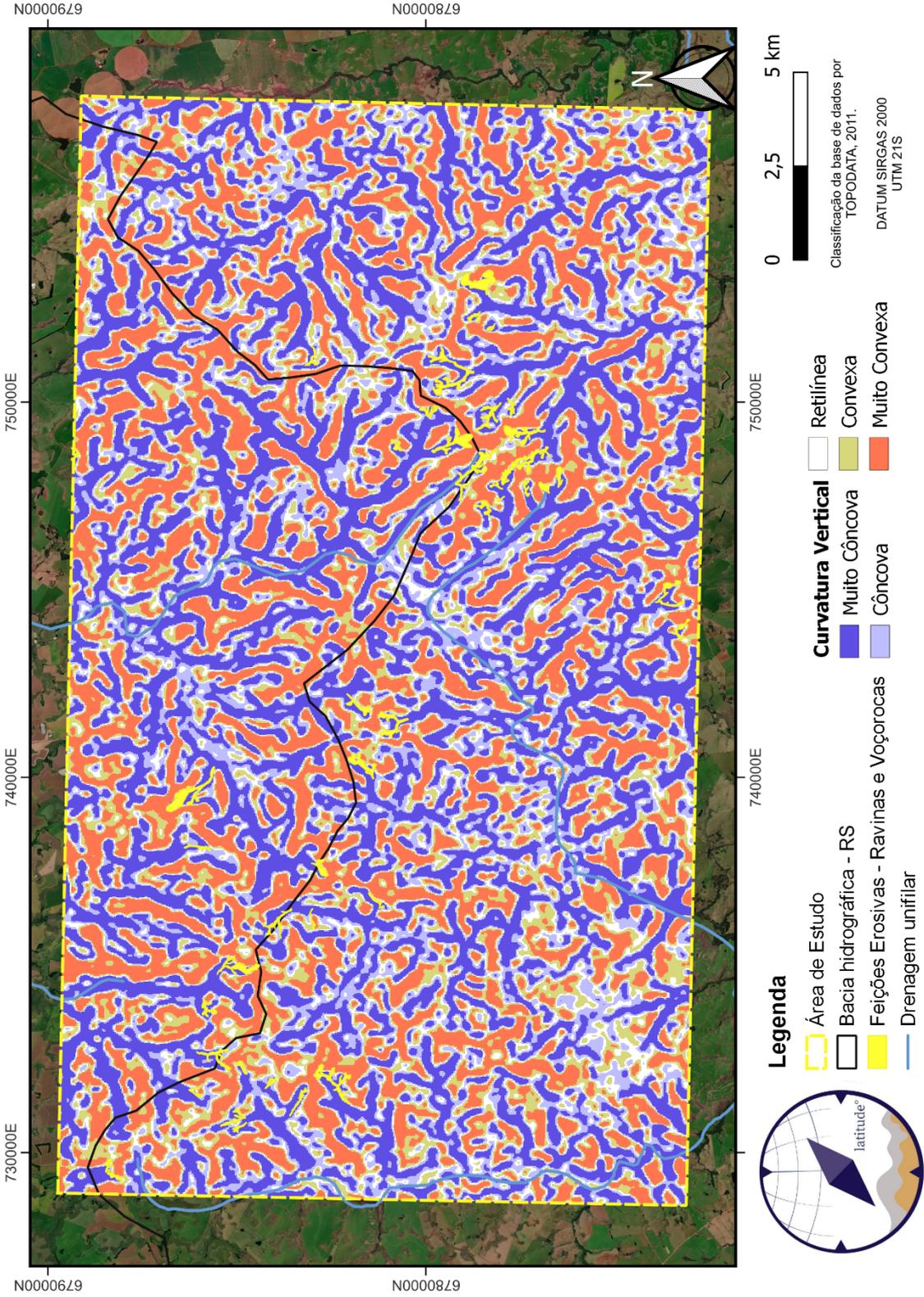
- Área de Estudo
- Bacia hidrográfica - RS
- Feições Erosivas - Ravinas e Voçorocas
- Drenagem unifilar

Orientação de Vertentes

- Norte
- Nordeste
- Leste
- Sudoeste
- Oeste
- Noroeste
- Sul

Classificação da base de dados por TOPODATA, 2011.
 DATUM SIRGAS 2000
 UTM 21S

Mapeamento das Feições Erosivas - Curvatura Vertical



Mapeamento das Feições Erosivas - Curva Horizontal

