

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL**  
**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA**

**LORENZO FOSSA SAMPAIO MEXIAS**

**MAPEAMENTO E ANÁLISE MORFOESTRUTURAL DA FORMAÇÃO**  
**TUPANCIRETÃ EM SANTIAGO - RS**

**Porto Alegre**  
**2024**

**LORENZO FOSSA SAMPAIO MEXIAS**

**MAPEAMENTO E ANÁLISE MORFOESTRUTURAL DA FORMAÇÃO  
TUPANCIRETÃ EM SANTIAGO - RS**

Trabalho de Conclusão do Curso de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Apresentado na forma de monografia junto à disciplina de Projeto Temático em Geologia III, como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

**Orientador:** Prof. Dr. Clódis de Oliveira  
Andrades Filho

**Coorientador:** Prof. Dr. Norberto Dani

**Porto Alegre  
2024**

### CIP - Catalogação na Publicação

Mexias, Lorenzo Fossa Sampaio  
Mapeamento e Análise Morfoestrutural da Formação  
Tupanciretã em Santiago-RS / Lorenzo Fossa Sampaio  
Mexias. -- 2024.  
79 f.  
Orientador: Clódís de Oliveira Andrades Filho.

Coorientador: Norberto Dani.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto  
de Geociências, Curso de Geologia, Porto Alegre,  
BR-RS, 2024.

1. Depósitos Sedimentares. 2. Sensoriamento Remoto.  
3. Lineamentos. 4. Bacia do Paraná. 5. Voçorocas. I.  
Andrades Filho, Clódís de Oliveira, orient. II. Dani,  
Norberto, coorient. III. Título.

**LORENZO FOSSA SAMPAIO MEXIAS**

**MAPEAMENTO E ANÁLISE MORFOESTRUTURAL DA FORMAÇÃO  
TUPANCIRETÃ EM SANTIAGO - RS**

A comissão examinadora, abaixo assinada, aprova o Trabalho de Conclusão de Curso apresentado na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte das exigências para a obtenção do título de Bacharel em Geologia.

Porto Alegre, 19 de janeiro de 2024

COMISSÃO EXAMINADORA:

---

Dr. Guilherme Borsa

---

Profa. Dra. Maria Luiza Rosa

---

Profa. Dra. Silvana Bressan Riffel

## AGRADECIMENTOS

São tantas pessoas as quais de alguma forma tiveram uma passagem, mesmo que breve, pela minha vida possibilitando me tornar quem eu sou e dessa forma contribuir indiretamente e/ou diretamente à realização deste trabalho.

Sinto-me no dever de agradecer primeiramente aos meus pais por todo o apoio dado desde meu nascimento. Agradeço ao Mexias por além de meu pai, também ser um amigo, um conselheiro intelectual sábio e rígido, que está sempre em busca do melhor para mim, afinal graças a ti tornei-me aquilo que me traz mais felicidade e orgulho: Ser torcedor do *Sport Club Internacional*. Agradeço a minha mãe em especial pelo amor, carinho, suporte e apoio as minhas decisões. Amo vocês.

Sou extremamente grato ao meu orientador Clódís de Oliveira, que em meados de 2021 me concedeu a oportunidade de auxiliar seu projeto de pesquisa através de uma bolsa IC e que, mais de dois anos depois, encerra-se este período, deixando como fruto este e outros trabalhos. A paciência e o jeito bem-humorado de lidar com minhas dúvidas é de fato uma virtude tua. Muito Obrigado.

Agradeço a Fabi e o Pietro pelos anos de companheirismo. Respectivamente, por ter ajudado a cuidar de mim e pelos tempos que passamos jogando videogame juntos. Também agradeço ao Argos, Fiona e Luigi.

Quero também agradecer aos parentes que se encontram distantes em Xangri-lá, Foz do Iguaçu e em Encruzilhada do Sul, sou muito grato pelo acolhimento que recebi quando fui passar meus momentos de lazer com vocês.

Agradeço as amigadas que fiz ao longo da infância e adolescência e que se mantiveram até o presente. O divertimento e a risibilidade sempre foi um motivo de querer manter vocês por perto<sup>(ata)</sup>.

Aos amigos e colegas que fiz ao longo da graduação em geologia. Agradeço ao Vini & Mel, Iasmin e Carol pelos cafés descontraídos nos intervalos, pelo auxílio durante esses anos de curso e pelas cômicas histórias que passamos nos trabalhos de campo. Em especial, agradeço a Mi por aturar minhas peculiaridades, cuidar de mim, me dar presentes inesperados e pelos momentos de felicidade ao teu lado nessa etapa. “Yo y mi amorcito contra el mundo”.

*“Give the audience a grin  
Enjoy it, it's your last chance anyhow”*

Eric Idle

## RESUMO

O Planalto Meridional do Rio Grande do Sul é dominado por exposições de rochas ígneo-extrusivas do Grupo Serra Geral e de depósitos sedimentares majoritariamente areníticos denominados Formação Tupanciretã na porção sul da Bacia do Paraná. Esta região carece de aperfeiçoamento do mapeamento geológico dos derrames magmáticos e, sobretudo, das coberturas sedimentares posteriores ao processo do vulcanismo Serra Geral. Em especial, as coberturas sedimentares da Formação Tupanciretã encontram-se submapeadas nesta região. Esta condição dificulta os avanços no entendimento da evolução geológica-geomorfológica pós-Serra Geral no sul do Brasil, sob os aspectos geocronológicos, estratigráficos, paleontológicos, morfoestruturais, morfotectônicos e geoambientais. Este trabalho objetivou realizar um mapeamento geológico básico o qual possui como função primordial registrar, comunicar e facilitar o entendimento do substrato da região mapeada e que, atualmente, é potencializado pelo auxílio das diversas ferramentas de sensoriamento remoto. A área de estudo se localiza a leste do município de Santiago-RS, onde se encontram voçorocas de grandes dimensões (i.e., aproximadamente 10 ha), e que, provavelmente, estão relacionadas à ocorrência espacial dos depósitos sedimentares da Formação Tupanciretã, porém que não constam no mapa geológico oficial do RS 1:750.000 e também não possuem registros na literatura geológica. A partir da caracterização e espacialização litológica buscou-se realizar uma interpretação geológica-geomorfológica da área de mapeamento, combinando dados obtidos a partir de sensoriamento remoto com a coleta de dados *in loco*. Para tal propósito, foi criada uma base de dados digitais para ampliar a capacidade e facilitar a análise dos padrões e anomalias de drenagem e lineamentos de forma qualitativa. Como resultados deste trabalho foi ampliada a espacialização da ocorrência da Formação Tupanciretã para oeste do Estado, em um incremento de 577 km<sup>2</sup> (i.e., 35,8% com relação ao total já mapeado). O MDE (Modelo Digital de Elevação) Copernicus serviu de auxílio para a definição dos lineamentos classificados como de pequeno porte, se limitando a 5,5 km de comprimento e exibem frequência e tamanho moderadamente distintos em ambas as unidades geológicas a partir da análise dos diagramas de rosetas. O arranjo espacial da rede de drenagem, obtidos através da interpretação visual da BCRS25, marcado pela quantidade expressiva de recurvamentos anômalos ortogonais a subortogonais, pelos padrões dendrítico, subdendrítico, subtreliça, treliça recurvada e a presença de lineamentos morfoestruturais, são indicativos de que a evolução do relevo ocorreu sobre influência tectônica. Tais indicativos de controle tectônico na região, inferidos por métodos de sensoriamento remoto sobre a Formação Tupanciretã, foram confirmados no trabalho de campo em especial pelo ponto nomeado SP012 onde foi observado uma falha normal, com mergulho de 50° para sudoeste, com a direção do plano de falha NW-SE assim como o lineamento negativo registrado por imagem de satélite e pela orientação do eixo principal da voçoroca onde ocorre este afloramento e o lineamento. As três feições exibem este direcionamento NW-SE indicando a correlação entre o avanço das voçorocas com o caráter morfoestrutural e tectônico de reativações de estruturas pré-existentes na área de estudo. As morfoestruturas da região exibem características peculiares em relação aos trabalhos já realizados em outras ocorrências da Formação Tupanciretã.

**Palavras-Chave:** Depósitos sedimentares. Cenozoico. Bacia do Paraná. Geomorfologia. Voçorocas. Lineamentos. Anomalias e padrões de drenagem. Sensoriamento Remoto. Aerofotogeologia. Neotectônica.

## ABSTRACT

The southern plateau of Rio Grande do Sul is dominated by exposures of igneous-extrusive rocks of the Serra Geral Group and sedimentary deposits, mostly sandstone, known as Tupanciretã Formation in the southern part of the Paraná Basin. This region lacks of improvement in geological mapping of the magmatic flows and, above all, of the sedimentary cover after the process of Serra Geral volcanism. In particular, the sedimentary covers of the Tupanciretã Formation are sub-mapped in this region. This condition hinders progress in understanding the post-Serra Geral geological-geomorphological evolution in southern Brazil, from a geochronological, stratigraphic, paleontological, morphostructural, morphotectonic and geoenvironmental perspective. The aim of this work was to carry out basic geological mapping, the primary function of which is to record, communicate and facilitate understanding of the substrate of the mapped region, and which is currently enhanced by the help of various remote sensing tools. The study area is located to the east of the municipality of Santiago-RS, where there are large gullies (i.e. approximately 10 ha), which are probably related to the spatial occurrence of sedimentary deposits of the Tupanciretã Formation, but which are not on the official geological map of RS 1:750,000 and have no records in the geological literature. Based on the lithological characterization and spatialization, we sought to carry out a geological-geomorphological interpretation of the mapping area, combining data obtained from remote sensing with the collection of field work data. To this end, a digital database was created to expand capacity and facilitate qualitative analysis of drainage patterns, anomalies and lineaments. As a result of this work, the spatialization of the occurrence of the Tupanciretã Formation was extended to the west of the state, with an increase of 577 km<sup>2</sup> (i.e. 35.8% in relation to the total already mapped). The Copernicus Digital Elevation Model (DEM) was used to define the lineaments classified as small, limited to 5.5 km in length and exhibiting moderately different frequency and size in both geological units, based on analysis of the rosette diagrams. The spatial arrangement of the drainage network, obtained through the visual interpretation of the BCRS25, marked by the significant amount of orthogonal to suborthogonal anomalous recurvatures, by the dendritic, subdendritic, subtrellis, recurved lattice patterns and the presence of morphostructural lineaments, are indicative that the evolution of the relief occurred under tectonic influence. These indicatives of tectonic control in the region, inferred by remote sensing methods over the Tupanciretã Formation, were confirmed in the field work, especially at the point named SP012 where a normal fault was observed, dipping 50° to the southwest, with the direction of the fault plane NW-SE as well as the negative lineament recorded by satellite image and by the orientation of the main axis of the gully where this outcrop occurs and the lineament. The three features show this NW-SE direction, indicating a correlation between the advance of the gullies and the morphostructural and tectonic character of reactivations of pre-existing structures in the study area. The morphostructures in the region display peculiar characteristics in relation to work already carried out on other occurrences of the Tupanciretã Formation.

**Keywords:** Sedimentary deposits. Cenozoic. Paraná Basin. Geomorphology. Gullies. Lineaments. Drainage anomalies and patterns. Remote Sensing. Aerophotogeology. Neotectonics.



## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1:** Localização da área de estudo na Bacia do Paraná e suas principais litologias de acordo com o mapa geológico do Rio Grande do Sul 1:750.000 realizado e disponibilizado pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) (WILDNER et al., 2008). ..... 18
- Figura 2:** Voçoroca do Ivaí em Fortaleza dos Valos-RS, 385 m de elevação. Imagem orbital de aproximadamente 0,5m de resolução espacial (ArcGIS PRO). ..... 22
- Figura 3:** Exemplos de voçorocas dentro do polígono de mapeamento. Imagem orbital de aproximadamente 0,5m de resolução espacial (Imagem © Maxar technologies) (Google Earth Pro). (A) Coordenadas UTM (fuso 21S): 732.307mE; 6.785.071mN; 390 m de elevação. (B) Coordenadas UTM (fuso 21S): 734.993mE; 6.784.390mN; 380 m de elevação. .... 23
- Figura 4:** Principais Padrões e Texturas de drenagem (modificado de PARVIS, 1950; HOWARD, 1967). ..... 28
- Figura 5:** Variações do Padrão Trelança (HOWARD, 1967; LIMA, 2006). ..... 29
- Figura 6:** Propriedades da rede de drenagem (SOARES; FIORI, 1976; ANDRADES FILHO, 2010). ..... 29
- Figura 7:** Foto-mosaico recobrimo a área de estudo. .... 31
- Figura 8:** Localização e identificação dos poços da rede SIAGAS juntamente ao polígono de mapeamento em branco. As representações de poços em laranja constata a ocorrência superficial e subsuperficial da Formação Tupanciretã, em verde os poços que indicam a ocorrência superficial e subsuperficial somente do Grupo Serra Geral e em amarelo poços com arenitos e/ou solos (Imagem © Maxar technologies) (Google Earth Pro)..... 33
- Figura 9:** Ilustração de imagem produto do MDE Copernicus na área de estudo. Relevo Sombreado, colorizado (amplitude altimétrica 210 m a 448 m) azimute de iluminação 270° e 45° de inclinação. (A) Fator de exagero vertical = 1. (B) Fator de exagero vertical = 2. .... 35
- Figura 10:** Produto foto-interpretativo da ocorrência espacial da Formação Tupanciretã. Polígono em amarelo resultante da análise foto-interpretativa da Formação Tupanciretã. Polígono tracejado preto representa a área de mapeamento à leste da sede de Santiago-RS. Imagem base ArcGIS PRO. .... 37
- Figura 11:** Mapa de densidade de drenagem na área de ocorrência da Formação Tupanciretã em Santiago-RS ..... 38
- Figura 12:** Mapa de padrões e anomalias de drenagem na ocorrência da Formação Tupanciretã em Santiago-RS. .... 39
- Figura 13:** Densidade das anomalias de drenagem na área de ocorrência da Formação Tupanciretã. .... 40
- Figura 14:** Traçado dos lineamentos negativos sobre MDE Copernicus em Santiago-RS. A poligonal amarela indica a área de ocorrência da Formação Tupanciretã estabelecida neste estudo. .... 41
- Figura 15:** Densidade de lineamentos negativos no polígono de mapeamento em Santiago-RS. .... 41

<b>Figura 16:</b> Traçado dos lineamentos positivos sobre MDE Copernicus em Santiago-RS. A poligonal amarela indica a área de ocorrência da Formação Tupanciretã estabelecida neste estudo.....	42
<b>Figura 17:</b> Densidade de lineamentos positivos no polígono de mapeamento em Santiago-RS. ....	42
<b>Figura 18:</b> Traçado dos eixos principais das voçorocas de ocorrência na área de estudo em Santiago-RS. ....	43
<b>Figura 19:</b> Diagramas de roseta distinguindo lineamentos positivos e negativos, comprimento absoluto e frequência absoluta, para a área total, unidades geológicas e orientação principal do eixo das voçorocas. ....	45
<b>Figura 20:</b> Localização dos pontos registrados no trabalho de campo na área de ocorrência da Formação Tupanciretã em Santiago-RS .....	46
<b>Figura 21:</b> Ponto de ocorrência de afloramento do tipo voçoroca – SP001. (A) Imagem orbital da voçoroca. (B) Foto geral do afloramento. (C) Depósito arenoso não consolidado com estratificação cruzada, seixos de rochas vulcânicas acinzentados e intraclastos de argila branca. (D) Estratificação cruzada possivelmente acanalada e colapsada. ....	47
<b>Figura 22:</b> Ponto de ocorrência de afloramento do tipo voçoroca – SP002. (A) Imagem Orbital revelando as erosões. (B) Registro das feições expostas. ....	48
<b>Figura 23:</b> Ponto de ocorrência de afloramento do tipo voçoroca – SP003. (A) Imagem orbital da voçoroca, porção superior mostra imagem de dezembro de 2023 e a porção inferior (onde está a escala gráfica) imagens disponibilizadas anteriormente a realização deste trabalho de campo. (B) Imagem ilustrativa do tipo de afloramento.(C) Material arenoso não consolidado. ....	49
<b>Figura 24:</b> Ponto de ocorrência de afloramento do tipo voçoroca – SP004. (A) Imagem orbital da voçoroca. (B) Registro da voçoroca em campo.....	49
<b>Figura 25:</b> Ponto de ocorrência de afloramento do tipo voçoroca – SP005. (A) Imagem orbital da voçoroca. (B) Registro da voçoroca em campo.....	50
<b>Figura 26:</b> Ponto de ocorrência de afloramento do tipo voçoroca – SP006. (A) Imagem orbital da voçoroca SP006. (B) Visão geral do afloramento. (C) Depósito arenoso não consolidado com estratificação cruzada planar e fina lâmina com óxido de manganês em preto na parte de traz do martelo. (D) Visão geral do afloramento ao sul da voçoroca. (E) Estratificação horizontalizada.....	51
<b>Figura 27:</b> Ponto de ocorrência de afloramento do tipo voçoroca – SP007. (A) Imagem orbital da voçoroca. (B) Registro de campo da voçoroca.....	51
<b>Figura 28:</b> Ponto de ocorrência de afloramento em corte de estrada – SP008. (A) Rocha vulcânica com foliação esferoidal. (B) Corte de estrada mostrando estrutura de fluxo ígneo e formando dobra na porção direita da figura. ....	52
<b>Figura 29:</b> Ponto de ocorrência de afloramento do tipo voçoroca – SP009. (A) Imagem orbital da voçoroca. (B) Registro de campo da voçoroca.....	53
<b>Figura 30:</b> Ponto de ocorrência de afloramento do tipo voçoroca – SP010 (A) Imagem orbital da voçoroca SP010 (Barroca do Mathias). (B) Registro em campo da voçoroca. (C) Corte ao	

norte da camada com 50 centímetro de espessura de argila vermelha com linhas de embranquecimento. (D) Exemplo de concreção ferruginosa. (E) Corte sul da camada de argila no topo e material arenoso não consolidado na base. .... 54

**Figura 31:** Ponto de ocorrência de afloramento do tipo voçoroca – SP011. (A) Imagem orbital da voçoroca. (B) Visão geral do afloramento e amostragem para análise de Luminescência Opticamente Estimulada (LOE). (C) Clastos vulcânicos envoltos por material esbranquiçado. (D) Geodo de sílica criptocristalina. (E) Três camadas distintas do afloramento, base composta por depósito areno-argiloso não consolidado, centro composto por material arenoso não consolidado e topo material conglomerático matriz suportado. (F) Visão mais ampla da camada conglomerática. .... 55

**Figura 32:** Ponto de ocorrência de afloramento do tipo voçoroca – SP012. (A) Imagem da voçoroca “Barroca do Cipó”. (B) Visão geral do afloramento. (C) Base composta por camada lamosa (abaixo da escala) e material arenoso horizontalmente estratificado sobreposto. (D) Material arenoso com níveis de intraclastos de argila branca. (E) Vista da porção leste do afloramento com clastos no topo, intraclastos no meio e material arenoso estratificado ao longo de todo afloramento. (F) Porção central, intermediária ao topo do afloramento onde há maior ocorrência de clastos acinzentados envoltos por matriz arenosa (matriz suportado). (G) Porção oeste intermediária do afloramento com estratificação cruzada, grânulos em matriz arenosa e estruturas de deformação em sedimento incosolidado na parte inferior esquerda da imagem. (H) Estratificação cruzada acanalada de pequeno porte. (I) Estratificação colapsada por sobrecarga ou possíveis microfalhas. (J) Falha normal com mais de 20 centímetros de rejeito. .... 56

**Figura 33:** Ponto de ocorrência de afloramento do tipo corte de estrada – SP013. Imagem do afloramento composto por paraconglomerado. .... 57

**Figura 34:** Ponto de ocorrência de afloramento do tipo corte de estrada – SP014. .... 58

**Figura 35:** Geologia da área de estudo em Santiago-RS. .... 59

**Figura 36:** Incremento do mapeamento em Santiago-RS sobreposto ao mapa geológico do RS (Modificado de Wildner et al., 2008). .... 60

**Figura 37:** Incremento do mapeamento em Santiago-RS sobreposto ao mapa da Bacia do Paraná 2022 (Modificado de Horn et al., 2022). .... 60

**Figura 38:** Polígonos da Formação Tupanciretã sobrepostos a imagem em *Shaded Relief* colorizada (338 m – 404 m) multidirecional processada a partir do MDE Copernicus. .... 61

**Figura 39:** Localização inferida da área de estudo no mapa da geologia do embasamento da Bacia do Paraná, mostrando as estruturas NE-SW (Modificado de ZALÁN et al., 1991). .... 66

**Figura 40:** Sistemas de Falhas Jaguari-Mata de direção NW-SE que, provavelmente, impactam na morfologia do relevo da Formação Tupanciretã na região de Santiago-RS. (Modificado de Horn et al., 2022). .... 67

**Figura 41:** Representações multinível de falha e lineamento relacionado e imagens de sensoriamento remoto. (A) Falha de orientação 50°/202° em notação trama. (B) Orientação do eixo principal de avanço da voçoroca/lineamento de direção 314°-134°. (C) Imagem orbital do mapa base do ArcGIS PRO da voçoroca SP012. .... 68

**Figura 42:** Ilustração cartográfica mostrando a relação espacial entre as rodovias e as voçorocas da Formação Tupanciretã em Santiago-RS. .... 71

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BCRS25 – Base Cartográfica do Rio Grande do Sul Escala 1:25.000  
CEPSRM – Centro Estadual de Pesquisa em Sensoriamento Remoto  
COP – Copernicus  
CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais  
DEM – *Digital Model Elevation*  
DPI – *Dots Per Inch*  
ESRI – *Environmental Systems Research Institute*  
E-W – Leste Oeste  
Fm – Formação  
FSG – Formação Serra Geral  
Gp – Grupo  
GIS – *Geographic Information System*  
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
IGEO – Instituto de Geociências  
INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
LIP – *Large Igneous Province*  
LOE – Luminescência Ópticamente Estimulada  
MDE – Modelo Digital de Elevação  
N-S – Norte Sul  
NE-SW – Nordeste Sudoeste  
NW-SE – Noroeste Sudeste  
RS – Rio Grande do Sul  
SEMA – Secretaria Estadual do Meio Ambiente  
SIAGAS – Sistema de Informações de Águas Subterrâneas  
SIG – Sistema Geográfico de Informação  
SGB – Serviço Geológico do Brasil  
UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	15
2	OBJETIVOS .....	17
3	REFERENCIAL TEÓRICO .....	18
3.1	Contexto Geológico Regional .....	18
3.1.1	Bacia do Paraná.....	19
3.1.2	Grupo Serra Geral .....	19
3.1.3	Formação Tupanciretã .....	20
3.2	Feições Morfoestruturais.....	23
3.2.1	Lineamentos .....	23
3.2.2	Drenagem.....	24
3.2.2.1	Padrões de Drenagem.....	24
3.2.2.2	Anomalias de Drenagem.....	29
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	31
4.1	Material.....	31
4.2	Métodos.....	33
4.2.1	Levantamento de sensoriamento remoto e bases geoespaciais .....	34
4.2.2	Dados de campo.....	36
4.2.3	Integração e mapeamento .....	36
5	RESULTADOS.....	37
5.1	Análise Litológica Foto-interpretativa .....	37
5.2	Análise da Rede de Drenagem .....	37
5.3	Análise dos Lineamentos .....	40
5.4	Trabalho de Campo .....	46
5.5	Integração Sensoriamento Remoto e Dados <i>In Situ</i> .....	58
6	DISCUSSÃO .....	62
6.1	Eficiência na Etapa Pré-campo .....	62

<b>6.2</b>	<b>Evidências de Influência Tectônica .....</b>	<b>62</b>
<b>6.2.1</b>	<b>Interpretação da Rede de Drenagem .....</b>	<b>62</b>
<b>6.2.2</b>	<b>Interpretação Morfoestrutural por Lineamentos.....</b>	<b>64</b>
<b>6.2.3</b>	<b>Análise Litológica.....</b>	<b>68</b>
<b>6.3</b>	<b>As Voçorocas.....</b>	<b>70</b>
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>72</b>
<b>8</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>74</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>75</b>
	<b>ANEXOS.....</b>	<b>79</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O mapeamento geológico é uma das bases do conhecimento da geologia. A investigação científica e metodológica de novas áreas tem contribuído para o desenvolvimento econômico, social e sustentabilidade da sociedade. O trabalho desenvolvido é de extrema importância para a geologia do Rio Grande do Sul visto que se trata de uma área de aproximadamente 1000 Km<sup>2</sup> de depósitos sedimentares que carecem de espacialização e investigação sobre a sua evolução geológica.

A Formação Tupanciretã é uma unidade geológica sedimentar, atualmente definida como cenozoica (i.e., paleógena) segundo a coluna estratigráfica do Estado do RS (WILDNER *et al.*, 2008), onde predominam arenitos de origem fluvial. Apesar da vasta extensão territorial desta Formação no norte do Rio Grande do Sul, esta carece de estudos científicos com abordagem geocronológica, estratigráfica, paleontológica, morfoestrutural, morfotectônica e geoambiental. Parte destes estudos estão sendo realizados no âmbito do Projeto de Pesquisa “*Integração de sensoriamento remoto e dados in situ na análise da evolução tectono-sedimentar no Cretáceo-Quaternário na porção meridional da Bacia do Paraná, sul do Brasil*”, em execução no Laboratório Latitude – Sensoriamento Remoto Geológico, Geomorfológico e Dinâmicas da Paisagem (IGeo/CEPSRM-UFRGS).

A partir de observações *in situ* e por sensoriamento remoto levantou-se a hipótese de que a unidade geológica Formação Tupanciretã encontra-se submapeada, condição que limita avanços de pesquisa nas áreas de ocorrência da mesma. Dentre estas áreas, tem se destacado a porção leste de Santiago-RS, oficialmente mapeada com litologia da Formação Serra Geral. Nesta região, imagens orbitais evidenciam voçorocas de grandes dimensões, inclusive com aproximadamente 10 ha de área. Estas expressivas feições erosivas despertam a atenção por serem morfologias geralmente incompatíveis com as demais áreas de ocorrência superficial das rochas vulcânicas ácidas no sul do Brasil, devido a condição de alta resistência litológica destas últimas. Curiosamente, a partir de levantamento de produtos cartográficos históricos, observa-se que esta área já havia sido anteriormente espacializada como Formação Tupanciretã em outros mapas geológicos do século XX (CARRARO *et al.*, 1974; IBGE, 1986) (anexos 1 e 2), porém não identificadas no Mapa Geológico do Estado do RS (WILDNER *et al.*, 2008) e no

Mapa Geológico da Bacia do Paraná (HORN *et al.*, 2022).

A Formação Tupanciretã, apesar da ocorrência espacialmente descontínua, se concentra no Planalto Meridional do Estado do RS. Tais discontinuidades podem significar uma maior dificuldade de determinar sua exata ocorrência geográfica, inclusive os mapas geológicos do RS explorados neste trabalho (CARRARO, 1974; IBGE, 1986; WILDNER *et al.*, 2008; HORN *et al.*, 2022) possuem diferenças a respeito da localização e extensão destes depósitos sedimentares. Portanto, para efeitos de cartografia geológica básica o aperfeiçoamento do mapeamento litológico da Formação Tupanciretã é relevante. Tal relevância é potencializada na medida em que se admite que esta unidade contém registros de eventos geológicos tectono-sedimentares ocorridos posteriormente ao encerramento dos eventos magmáticos extrusivos da Bacia Intracratônica do Paraná, registros esses que são escassos na geologia do sul do Brasil.

O mapeamento litológico e morfoestrutural desta Formação sedimentar sobreposta às rochas vulcânicas do Serra Geral, além de contribuir para o melhor estabelecimento das áreas de ocorrência da unidade também pode favorecer a compressão sobre a evolução geológico-geomorfológica desta e do contexto evolutivo do sul do Brasil pós-Serra Geral. Assim, além do aperfeiçoamento do mapeamento litológico da unidade, a análise morfoestrutural tem potencial para novas descobertas e melhorar a interpretação do arcabouço tectônico durante o Cenozoico e sua influência sobre as unidades sedimentares, bem como seus efeitos na paisagem atual.



## 2 OBJETIVOS

Este trabalho possui por objetivos identificar e delimitar espacialmente a ocorrência da Formação Tupanciretã em Santiago-RS, e realizar a caracterização morfoestrutural da área de ocorrência desta Formação sedimentar e adjacências.

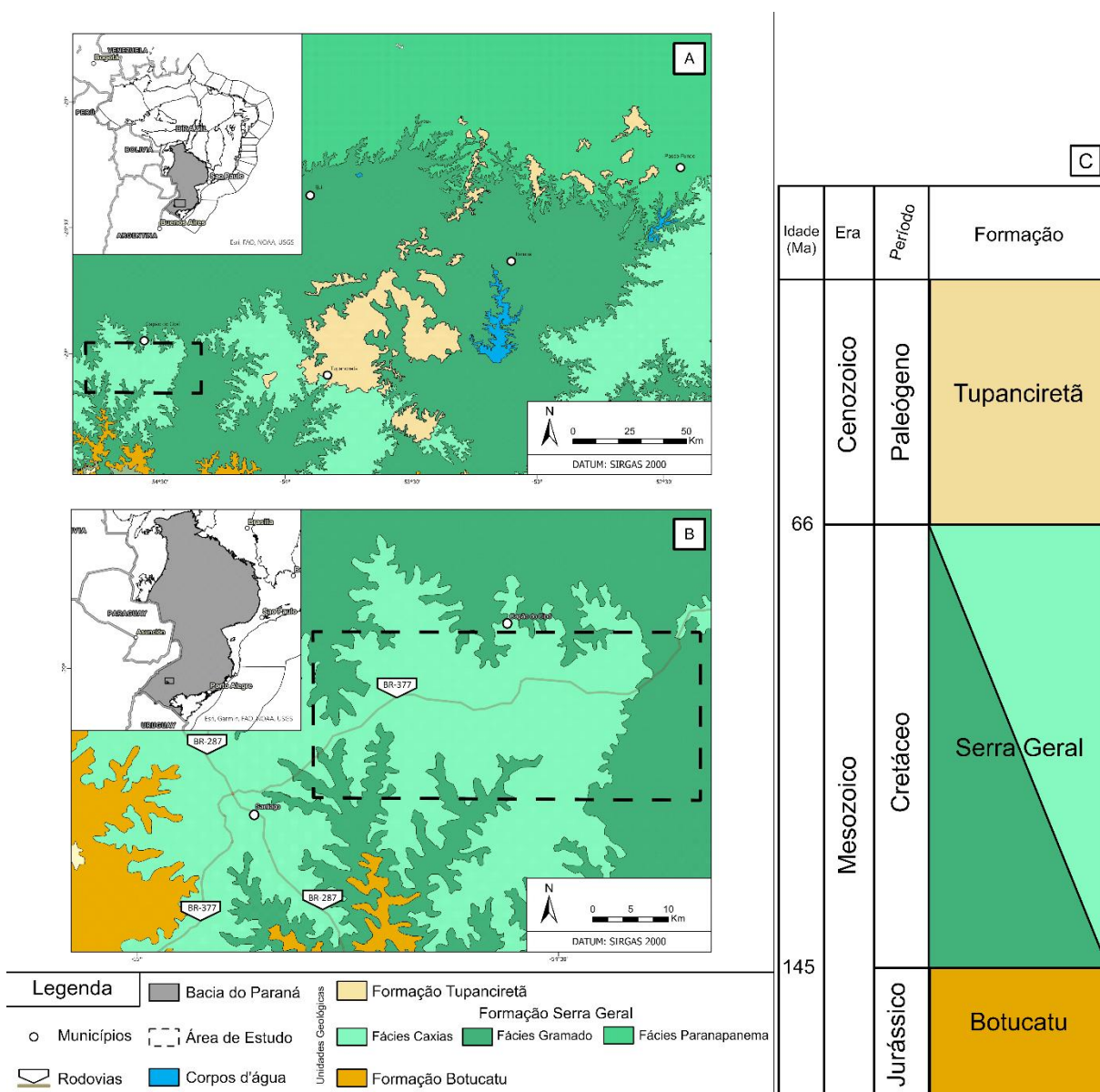
Para auxiliar na execução do projeto, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- 1) Delimitar espacialmente as litologias que se situam dentro do recorte espacial estabelecido no município de Santiago-RS a partir de sensoriamento remoto e dados *in situ*;
- 2) Espacializar e analisar os lineamentos morfoestruturais, os padrões e as anomalias de drenagem de modo a realizar a caracterização morfoestrutural da área de estudo;
- 3) Combinar as informações obtidas no campo, por sensoriamento remoto e pela base de dados da literatura para interpretação geológica-geomorfológica visando a comparação com as demais áreas de ocorrência da Formação Tupanciretã, reconhecidas à leste da área de estudo.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 Contexto Geológico Regional

O recorte espacial estabelecido neste trabalho se localiza na parte sul da Bacia do Paraná (i.e porção brasileira), norte do Estado do Rio Grande do Sul e a nordeste da cidade de Santiago-RS. Possui uma área de 948 km<sup>2</sup> e um perímetro de 130 km (figura 1)



**Figura 1:** Localização da área de estudo na Bacia do Paraná e suas principais litologias de acordo com o mapa geológico do Rio Grande do Sul 1:750.000 realizado e disponibilizado pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) (WILDNER et al., 2008).

### 3.1.1 Bacia do Paraná

A Bacia do Paraná, desenvolvida sobre a crosta continental paleozoica, abrange uma ampla porção da América do Sul, incluindo Brasil meridional, Paraguai oriental, nordeste da Argentina e nortedo Uruguai, com em torno de 1,5 milhões de Km<sup>2</sup>, cujas espessuras máximas chegam até 7000 metros (MILANI *et al.*, 2007). A borda da bacia é moldada por processos erosivos e possui relação tectônica direta desde a abertura do supercontinente Pangeia até o presente.

Ao longo da história evolutiva desta bacia foram demarcadas, seis supersequências deposicionais (MILANI, 1997; MILANI *et al.*, 2007) sendo elas e seus respectivos períodos geológicos: Supersequência Rio Ivaí composta por rochas sedimentares pré-devoniano; Supersequência Paraná composta por sedimentitos devonianos; Supersequência Gondwana I composta por estratos sedimentares carboníferos-eotriássicos MILANI *et al.* (1994); Supersequência Gondwana II pelitos triássicos; Supersequência Gondwana III jurássica-Eocretácica, segundo MILANI *et al.* (1994), no qual se depositam os derrames magmáticos da Formação Serra Geral sobrejacentes aos depósitos eólicos da Formação Botucatu; Supersequência Bauru, cobertura pós-basáltica siliciclástica psamítica (MILANI *et al.*, 2007), além de coberturas sedimentares cenozoicas na porção sul da Bacia (MENEGOTTO *et al.*, 1968; ANDRADES FILHO *et al.*, 2019).

### 3.1.2 Grupo Serra Geral

O Grupo Serra Geral (GSG), foi gerado por várias fases de intenso vulcanismo de espessos derrames magmáticos e por intrusões de diques e soleiras na Bacia do Paraná (MILANI *et al.*, 2007), durante a desagregação do supercontinente Pangea, onde hoje em dia se encontram predominantemente sobrepostos aos arenitos da Formação Botucatu. Este grande volume de magma do Cretáceo Inferior, produzido durante a abertura do Oceano Atlântico Sul na Bacia do Paraná-Etendeka, é considerado como uma das maiores Províncias Ígneas do Mundo (LIP's).

Segundo PICCIRILLO; MELFI (1988), a grande predominância petrológica do Grupo Serra Geral é composta por Basaltos Toleíticos, cerca de 90%, e mais localizadamente ocorrem Andesitos Toleíticos, Riolitos e Riodacitos, sendo as rochas

vulcânicas efusivas ácidas encontradas na porção sul da Bacia do Paraná, no topo da sequência de derrames. As diferentes composições petrográficas e geoquímicas facilitaram nas distinções das fácies vulcânicas. Na região de estudo, segundo o mapa geológico do RS na escala 1:750.000 (WILDNER *et al.*, 2008), se encontram apenas a Fácies Caxias (caracterizada principalmente por Riodacitos e Quartzo Latitos) e a Fácies Gramado compostas majoritariamente por Basaltos Toleíticos.

A integração entre litofácies, derivadas de suas relações estruturais, estratigráficas, petrológicas e geoquímicas, permitiu melhor entendimento a respeito da estratigrafia do Serra Geral, elevando seu status de Formação Serra Geral para Grupo Serra Geral (ROSSETI *et al.*, 2021), denominação utilizada neste estudo.

### 3.1.3 Formação Tupanciretã

Anteriormente aos trabalhos publicados por MENEGOTTO *et al.* (1968), a Formação Tupanciretã era caracterizada como uma janela estratigráfica da Formação Botucatu, porém constatou-se que se tratavam de distintos depósitos sedimentares. Estes depósitos tem origem subaquosa com ampla extensão, em torno de 7800 km<sup>2</sup>, localizados no extremo sul do Planalto Meridional Brasileiro, pós-jurássicos, de uma nova Formação que aflora na forma de polígonos isolados e, normalmente, se encontram posicionadas em colinas e/ou cristas (i.e., topograficamente elevadas) podendo indicar algum processo tectônico (MENEGOTTO *et al.*, 1968; MARIN, 2022; RUPPEL *et al.*, 2023). Na base destes depósitos se encontram predominantemente conglomerados, enquanto que as camadas de argilas são delgadas, próximas ao topo da sequência e o restante é composto por arenitos quartzo feldspáticos predominantemente mal selecionados, sendo a litologia mais abundante, sequência indicativa de granodecrescência ascendente.

Segundo MENEGOTTO *et al.* (1968), os sedimentos seriam provenientes dos Basaltos da Formação Serra Geral, porém em COULON *et al.* (1973) é argumentado que os arenitos possuem sílica demais para terem sido originados do Basalto. A partir de dados mineralógicos (principalmente argilominerais como Ilita-Montmorilonita) e petrográficos constatou-se que somente a porção basal teria sua origem dos Basaltos e o restante seria derivado de rochas ígneas plutônicas, metamórficas de alto grau ou sedimentares quartzo-feldspáticas retrabalhadas podendo ser relacionada ao Escudo

Sul-Rio-grandense e até mesmo dos Andes, tendo semelhança com os depósitos sedimentares Pampeanos. Estes autores ainda indicam uma possível gênese baseada na morfologia fluvial a qual teria sua orientação distorcida em consequência do soerguimento neotectônico no Rio Grande do Sul.

Em NOWATSKI *et al.* (1999), numa expedição cujo o principal objetivo era a prospecção de fósseis, foram relatadas incongruências relacionadas aos afloramentos tidos como pertencentes à Formação Tupanciretã, sugerindo redução na espacialização desta formação. Os autores também interpretam alguns afloramentos anteriormente descritos por MENEGOTTO (1968; 1971) como de origem fluvial, passando a ser relacionado a uma gênese de depósitos de dunas eólicas em sistema desértico com paleocorrentes com sentido predominante para nordeste, ou como um material proveniente do manto de intemperismo dos Basaltos da Formação Serra Geral, que poderiam atingir uma espessura de até 5 metros.

Recentemente, estudos como RUPPEL *et al.* (2023), a Formação Tupanciretã pertenceria ao Supergrupo Bauru, da era mesozoica, mais especificadamente do período Cretáceo. RICCOMINI *et al.* (2016) correlaciona os depósitos piroclásticos da Formação Volta Alegre à Formação Tupanciretã compondo assim o “Grupo Jacuí”, proposto pelo autor, também os considerando como de origem no cretáceo inferior (~ 132 Ma), porém os depósitos sedimentares ainda permanecem ausentes de datações absolutas estabelecidas na literatura. De acordo com RUPPEL *et al.*, (2023), a formação teria sido gerada a partir de novos espaços de acomodação de sedimentos em virtude da exumação do embasamento somada com o arrefecimento e subsidência dos derrames do Serra Geral e, posteriormente, reativações de estruturas pré-existentes. Os paleocanais se desenvolveram a partir de domos de soerguimento térmico durante a tafrogênese do Supercontinente Gondwana, o paleoambiente semiárido com episódios de maior energia pode explicar a granodecrescência ascendente com as paleocorrentes indicando um sentido de fluxo sul-norte, sugerindo que a área fonte fosse justamente o Escudo Sul-Rio-Grandense (RUPPEL *et al.*, 2023).

A geomorfologia da região aflorante, apesar de suavemente onduladas a aplainadas com microformas de pacotes horizontalizados e ravinas, possui um aspecto muito característico de colinas com presença de grandes voçorocas de relevo

ruiniforme (Figuras 2 e 3), decorrentes de um intenso processo erosivo devido à topografia e à alta friabilidade (MENEGOTTO *et al.*, 1968; REIS, 2020; MARIN, 2022; PINHEIRO, 2023).

Ainda segundo os autores de MENEGOTTO *et al.* (1968), a drenagem é caracterizada em dois diferentes tipos, sendo eles: padrão retangular onde há ocorrência da Formação Serra Geral e padrão dendrítico na Formação Tupanciretã. A partir de técnicas mais recentes de sensoriamento remoto, REIS *et al.* (2020) mapeou os padrões e anomalias de drenagens com maior acuidade, verificando predominantemente o padrão subtreliça em 90% da Formação Tupanciretã e os outros 10% se dividindo entre os padrões treliça e treliça recurvada. O padrão treliça e as anomalias de cotovelos, também são observados por MARIN (2022), além de lineamentos positivos quilométricos com orientações NE/SW e NW/SE. Tais informações a respeito da rede de drenagem e das morfoestruturas, podem indicar evidências de controle tectônico durante e/ou posterior a deposição dos sedimentos.



**Figura 2:** Voçoroca do Ivaí em Fortaleza dos Valos-RS, 385 m de elevação. Imagem orbital de aproximadamente 0,5m de resolução espacial (ArcGIS PRO).



**Figura 3:** Exemplos de voçorocas dentro do polígono de mapeamento em Santiago-RS. Imagem orbital de aproximadamente 0,5m de resolução espacial (Imagem © Maxar technologies) (Google Earth Pro). (A) Coordenadas UTM (fuso 21S): 732.307mE; 6.785.071mN; 390 m de elevação. (B) Coordenadas UTM (fuso 21S): 734.993mE; 6.784.390mN; 380 m de elevação.

## 3.2 Feições Morfoestruturais

### 3.2.1 Lineamentos

Já difundido na literatura desde o início do século XX, os lineamentos foram descritos por HOBBS *et al.* (1904; 1912) como “As linhas divisórias dos padrões de relevo” e que podem ser representadas pela natureza nas formas de linhas de drenagem, linhas de costa, divisa entre contatos litológicos, cachoeiras alinhadas, cristas, traços de falhas e fraturas escondidas. Segundo MASURSKY *et al.* (1978) é um termo amplo e não genético usado para incluir qualquer tendência linear visível geralmente, mas nem sempre, de extensão regional. Para O’LEARY *et al.* (1976) o lineamento é definido como uma característica linear simples ou composta, mapeável, cujas partes se alinham em uma relação reta ou ligeiramente curva e que se difere dos padrões adjacentes. Em todos os casos, os lineamentos constituem estruturas geológicas e/ou tectônicas em subsuperfície que acabam impactando significativamente a morfologia do relevo.

As estruturas nas rochas são geradas a partir de deformações (rotação, translação, distorção e dilatação) e são classificadas em regime rúptil (friável, quebradiço) caso a rocha permaneça rígida e apresente descontinuidade gerando falhas ou fraturas, e dúctil (plástico) caso a continuidade seja alterada, mas se mantenha, formando estiramentos sem se romper (FOSSEN, 2010; GROTZINGER; JORDAN, 2013). Ainda existem regimes intermediários denominados: Rúptil-dúctil e dúctil-rúptil. As falhas passam de rúpteis para dúcteis (se transformando em dobramentos) conforme o aumento de profundidade e também devido a competência reológica, por exemplo, um granito é muito mais resistente a deformação do que um arenito friável, conseqüentemente vão atingir seus limites de rigidez em diferentes condições termodinâmicas. Simplificadamente, as forças que geram tais deformações podem ser classificadas em tensões compressivas, distensivas e cisalhantes gerando conseqüentemente falhas inversas, normais e transcorrentes (FOSSEN, 2010; GROTZINGER; JORDAN, 2013).

### **3.2.2 Drenagem**

Apesar do território brasileiro estar numa região intraplaca (i.e baixa frequência e intensidade de sismos), o estudo da rede de drenagem é um importante elemento geomorfológico na análise dos mecanismos estruturais e tectônicos, indicando padrões de fraturas e diferentes tipos litológicos. Na Plataforma Sul-Americana a grande maioria dos canais fluviais são exorreicos em decorrência da diferença topográfica causada pela orogênese andina e, localizadamente, existem bacias hidrográficas endorreicas que podem ter sido geradas a partir de um controle tectônico recente de soerguimento. Essa sensibilidade da rede de drenagem as deformações no terreno são de bastante valor para o estudo da Neotectônica no Brasil (SOARES; FIORI, 1976; REIS, 2020; ANDRADES FILHO, 2010). Importante não confundir os termos padrão de canal (i.e meandrante, anastomosado, retilíneo, entrelaçado etc.) que é formado por um segmento do canal fluvial e padrão de drenagem (i.e dendrítico, treliça, retangular, paralelo etc.) que é formado pelo conjunto dos canais fluviais.

#### **3.2.2.1 Padrões de Drenagem**

Padrão de drenagem diz respeito à forma de arranjo geométrico dos



canais de determinada rede de drenagem e são influenciados por diversos fatores, como clima, litologia, uso e ocupação do solo, vegetação, etc. Porém, o mais significativo são as estruturas geológicas a partir de inclinações regionais de superfície ou de descontinuidades (i.e., falhas e fraturas) moldando diversos padrões geométricos, não sendo atrelado a qualquer fator genético (HOWARD, 1967; REIS, 2020). Os principais padrões e texturas (densidades) de drenagem estão representados na Figura 4.

**Padrão dendrítico (arborescente) e subdendrítico:** Este arranjo é chamado de dendrítico pela sua geometria ser parecida com a de uma árvore, sendo o canal principal relacionado ao tronco e as ramificações irregulares semelhantes aos galhos. Os ramos fluem para o canal principal com ângulos agudos variáveis, porém não formando um ângulo reto (i.e anomalia de cotovelo). Este tipo de padrão tende a se desenvolver em rochas homogêneas e sem controle estrutural. O padrão subdendrítico é uma variação do padrão dendrítico, porém com um leve controle estrutural (ZERNITZ, 1932; PARVIS, 1950; HOWARD, 1967; IBGE, 2009; ANDRADES FILHO, 2010; REIS, 2020; JESUS, 2021).

**Pinado:** Também uma modificação do padrão dendrítico, porém os canais de segunda ordem são caracterizados principalmente pelo paralelismo, indicando inclinação, porém também se unindo ao canal principal em ângulos agudos (IBGE, 2009; JESUS, 2021).

**Treliça:** É um tipo de padrão transicional entre o dendrítico e o retangular, cuja principal característica se dá pelas confluências em ângulos retos (formando as anomalias de cotovelos) entre os canais tributários e o canal principal subsequente, onde muitas vezes os canais secundários se encontram quase paralelos ao principal. Este tipo de arranjo indica forte controle estrutural, heterogeneidade litológica e se desenvolvem normalmente em sequências de rochas dobradas ou inclinadas seguidas de descontinuidades paralelas (ZERNITZ, 1932; HOWARD, 1967, IBGE, 2009; REIS, 2020; JESUS, 2021).

**Retangular:** O padrão retangular possui como principal característica as curvas abruptas em ângulo reto, tantos no canal principal quanto nos seus tributários, ou seja, possui um forte controle estrutural por falhas e fraturas e/ou por camadas sub-horizontais de resistências a erosão distintas. Apesar de semelhante com o sistema

treliça, este se difere pelo controle dos rios principais que não possui um paralelismo ou única direção, mudando de direção mais frequentemente (ZERNITZ, 1932; PARVIS, 1950; JESUS, 2021).

Angular: O padrão angular possui um certo paralelismo em seus afluentes, se diferencia do retangular por possuir raros canais retos e mais canais oblíquos entre si. Mesmo possuindo menos anomalias de cotovelos, o arranjo angular é fortemente controlado por estruturas geológicas como fraturas e falhas (LIMA, 2006; JESUS, 2021).

Paralelo: Denominado assim devido ao alto grau de paralelismo da rede de drenagem que escoar por uma distância considerável. Normalmente, esse arranjo ocorre onde há inclinação regional pronunciada, como em terrenos sedimentares estruturados na forma de *cuestas* e *hog backs* ou em regiões com falhas e/ou lineamentos positivos paralelos (ZERNITZ, 1932; LIMA, 2006; JESUS, 2021).  
Subparalelo: Apesar de possuir orientação dos canais com direções semelhantes, ainda apresenta menor paralelismo que o padrão paralelo e pode indicar além do controle estrutural relacionado também ao arranjo paralelo, um leve mergulho das litologias (ZERNITZ, 1932; LIMA, 2006; JESUS, 2021).

Radial: O padrão radial é caracterizado pela drenagem que se encontra em volta de um espaço central no terreno e é necessário mais de uma sub-bacia hidrográfica atuando. Dessa forma é subdividido em radial centrípeto o padrão cujas drenagens convergem para o mesmo centro de depressão (i.e crateras e caldeiras) e padrão centrífugo aquelas que divergem de uma feição positiva como cones vulcânicos, altos estruturais e corpos intrusivos (HOWARD, 1967; LIMA, 2006; IBGE, 2009; JESUS 2021).

Anelar: Semelhante ao padrão radial, porém com a geometria circular das drenagens formando vários anéis concêntricos em torno de uma feição de relevo positiva associadas, normalmente, a estrutura de cúpulas ou dômicas com camadas de diferentes graus de resistências a erosão (PARVIS, 1950; LIMA, 2006; IBGE, 2009; JESUS, 2021).

Ainda existem variações relacionadas aos padrões principais, como por exemplo, as variações dos padrões treliça mostrados na Figura 5.

Subtreliça: Segundo LIMA (2006), este padrão se diferencia do clássico pelo grau de continuidade onde um lado é maior do que o outro, ou seja, o tipo subtreliça possui maior assimetria de drenagem entre os tributários.

Treliça recurvada: Esta modificação do padrão treliça tem como característica a formação de curvas, ocorrendo geralmente em torno de dobras (HOWARD, 1967; LIMA, 2006; JESUS, 2021).











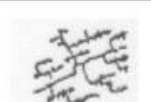
Treliça de falha: Variante do padrão treliça, porém com alternância de *grabens* e *horsts* ou por descontinuidades (i.e fendas, falhas, fraturas) paralelas. As anomalias de cotovelo são menos comuns e, conseqüentemente, os canais são menos espaçados entre si (ZERNITZ, 1932; JESUS, 2021).

Treliça de junta: É caracterizada pelos canais tributários retilíneos, curtos e paralelos, fortemente controlado por fraturas e raramente falhas (HOWARD, 1967; LIMA, 2006; JESUS, 2021).

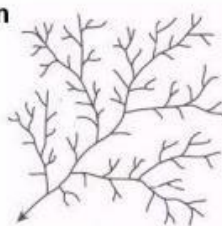
Treliça direcional: Padrão muito semelhante à treliça original, porém com os canais subsequentes (i.e ocorrem em zonas de fraqueza) maiores de um lado do vale do que do outro (HOWARD, 1967; JESUS, 2021).

Os tipos de sistemas de drenagem, podem ser caracterizados a partir de propriedades dos mesmos, na Figura 6 está demonstrada tais fatores.

### Padrões de drenagem (simplificado)

Padrão	Forma	propriedades do substrato	Arranjo espacial do padrão
1. Lagunado desorganizado	Lagunar. ocorre em locais planos (mesas, platôs e planícies)	Exudações freáticas	
2. Dendrítico arborescente	Vários ramos multidirecionais sinuosos	Material homogêneo	
3. Subdendrítico	Multidirecional mostrando uma direção pouco marcada	Material homogêneo com fraca inclinação	
4. Subparalelo	Unidirecional com ramos sinuosos paralelos	Pacotes muito fracamente basculados	
5. Paralelo	Ramos unidirecionais paralelos retilíneos	Pacotes fracamente basculados	
6. Retangular	Ramos bidirecionais formando ângulos de aprox. 90°	Padrão de fratura bidirecional	
7. Angular	Ramos multidirecionais retilíneos formando ângulos variados	Padrão de fraturas multidirecionais	
8. Pinado	Ramos bidirecionais, os canais tem um conjunto em forma de pena	xistosidade, fissilidade	
9. Radial	Ramos arranjados numa forma radial	Estruturas circulares	
10. Anelar	Ramos arranjados numa forma de anel	Estruturas circulares	
11. Treliça	Bidirecional, formando ângulos de 90°	Planos de dobra, charneiras, falhas, diáclases	

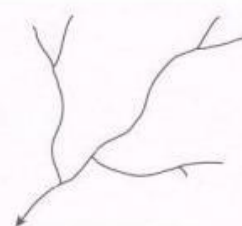
### Textura da drenagem



**fina**

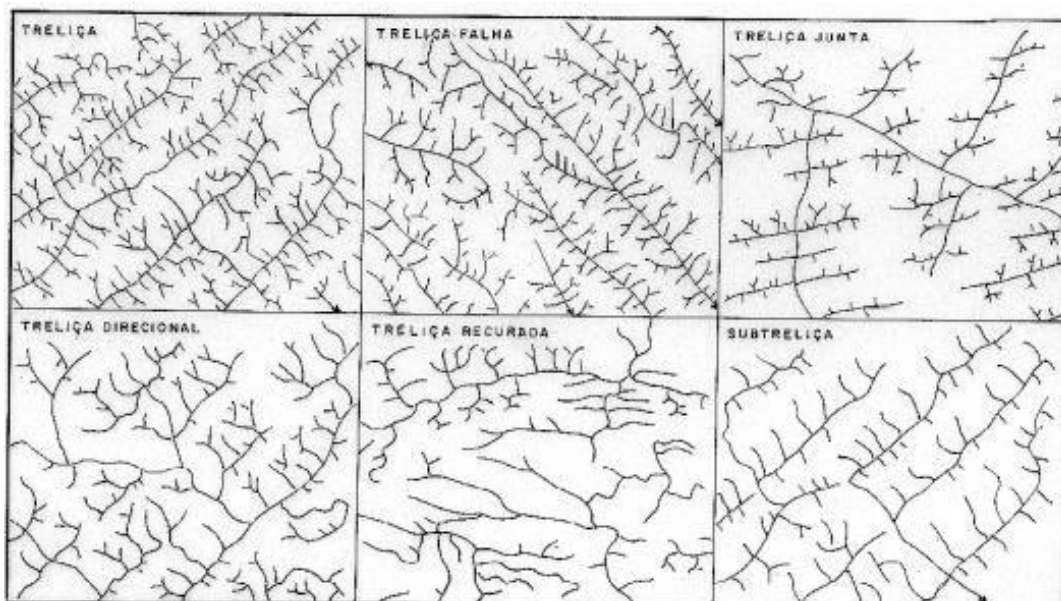


**média**



**grossa**

**Figura 4:** Principais Padrões e Texturas de drenagem (modificado de PARVIS, 1950; HOWARD, 1967).



**Figura 5:** Variações do Padrão Treliça (HOWARD, 1967; LIMA, 2006).

Grau de Integração	Grau de Continuidade	Densidade	Tropia	Grau de Controle	Sinuosidade	Angularidade	Assimetria
 Alto	 Alto	 Alta	Unidirecional	 Forte	 Curvos	 Alta	 Fraca
 Médio	 Médio	 Média	Bidirecional		 Mistos	 Média	
 Baixo	 Baixo	 Baixa	Tridirecional	 Fraco	 Retilíneos	 Baixa	 Forte
			Multidirecional desorientada				
			Multidirecional orientada				

**Figura 6:** Propriedades da rede de drenagem (SOARES; FIORI, 1976; ANDRADES FILHO, 2010).

### 3.2.2.2 Anomalias de Drenagem

As anomalias de drenagem normalmente assinalam a existência de estruturas ocultas, muitas vezes indicam divergências morfoestruturais locais entre padrões de

drenagens regionais (HOWARD, 1967). Essas feições muitas vezes estão ligadas à ação de esforços neotectônicos.

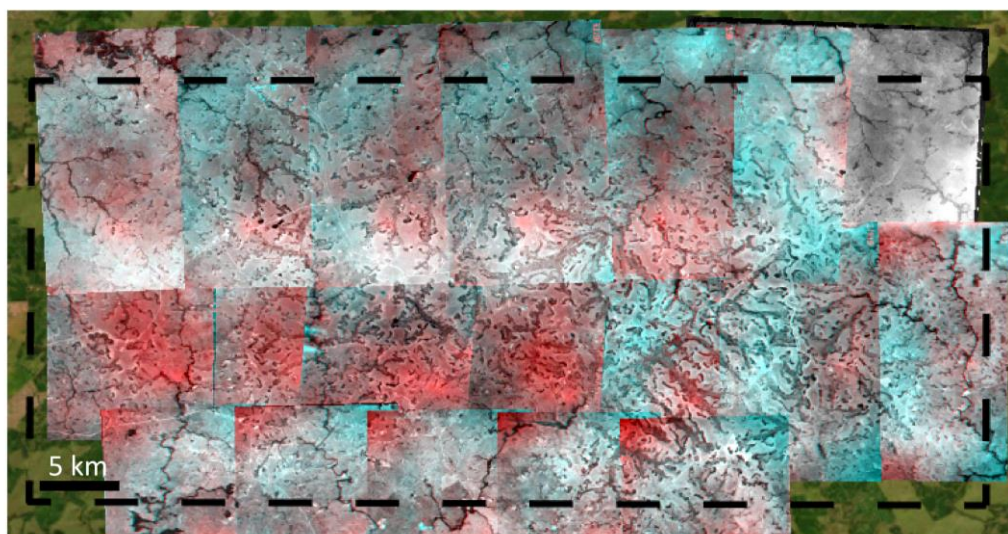
As anomalias em arco ou cotovelo caracterizam-se por curvas acentuadas da ordem de  $90^\circ$ , podendo estar atreladas tanto a movimentos estruturais verticais quanto horizontais, por isso outras propriedades também são importantes no entendimento da evolução da paisagem. As anomalias de drenagem também podem ser feições que cortam altos estruturais, apresentam capturas de drenagem, extensa retilinearidade e curvas abruptas da drenagem.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Material

Este estudo utilizou como material dados digitais como cartografias disponibilizadas gratuitamente nas bases digitais, por sensoriamento remoto e dados subsuperficiais. Também foi necessária a coleta de dados de campo relacionados às litologias e estruturas. Desta forma, segue o conjunto de bases de dados e programas computacionais utilizados.

- i) 22 fotografias aéreas de escala 1:60.000: datadas de dezembro de 1964, disponibilizadas pela biblioteca do Instituto de Geociências da UFRGS na forma de papel, que foram digitalizadas em *scanner Microtek* em 600 DPI.
- ii) A partir da sobreposição das fotografias aéreas, utilizando o programa *StereoPhoto Maker - English Edition*, foram gerados e georreferenciados 19 anaglifos (i.e., estereomodelos) para a confecção de um foto-mosaico cobrindo a área de estudo e possibilitando de forma mais eficaz a interpretação fotogeológica (Figura 7).



**Figura 7:** Foto-mosaico recobrimo a área de estudo.

- iii) Base vetorial oficial de rede de drenagem da Base Cartográfica do Estado do RS (BCRS25) de escala 1:25.000 é a rede de maior escala disponível para o território do Rio Grande do Sul, na área de estudo. A BCRS25 foi produzida tendo como insumo as imagens do satélite *Rapid Eye*, com resolução espacial de 5 m. A rede de drenagem especializada foi produzida pela Secretaria Estadual do Meio Ambiente

(SEMA-RS) durante o projeto de zoneamento ecológico e econômico do Estado. Esta base foi disponibilizada em 2018 e tem sido importante em estudos de cunho geológico-geomorfológico nesta região do RS.

iv) Sistema de informações de águas subterrâneas (SIAGAS) (Figura 8), desenvolvido pela CPRM em meados da década de 1990, com o objetivo de coletar, armazenar, sistematizar e disponibilizar dados e informações referentes aos poços tubulares (NASCIMENTO et al., 2008). É uma base de dados com mais de 350.000 poços cadastrados, que permite a obtenção de informações referentes a localização, profundidade, construção, geologia, hidrologia, análises químicas e de funcionamento.

v) Modelos Digitais de Elevação: Os produtos derivados do sensoriamento remoto, como os lineamentos, foram obtidos através de Modelos Digitais de Elevação (MDE). O MDE global disponível gratuitamente que apresenta maior acurácia vertical atualmente é o Copernicus DEM (COP-DEM), disponibilizado com resoluções de 30m (utilizada neste trabalho) e 90 m (CREMON et al., 2022; PURINTON; BOOKHAGEN, 2021; GUTH; GEOFFROY, 2021), aplicado principalmente durante a fase de análise morfoestrutural.

vi) Sistema de Informações Geográficas (SIG) ArcGIS Pro: A base de dados do projeto foi manipulada no software de Sistemas de Informações Geográficas, ArcGIS PRO versão 2.8.8, desenvolvido pela ESRI e disponibilizado para os discentes e docentes da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) sob licença institucional.

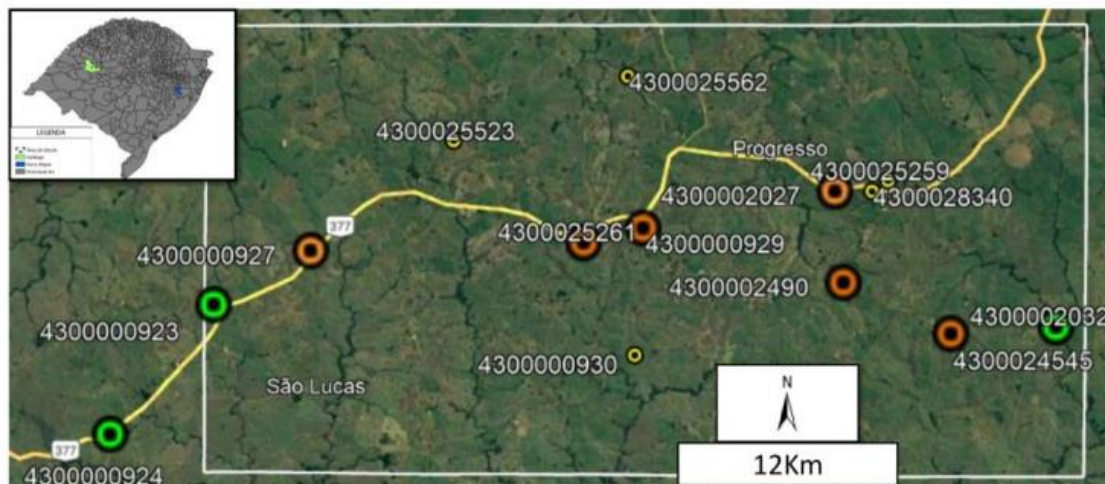
vii) Sistema de Informações Geográficas (SIG) Spring: Especificamente para a confecção dos diagramas de roseta com as medidas dos lineamentos vetorizados, com SIG Spring versão 5.5.6, disponibilizado gratuitamente pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

viii) Aplicativo Google Earth Pro: através das imagens de alta resolução e a capacidade de visualização em 3D do terreno, permitiu contribuir com as interpretações e visualizações da superfície. Além disso, permitiu a sobreposição visual dos pontos com os dados dos poços cadastrados na rede SIAGAS (Figura 8).

ix) Editor Gráfico CorelDRAW: é um software de ilustração vetorial desenvolvido pela Corel Corporation, Canadá. Este programa tem como finalidade auxiliar nas



ilustrações, design e acabamento de mapas, seções longitudinais e seções colunares.



**Figura 8:** Localização e identificação dos poços da rede SIAGAS juntamente ao polígono de mapeamento em branco. As representações de poços em laranja constataam a ocorrência superficial e subsuperficial da Formação Tupanciretã, em verde os poços que indicam a ocorrência superficial e subsuperficial somente do Grupo Serra Geral e em amarelo poços com arenitos e/ou solos (Imagem © Maxar technologies) (Google Earth Pro).

## 4.2 Métodos

Os métodos utilizados foram desenvolvidos ao longo de três fases: Fase I (i.e., pré-campo); fase II (i.e., trabalho de campo) e fase III (i.e, pós-campo).

A Fase I abrange a coleta de dados geoespaciais e da literatura previamente ao trabalho de campo que permitiu estabelecer o reconhecimento preliminar da área de estudo. Esta fase envolve as seguintes atividades: a) Acesso, organização e interpretação de imagens de satélite; b) acesso, digitalização, elaboração de fotomosaico de 22 fotos aéreas; c) acesso, organização e manipulação de dados geoespaciais auxiliares; d) elaboração do mapeamento preliminar fotointerpretativo; e) traçado dos lineamentos/traços de juntas/fraturas positivos e negativos; f) análise e delimitação dos padrões de drenagem; g) identificação das anomalias de drenagem.

A Fase II abrange as atividades de mapeamento geológico em atividade de campo, abrangendo a caracterização geológica em afloramentos da Formação Tupanciretã e Grupo Serra Geral.

A Fase III abrange: a) consolidação da espacialização das unidades geológicas a partir da integração dos dados de sensoriamento remoto, dados temáticos

geoespaciais auxiliares e dados de campo; b) produção de perfis longitudinais a partir da integração de dados de campo, perfis de poços e o mapeamento geológico.

#### 4.2.1 Levantamento de sensoriamento remoto e bases geoespaciais

Preliminarmente à atividade de campo, foram coletadas e organizadas as bases de informações geoespaciais geológicas e geomorfológicas da área de estudo.

Foram levantados e organizados em SIG as informações litológicas dos poços cadastrados na rede SIAGAS (Sistema de Informações de Águas Subterrâneas), nas seguintes etapas: i) acesso ao link: <http://siagasweb.cprm.gov.br/>; ii) abertura do visualizador de mapas e da camada de poços; iii) identificação dos pontos de poços na poligonal de estudo; iv) aplicação da ferramenta de visualização de perfis e acesso às informações de cada poço (i.e., gerais, perfis construtivos, geológicos e hidrogeológicos); v) exportação dos dados no formato .shape; vi) importação em SIG e vinculação do link de cada poço ao ponto de ocorrência e base do SIAGAS, para acesso permanente à integralidade dos dados.

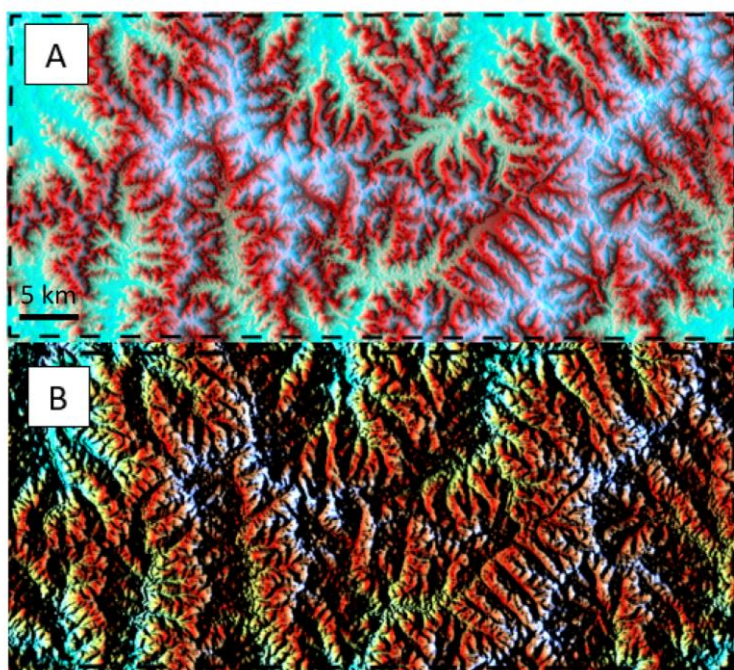
Também em ambiente SIG, foram obtidas as informações do mapa geológico 1:750.000 do Estado do RS, nas seguintes etapas: i) acesso ao link: [GeoSGB \(cprm.gov.br\)](http://cprm.gov.br/); ii) abrir a aba “downloads” em serviços; iii) selecionar as pastas “integração geológica regional” > “mapas estaduais” > “Rio Grande do Sul” “mapa geológico do Rio Grande do Sul 1:750.000”; iv) baixar o arquivo “SIG (vetores) – Geologia do Estado do Rio Grande do Sul”.zip; v) extrair os arquivos da pasta compactada e importar para ambiente SIG.

A rede de drenagem BCRS25, analisada em ambiente SIG, foi obtida através das seguintes etapas: i) acesso ao link: [ww2.fepam.rs.gov.br - /bcrs25/](http://ww2.fepam.rs.gov.br/-/bcrs25/); ii) baixar “seção\_1\_hidrografia.zip”; iii) extrair e importar camada “trecho de drenagem”, em *shapefile*, para ambiente SIG.

Os Modelos Digitais de Elevação COP-DEM, oriundos do processamento de dados do WolrdDEM da missão espacial da TanDEM-X da DLR em conjunto com a Airbus, foram obtidos a partir dos passos: i) acesso ao link: <https://portal.opentopography.org/datasets>; ii) selecionar a área; iii) abaixo de “resultados” selecionar o MDE de interesse (neste caso o COP-30); iv) baixar, extrair e importar a camada “output\_cop30”; v) realizar o processamento em ambiente SIG >

Funções do *Raster* > Superfície > Relevo Sombreado; vi) ajustar a simbologia.

O mapeamento morfoestrutural foi produzido a partir de processamentos de MDE's visando o realce de lineamentos, obtidos por interpretação visual, aplicados para obtenção de modelos sombreados de relevo, a partir das imagens do COP-DEM, em tons de cinza e paletas de cores personalizadas, assim como quatro tipos específicos de azimutes de iluminação com 45° de inclinação, sendo eles: oeste 270°, noroeste 315°, norte 360° e nordeste 045° (Figura 9).



**Figura 9:** Ilustração de imagem produto do MDE Copernicus na área de estudo. Relevo Sombreado, colorizado (amplitude altimétrica 210 m a 448 m) azimute de iluminação 270° e 45° de inclinação. (A) Fator de exagero vertical = 1. (B) Fator de exagero vertical = 2.

Ainda na etapa pré-campo, o mapeamento foto interpretativo preliminar foi de suma importância para o conhecimento prévio da região. Através da sobreposição das fotografias aéreas 1:60.000 em ambiente SIG, foto-mosaico (georreferenciado por pontos homólogos) e imagens ópticas do Google Earth Pro, com exagero vertical de 3x, foram obtidos estereomodelos para ajudar na interpretação e delimitação das unidades aerogeológicas.

Os mapas das anomalias e padrões de drenagem foram gerados a partir da interpretação visual da BCRS-25 em fundo branco juntamente com as imagens do mapa base do ArcGIS PRO v2.8.8 para se obter mais confiabilidade no dado gerado

e extraído manualmente. O mapa de densidade de drenagem foi realizado a partir de processamentos, também em ambiente SIG, utilizando o método de densidade de Kernel (i.e unidade de medida  $\text{km}/\text{km}^2$ ).

#### **4.2.2 Dados de campo**

Os dados de campo foram obtidos com a finalidade de mapear a área de estudo na escala 1:500.000. Houve coleta de dados litológicos, estruturais, estratigráficos, texturais, registro de imagens dos afloramentos e feições geomorfológicas. Etapa de suma importância para o projeto devido à necessidade de corroborar as litologias e estruturas da região ainda não mapeadas, dando maior embasamento para o mapa geológico.

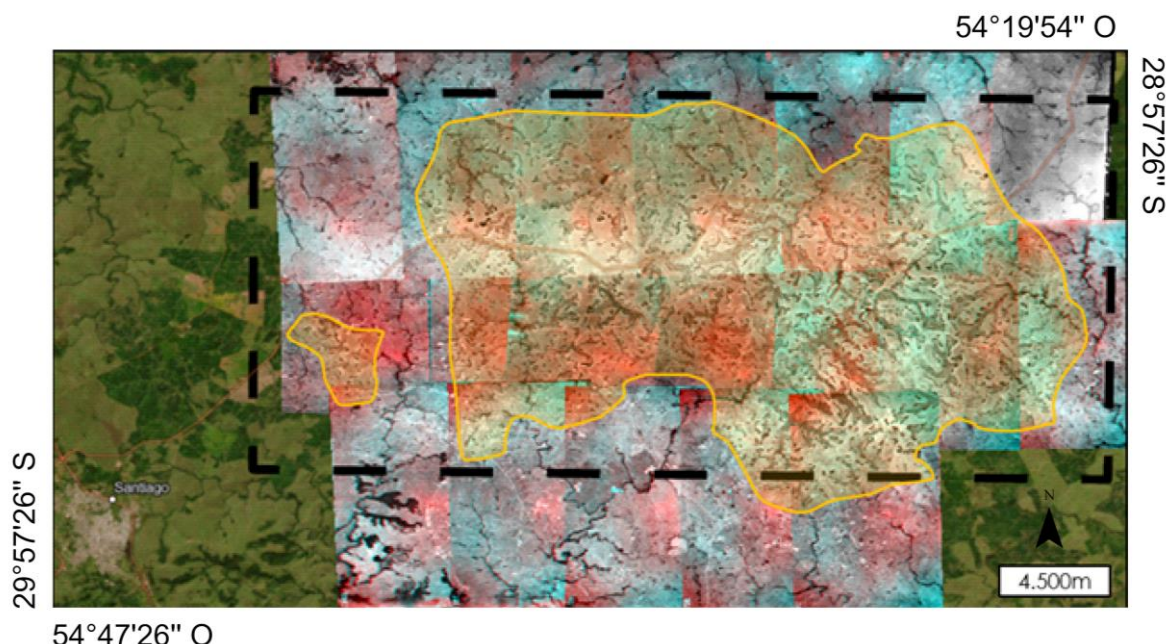
#### **4.2.3 Integração e mapeamento**

Após a coleta de dados de campo e do levantamento de dados digitais, foi feita a integração a partir da combinação de dados em ambiente SIG compilados e elaborados para a realização da análise do mapeamento geológico e morfoestrutural, que abrangem a área de pesquisa, e estudos referentes a Formação Tupanciretã.

## 5 RESULTADOS

### 5.1 Análise Litológica Foto-interpretativa

A partir da análise das 22 fotos aéreas da região e de imagens orbitais do Google Earth PRO, foram interpretados visualmente, utilizando como base principalmente a rugosidade do acentuada do relevo e feições erosivas do terreno, como depósitos sedimentares pertencente à Formação Tupanciretã (Figura 10), dois polígonos isolados, sendo a oeste de menor dimensão e a leste a porção mais expressiva. Também foi identificada uma porção mais ao sul extrapolando o limite do polígono de mapeamento.

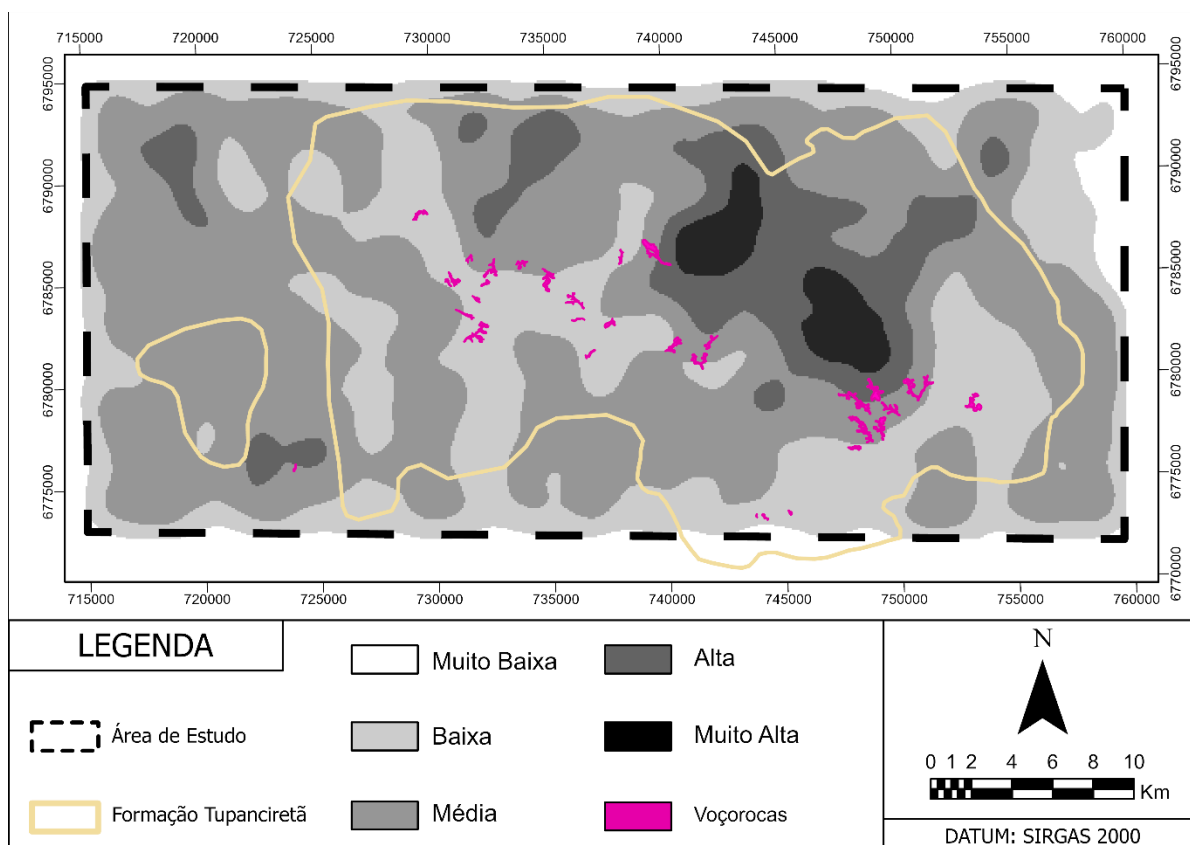


**Figura 10:** Produto foto-interpretativo da ocorrência espacial da Formação Tupanciretã. Polígono em amarelo resultante da análise foto-interpretativa da Formação Tupanciretã. Polígono tracejado preto representa a área de mapeamento à leste da sede de Santiago-RS. Imagem base ArcGIS PRO.

### 5.2 Análise da Rede de Drenagem

A análise da rede de drenagem indicou zonas heterogêneas de densidade de drenagem dentro da área de estudo (Figura 11), variando de baixa a muito alta (i.e valores entre 0,119km/km<sup>2</sup> a 0,228km/km<sup>2</sup> e 0,446km/km<sup>2</sup> a 0,555km/km<sup>2</sup>). O Grupo Serra Geral possui variação de densidade entre muito baixa, localizada somente na porção nordeste da área de estudo, a alta (i.e 0,009km/km<sup>2</sup> a 0,119km/km<sup>2</sup> e

0,334km/km<sup>2</sup> a 0,446km/km<sup>2</sup>), porém a densidade média (i.e 0,228km/km<sup>2</sup> a 0,337km/km<sup>2</sup>) é predominante nesta unidade geológica. Na Formação Tupanciretã, é observado uma variação de baixa a muito alta, localizada na porção mais central da área de estudo, porém há predominância das densidades baixas e médias, sendo as densidades altas e muito altas de ocorrência local. As voçorocas da área se encontram predominantemente nas densidades baixas e médias.

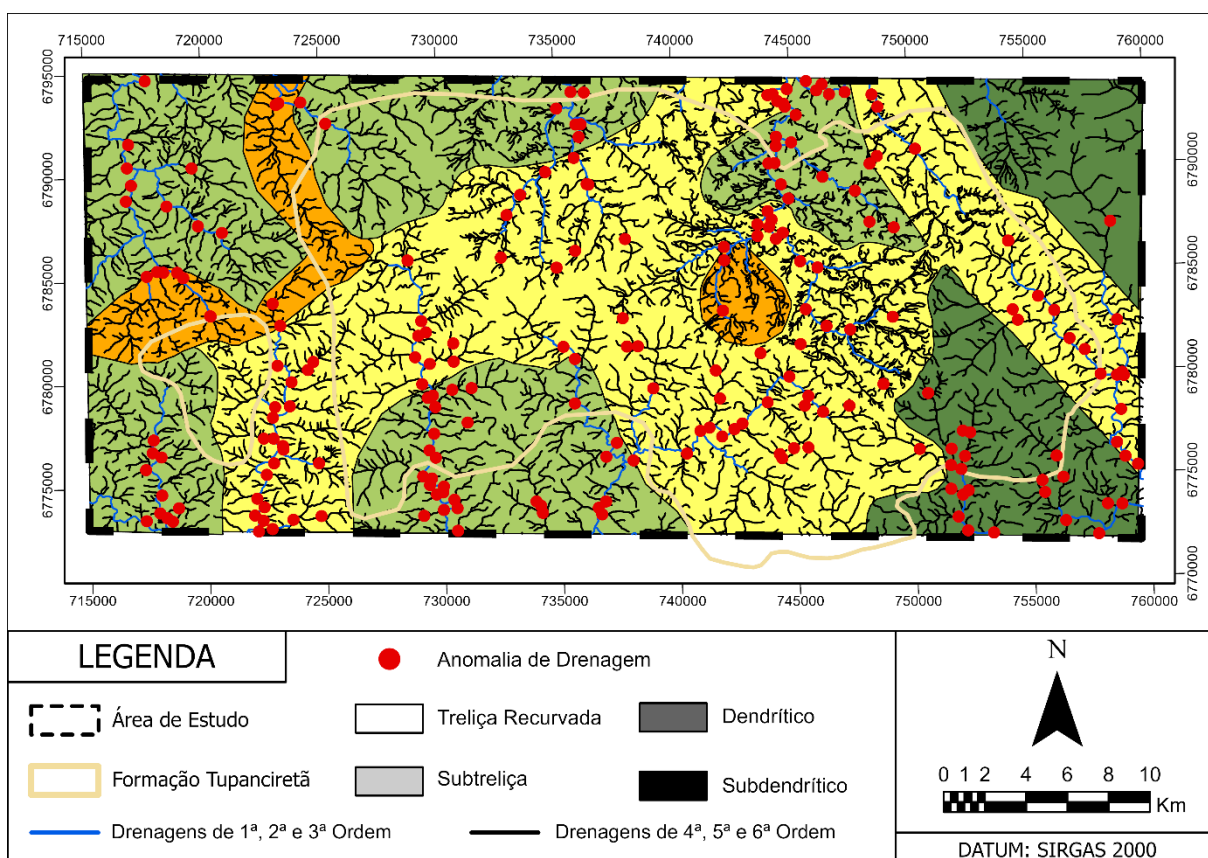


**Figura 11:** Mapa de densidade de drenagem na área de ocorrência da Formação Tupanciretã em Santiago-RS

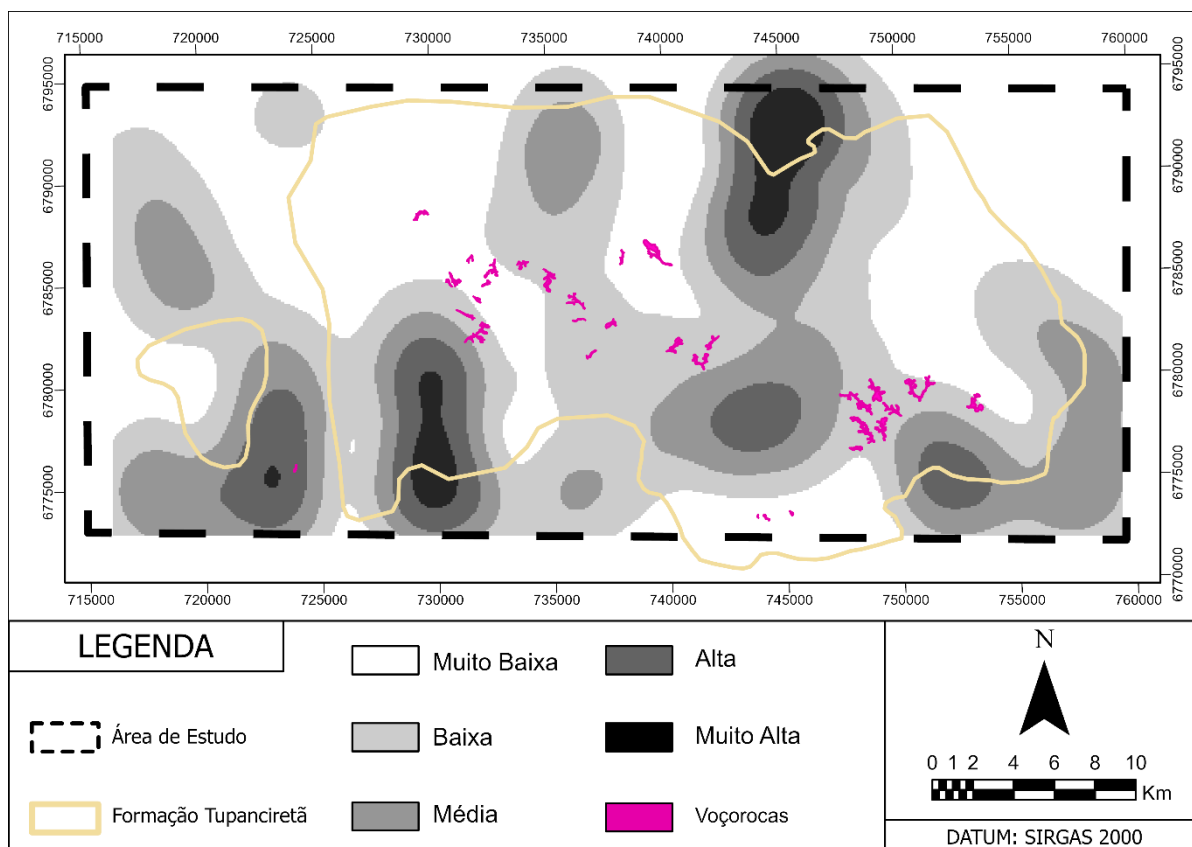
A interpretação qualitativa dos padrões de drenagem sugere 4 padrões (Figura 12), sendo eles: Dendrítico; subdendrítico; subtreliça e treliça recurvada. O padrão dendrítico foi observado somente na porção leste da área de estudo tanto na Formação Tupanciretã quanto no Grupo Serral Geral. O padrão subdendrítico foi observado na porção sul, norte e oeste da área de estudo, também ocorrendo nas duas unidades geológicas. O padrão subtreliça ocorre majoritariamente na porção central da área de estudo e o padrão treliça recurvada se encontra localizadamente na porção noroeste e central. A Formação Tupanciretã possui predominância do padrão subtreliça enquanto o Grupo Serra Geral do padrão subdendrítico.

A análise e interpretação visual da rede de drenagem em conjunto com as

imagens orbitais indicaram a presença de 220 anomalias de drenagem, sendo 103 de ocorrência na Formação Tupanciretã e 117 no Grupo Serra Geral. A maior parte das anomalias ocorrem principalmente nos canais principais (i.e drenagens de 4ª, 5ª e 6ª ordem) dos padrões de drenagem subtreliça e subdendrítico (Figura 12). A densidade das anomalias (Figura 13) variam de muito baixa a muito alta em ambas as unidades geológicas, porém nota-se que a grande maioria ocorre em zonas de contrastes litológicos.



**Figura 12:** Mapa de padrões e anomalias de drenagem na ocorrência da Formação Tupanciretã em Santiago-RS.



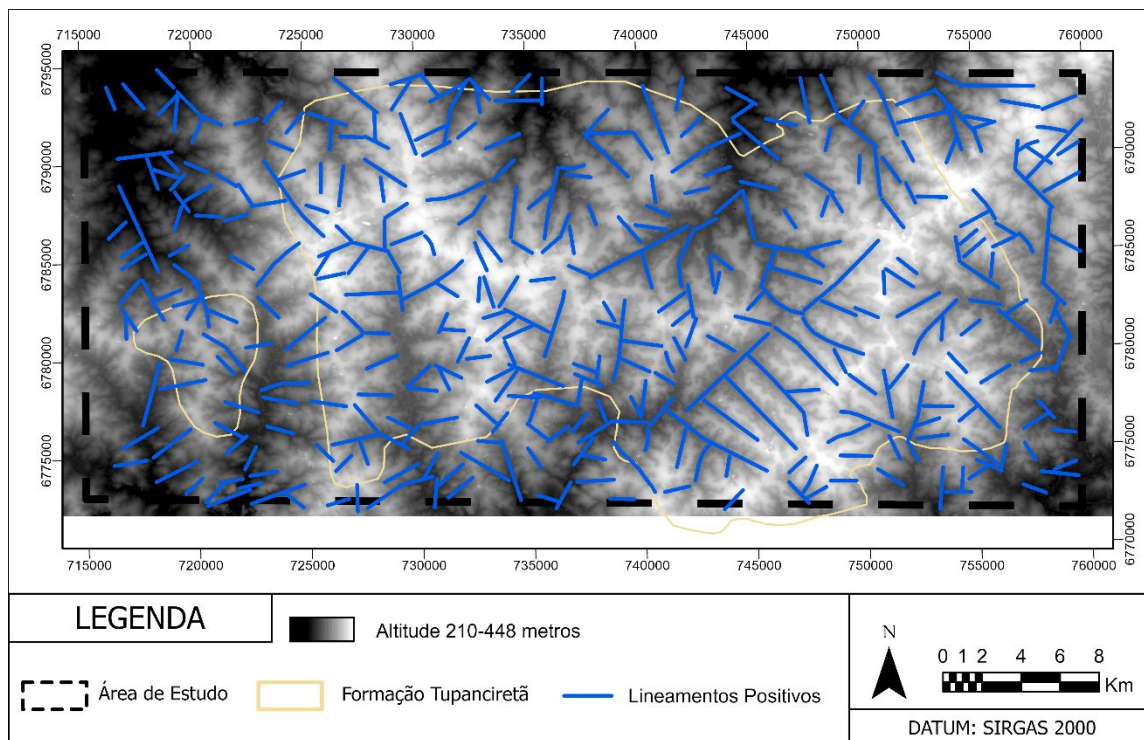
**Figura 13:** Densidade das anomalias de drenagem na área de ocorrência da Formação Tupanciretã.

### 5.3 Análise dos Lineamentos

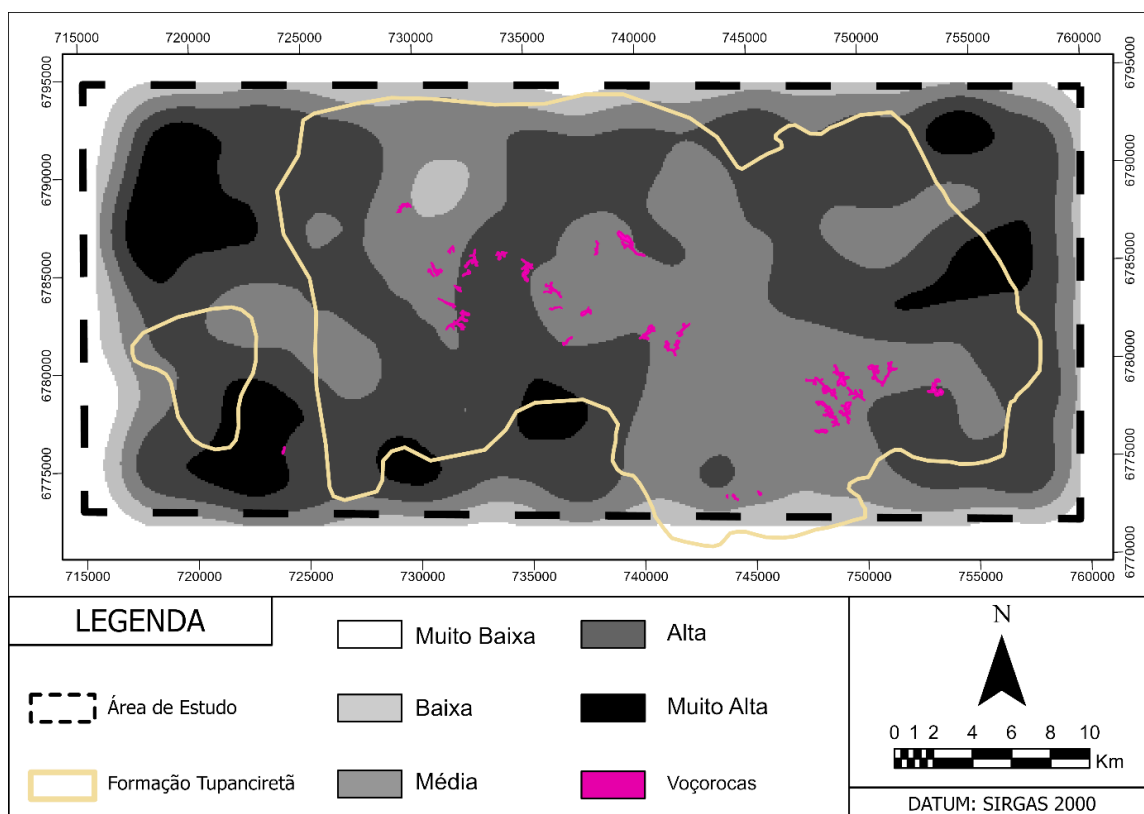
Os lineamentos morfoestruturais, representados nas Figuras 14 e 16, possuem dimensões variadas, chegando a 5,5km (foi utilizado como dimensão mínima lineamentos com 1km, tendo por base as inferências em trabalho de campo). A análise dos lineamentos constatou a heterogeneidade morfoestrutural da área de estudo, visualizados nas figuras 15 e 17. A densidade dos lineamentos negativos se encontra de forma variável entre as densidades muito baixa a muito alta na área de estudo. A densidade muito alta se concentra, majoritariamente, na zona onde estão as rochas do Grupo Serra Geral, enquanto na Formação Tupanciretã, assim como nas voçorocas, predominam as densidades média e alta (Figura 15). Já na análise da densidade dos lineamentos positivos, pode se observar que a heterogeneidade é maior, variando de muito baixa a muito alta. Áreas de altas concentrações dos lineamentos positivos são mais evidentes que nos lineamentos negativos. No Grupo Serra Geral, se concentram predominantemente as densidades muito baixas e baixas, enquanto na Formação Tupanciretã é expressivo o aumento na densidade, predominando a alta



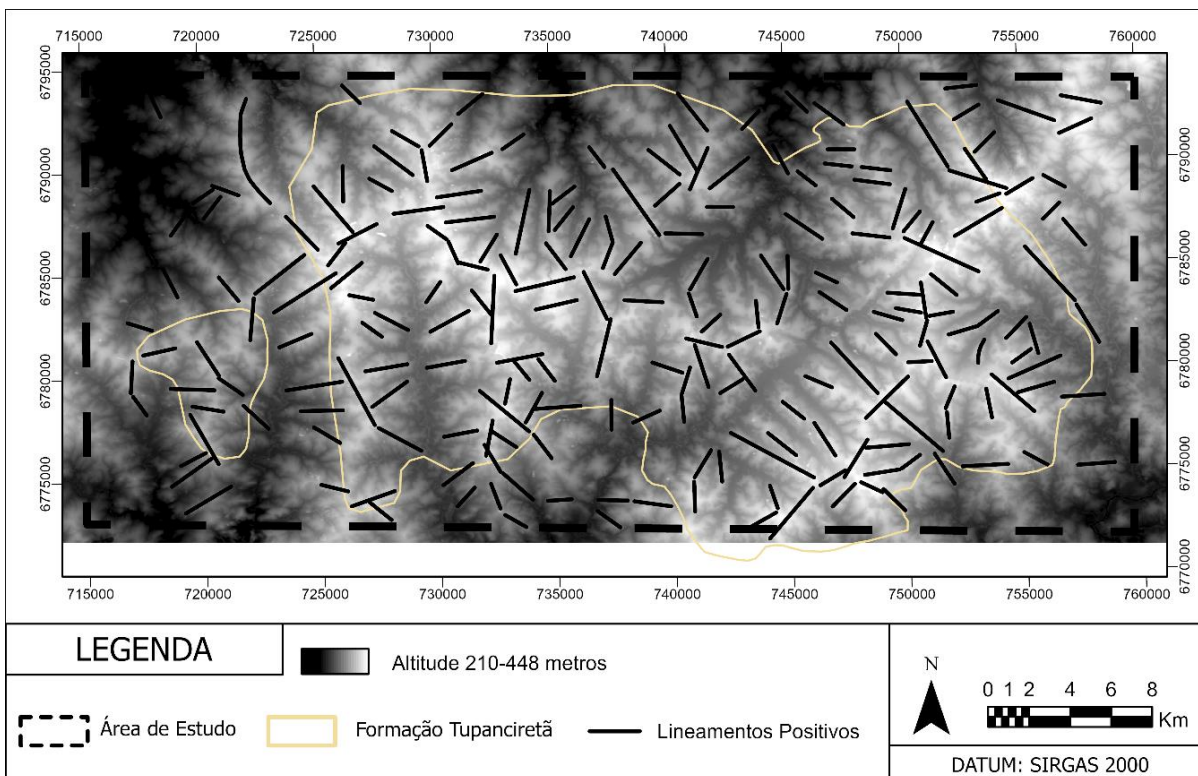
e muito alta onde há também maior ocorrência de voçorocas (Figura 17).



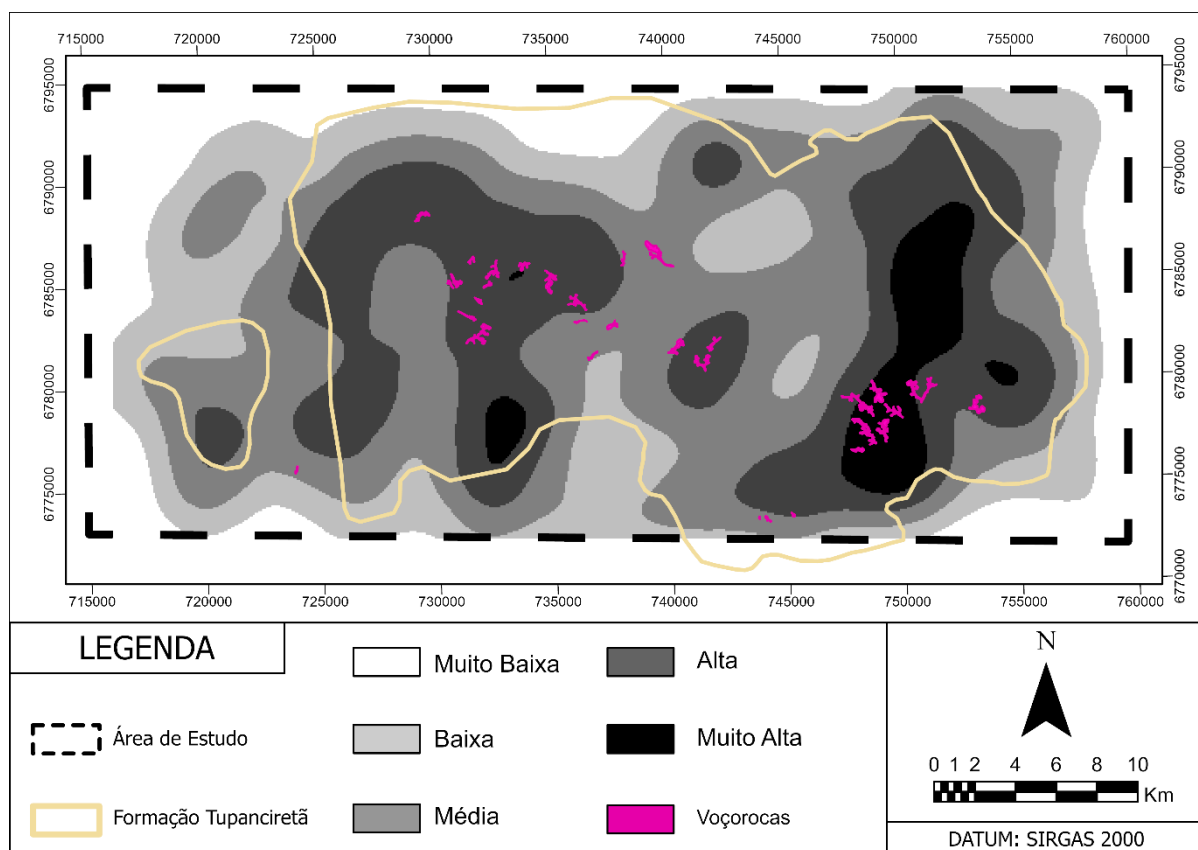
**Figura 14:** Traçado dos lineamentos negativos sobre MDE Copernicus em Santiago-RS. A poligonal amarela indica a área de ocorrência da Formação Tupanciretã estabelecida neste estudo.



**Figura 15:** Densidade de lineamentos negativos no polígono de mapeamento em Santiago-RS.

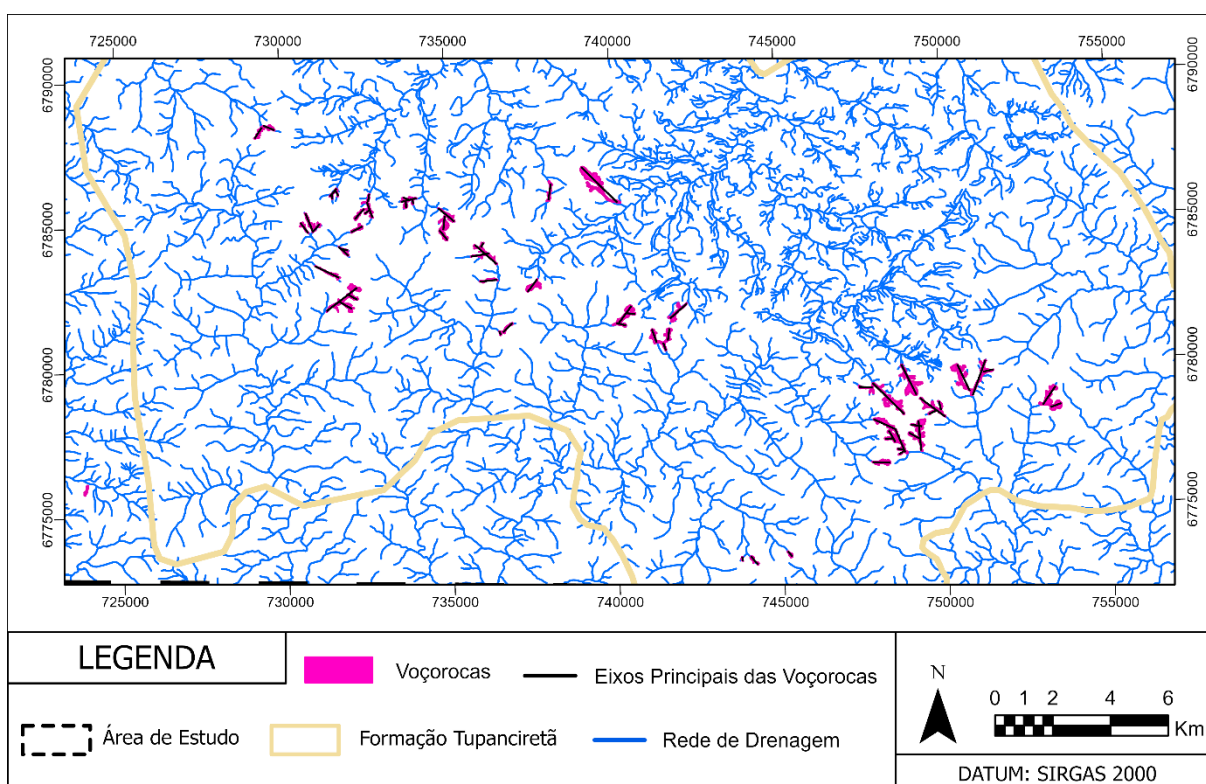


**Figura 16:** Traçado dos lineamentos positivos sobre MDE Copernicus em Santiago-RS. A poligonal amarela indica a área de ocorrência da Formação Tupanciretã estabelecida neste estudo.



**Figura 17:** Densidade de lineamentos positivos no polígono de mapeamento em Santiago-RS.

A partir da base vetorial dos lineamentos e dos eixos principais das voçorocas (Figura 18), foram extraídos 14 diagramas de rosetas, referentes a frequências absoluta e comprimento absoluto da área total e das unidades geológicas separadamente a partir de recorte dos vetores usando como referência o polígono da Formação Tupanciretã (figura 19).



**Figura 18:** Traçado dos eixos principais das voçorocas de ocorrência na área de estudo em Santiago-RS.

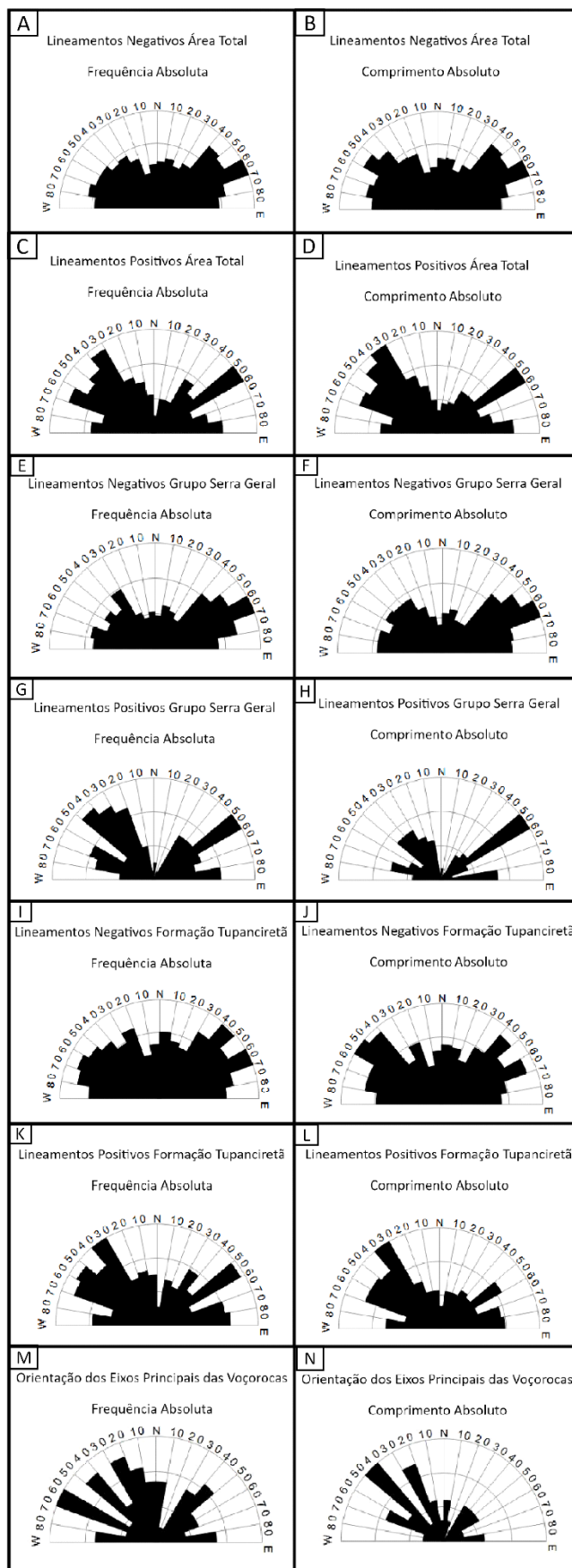
Para a área total (i.e Fm. Tupanciretã e Gp. Serra Geral), há predomínio de morfoestruturas negativas (i.e vales) de orientação NE-SW em frequência e comprimento, de forma secundária NW-SE e estruturas N-S incipientes (Figura 19A e 19B). Para as morfoestruturas positivas (i.e., colinas ou cristas) observa-se que as orientações preferenciais possuem direção NW-SE, tanto em comprimento quanto em frequência, e de forma secundária NE-SW (figuras 19C e 19D).

No Grupo Serra Geral, observa-se que os lineamentos negativos os diagramas de roseta para de frequência absoluta e comprimento absoluto são semelhantes, possuem orientação predominante na direção NE-SW, de maneira secundária NW-SE, E-W e lineamentos N-S ocorrem eventualmente (Figuras 19E e 19F). Já nos lineamentos positivos, há diferenças entre os diagramas de frequência absoluta e comprimento absoluto, principalmente pelos lineamentos de direção NW-SE onde

possuem baixas dimensões, porém são muitos frequentes. Em comprimento, predominam lineamentos positivos NE-SW e em frequência predominam NW-SW (Figuras 19G e 19H).

Na Formação Tupanciretã não ocorre uma orientação predominante dos lineamentos negativos em frequência absoluta (Figura 19I). Porém, é observado que comprimento absoluto, sensível à prevalência em termos de continuidade espacial, há predominância de duas direções, sendo elas NE-SW e NW-SE (Figura 19J), com destaque específico entre as direções  $300^{\circ}$ - $120^{\circ}$  e  $320^{\circ}$ - $140^{\circ}$ , em menor proporção estão os lineamentos negativos N-S e E-W. Nos lineamentos positivos (Figuras 19K e 19L), diferentemente dos negativos, há uma clara predominância da orientação NW-SE tanto para a frequência quanto para o comprimento, as direções NE-SW e E-W ocorrem em segundo plano e N-S pouco perceptíveis.

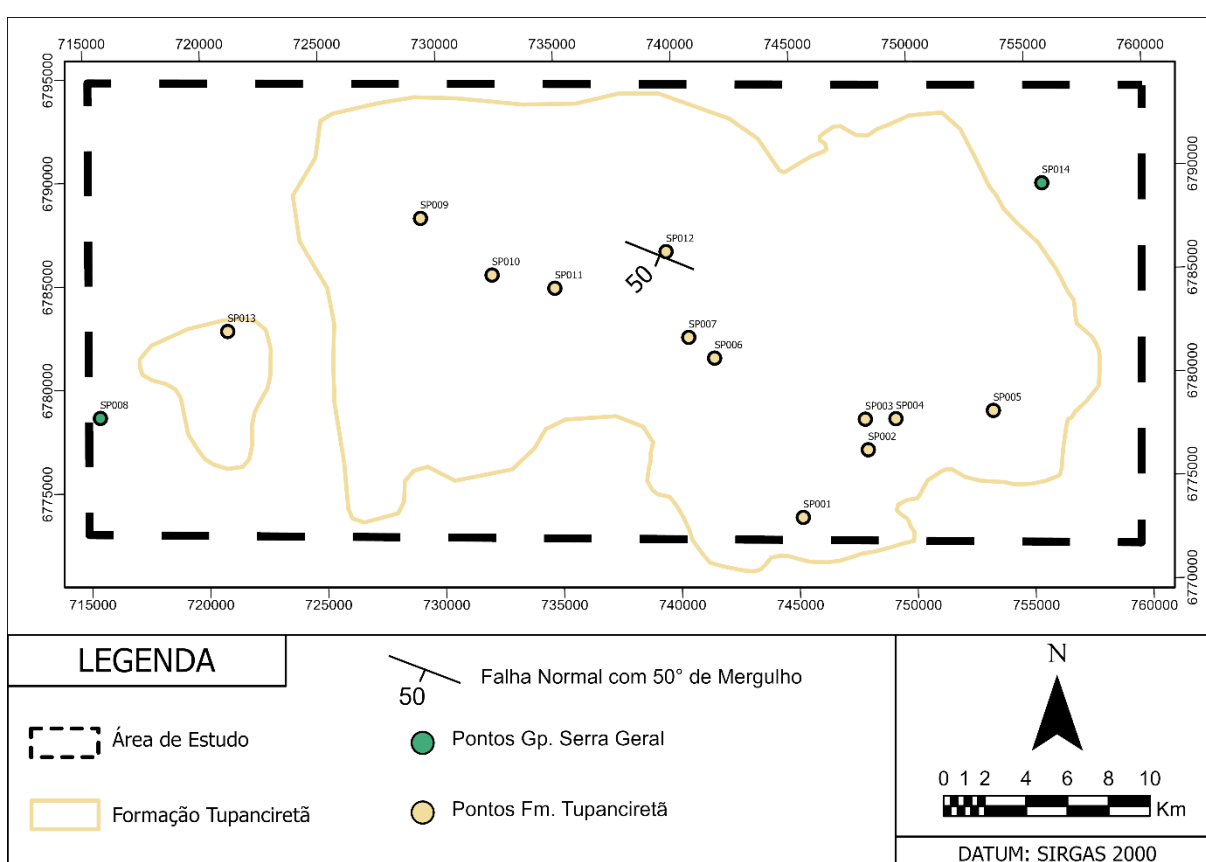
Por último, também foi traçado a orientação do eixo principal de evolução das voçorocas e extraído os diagramas de roseta (Figuras 19M e 19N). É explícito a prevalência dos eixos com orientação NW-SE, tanto em frequência quanto em tamanho. Também observa-se que existe uma frequência considerável de eixos das direções NE-SW, N-S e E-W, porém de pequeno porte.



**Figura 19:** Diagramas de roseta distinguindo lineamentos positivos e negativos, comprimento absoluto e frequência absoluta, para a área total, unidades geológicas e orientação principal do eixo das voçorocas.

## 5.4 Trabalho de Campo

Os resultados abaixo são decorrentes das análises realizadas a partir da integração entre interpretações de fotografias aéreas, imagens de sensoriamento remoto orbital e do trabalho de campo realizado entre os dias 19-22 de setembro de 2023. Foram registrados 14 pontos, onde 2 em áreas de ocorrência superficial do Grupo Serra Geral (i.e., pontos SP008 e SP014) e 12 em áreas de ocorrência superficial da Formação Tupanciretã (i.e., pontos SP001, SP002, SP003, SP004, SP005, SP006, SP007, SP009, SP010, SP011, SP012 e SP013) (Figura 20).



**Figura 20:** Localização dos pontos registrados no trabalho de campo na área de ocorrência da Formação Tupanciretã em Santiago-RS

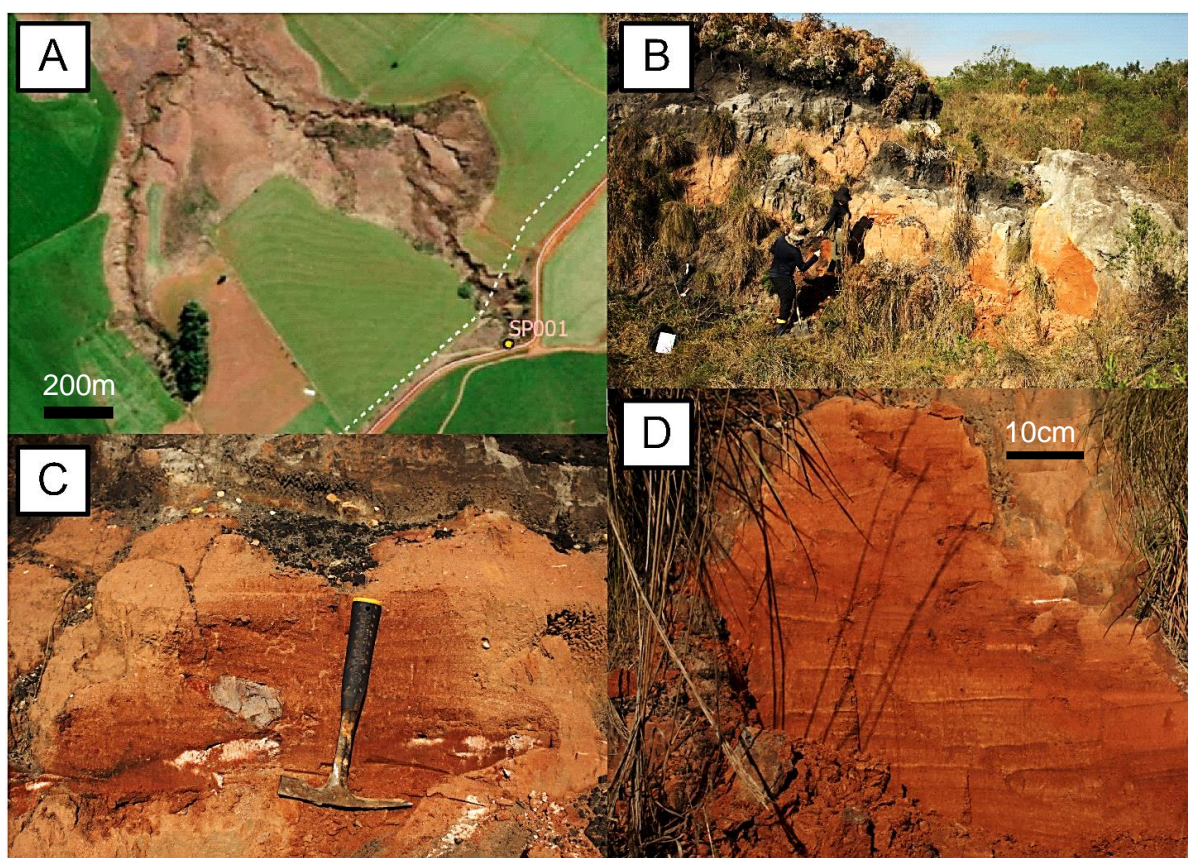
### Ponto 1: SP001 – Fm. Tupanciretã

Coordenadas UTM: 745.248mE; 6.773.294mN – Fuso 21S

Elevação: 363 m

Descrição: Afloramento em voçoroca com 5 m de comprimento e 2,5 m de altura. Composto majoritariamente por depósitos arenosos não consolidados de granulometria fina a média, bem selecionada, subarredondada, média esfericidade, com estratificação cruzada de difícil caracterização (possivelmente acanalada) e de

mineralogia predominante de Quartzo e Feldspato. Ocorrem de forma esparsa, porém mais localizados na porção oeste e central do afloramento, seixos subarredondados de coloração cinza claro (provavelmente riodacitos intemperizados) e intraclastos de argilomineral esbranquiçado (provavelmente níveis caulinizados). Topo do afloramento composto por solo orgânico e a superfície irregular entre o material arenoso e o solo é marcada por nível de grânulos (Figura 21). Espalhadamente, há ocorrências de concreções ferruginosas espalhadas ao longo da voçoroca.



**Figura 21:** Ponto de ocorrência de afloramento do tipo voçoroca – SP001. (A) Imagem orbital da voçoroca. (B) Foto geral do afloramento. (C) Depósito arenoso não consolidado com estratificação cruzada, seixos de rochas vulcânicas acinzentados e intraclastos de argila branca. (D) Estratificação cruzada possivelmente acanalada e colapsada.

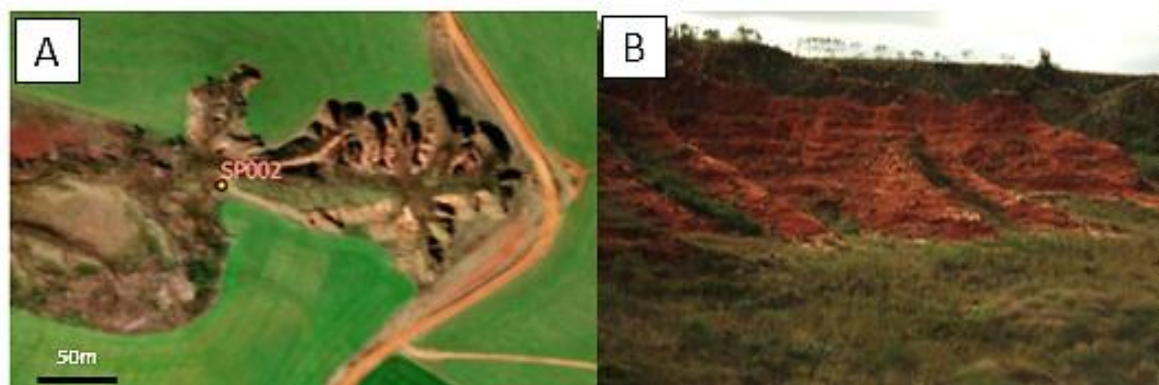
### Ponto 2: SP002 – Fm. Tupanciretã

Coordenadas UTM: 743.027mE; 6.776.450Mn – Fuso 21S

Elevação: 386 m

Descrição: Voçoroca de grande porte (Figura 22) com 535 metros de comprimento do eixo maior de orientação E-W e em torno de 20m de profundidade com grandes paredões expostos, porém a vegetação em conjunto com o lençol freático aflorante

impossibilitou o acesso.



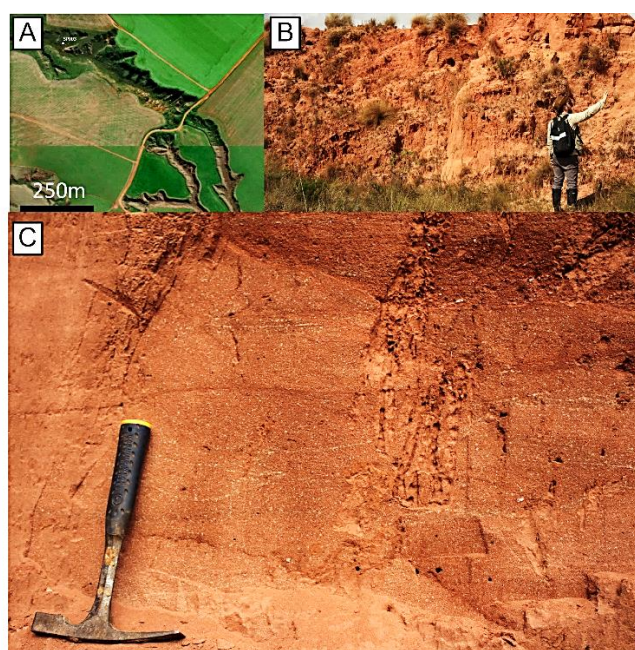
**Figura 22:** Ponto de ocorrência de afloramento do tipo voçoroca – SP002. (A) Imagem Orbital revelando as erosões. (B) Registro das feições expostas.

### Ponto 3: SP003 – Fm. Tupanciretã

Coordenadas UTM: 747.935mE; 6.777.931mN – Fuso 21S

Elevação: 373 m

Descrição: Afloramento do tipo corte de voçoroca, porção registrada possui 2 metros de altura e 1,5 metros de comprimento. Depósito arenoso não consolidado fino a médio, de coloração avermelhada, composto majoritariamente por grãos de Quartzo subarredondados, esfericidade moderada e bem selecionados. Superfície muito friável com estratificação cruzada (provavelmente acanalada, difícil de definir) (Figura 23). Concreções ferruginosas ocorrem esparsadamente na voçoroca. Em algumas porções foram identificados fragmentos subangulosos a angulosos até 2cm.





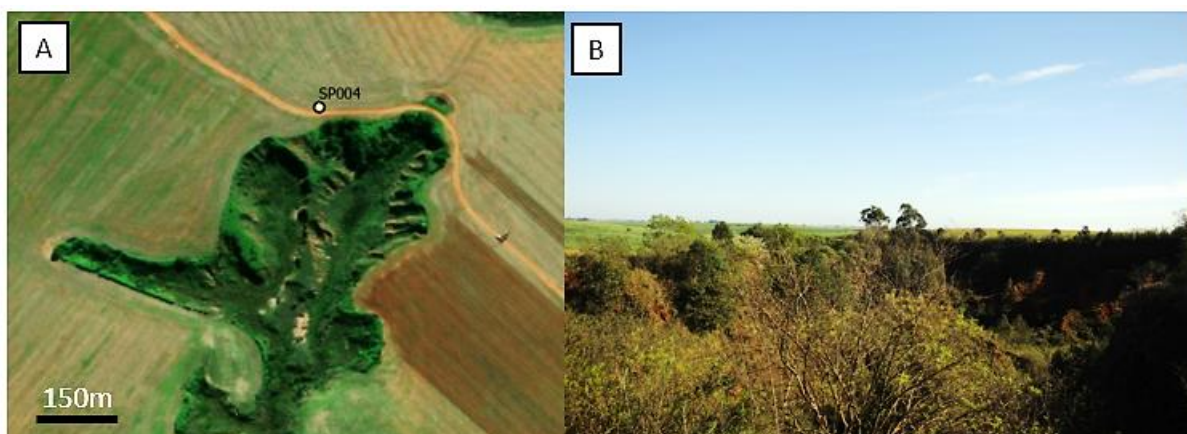
**Figura 23:** Ponto de ocorrência de afloramento do tipo voçoroca – SP003. (A) Imagem orbital da voçoroca, porção superior mostra imagem de dezembro de 2023 e a porção inferior (onde está a escala gráfica) imagens disponibilizadas anteriormente a realização deste trabalho de campo. (B) Imagem ilustrativa do tipo de afloramento. (C) Material arenoso não consolidado.

#### **Ponto 4: SP004 – Fm. Tupanciretã**

Coordenadas UTM: 749.230mE; 6.777.930mN – Fuso 21S

Elevação: 404 m

Descrição: Voçoroca de grande porte (Figura 24) com 1000 metros de comprimento do eixo maior de direção N-S e em torno de 15 m de profundidade. A voçoroca se encontra extremamente vegetada tanto na base quanto nos paredões, impossibilitando o acesso.



**Figura 24:** Ponto de ocorrência de afloramento do tipo voçoroca – SP004. (A) Imagem orbital da voçoroca. (B) Registro da voçoroca em campo.

#### **Ponto 5: SP005 – Fm. Tupanciretã**

Coordenadas UTM: 753.379mE; 6.778.242mN – Fuso 21S

Elevação: 379 m

Descrição: Voçoroca de grande porte (Figura 25) com 300 metros de comprimento do eixo maior de direção E-W e em torno de 30 m de profundidade. A voçoroca se encontra extremamente vegetada na base com paredões moderadamente expostos, além de várias caixas de abelhas para produção de mel pelos proprietários circundando a entrada da voçoroca, impossibilitando o acesso nas áreas internas pela base.



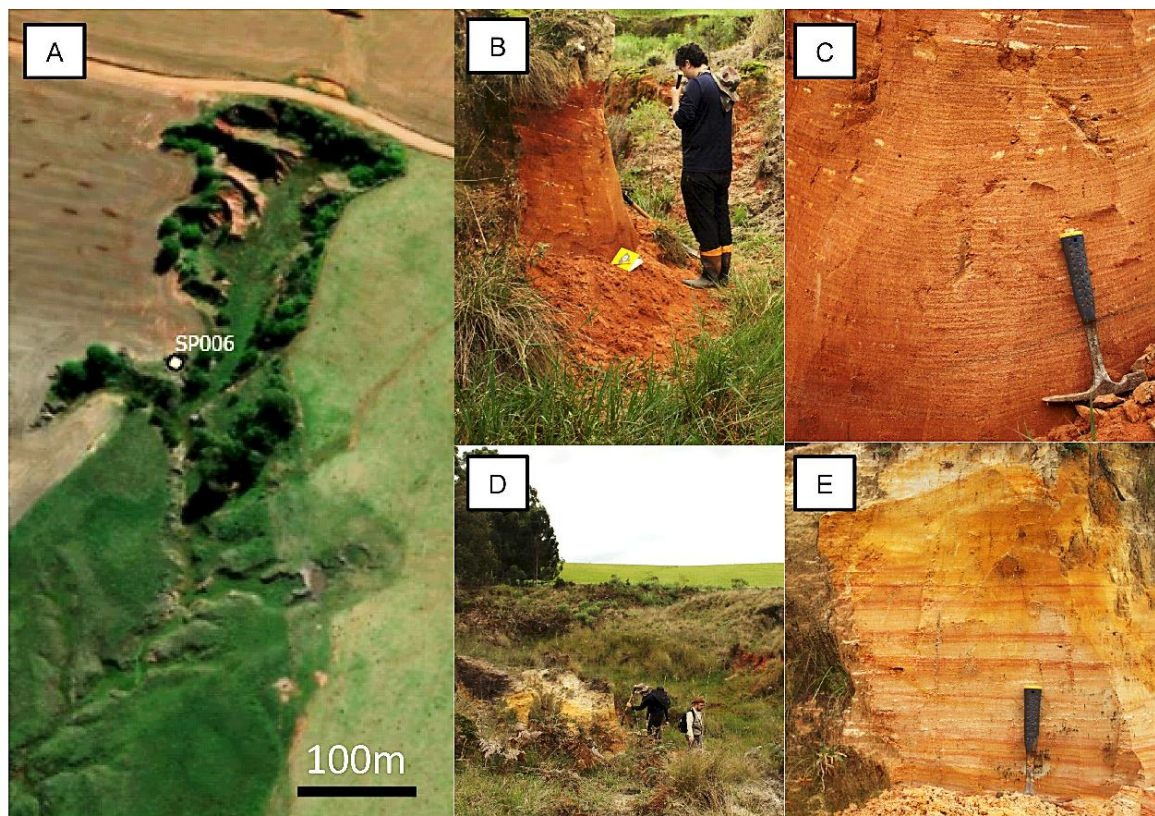
**Figura 25:** Ponto de ocorrência de afloramento do tipo voçoroca – SP005. (A) Imagem orbital da voçoroca. (B) Registro da voçoroca em campo.

#### **Ponto 6: SP006 – Fm. Tupanciretã**

Coordenadas UTM: 741.603mE; 6.781.020mN – Fuso 21S

Elevação: 367 m

Descrição: Afloramento do tipo corte de voçoroca (Figura 26A), com dimensões de 1,5 metros de altura e 1 metro de comprimento. Depósito arenoso não consolidado de cor avermelhada, fino a médio, subarredondado a subanguloso, moderadamente selecionado e com estratificação cruzada planar composto predominantemente por Quartzo (Figuras 26B e 26C). Possui lâmina milimétrica de óxido de Manganês (reação com peróxido de hidrogênio). 50 metros a sul foi observado afloramento com 1 metro de altura e 0,5 metros de comprimento, de cor amarelada-alaranjada no topo e intercalações entre branco e vermelho na porção basal e central, composto por material arenoso de características semelhantes porém com estratificação horizontalizada provavelmente plano-paralela (Figura 26D e 26E).



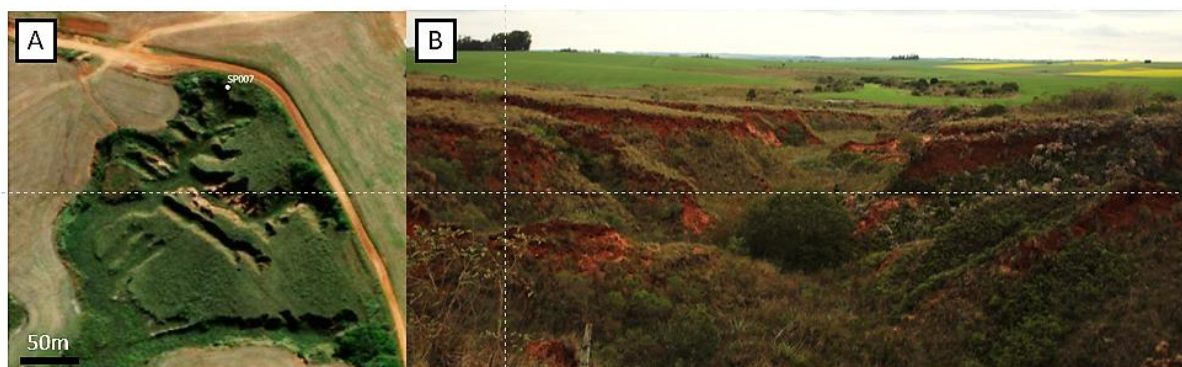
**Figura 26:** Ponto de ocorrência de afloramento do tipo voçoroca – SP006. (A) Imagem orbital da voçoroca SP006. (B) Visão geral do afloramento. (C) Depósito arenoso não consolidado com estratificação cruzada planar e fina lâmina com óxido de manganês em preto na parte de traz do martelo. (D) Visão geral do afloramento ao sul da voçoroca. (E) Estratificação horizontalizada.

#### **Ponto 7: SP007 – Fm. Tupanciretã**

Coordenadas UTM: 740.524mE; 6.782.042mN – Fuso 21S

Elevação: 379 m

Descrição: Voçoroca de grande porte (Figura 27) com 200 metros de comprimento do eixo maior de direção NE-SW e em torno de 15 metros de profundidade. A voçoroca se encontra extremamente vegetada na base e nas paredes.



**Figura 27:** Ponto de ocorrência de afloramento do tipo voçoroca – SP007. (A) Imagem orbital

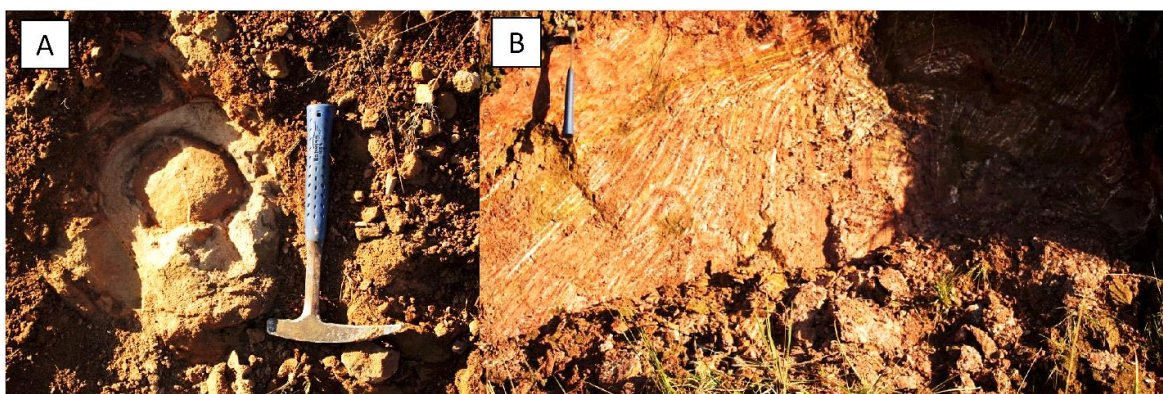
da voçoroca. (B) Registro de campo da voçoroca.

**Ponto 8: SP008 – Gp. Serra Geral**

Coordenadas: 715.481mE; 6.778.623mN – Fuso 21S

Elevação: 330 m

Descrição: Afloramento do tipo corte de estrada, muito alterado porém com estruturas de fluxo ainda perceptíveis (Figura 28B). 20 metros a sul, ao sul da BR-377, há ocorrência de rochas de cor cinza claro com foliação esferoidal preservando o núcleo (Figura 28A). Rocha equigranular fina a muito fina com mineralogia predominante de Quartzo e Feldspato (provavelmente plagioclásio pela cor esbranquiçada, porém não é visível maclas através lupa de mão), classificação de campo – Riodacito (amostra SP008-1).



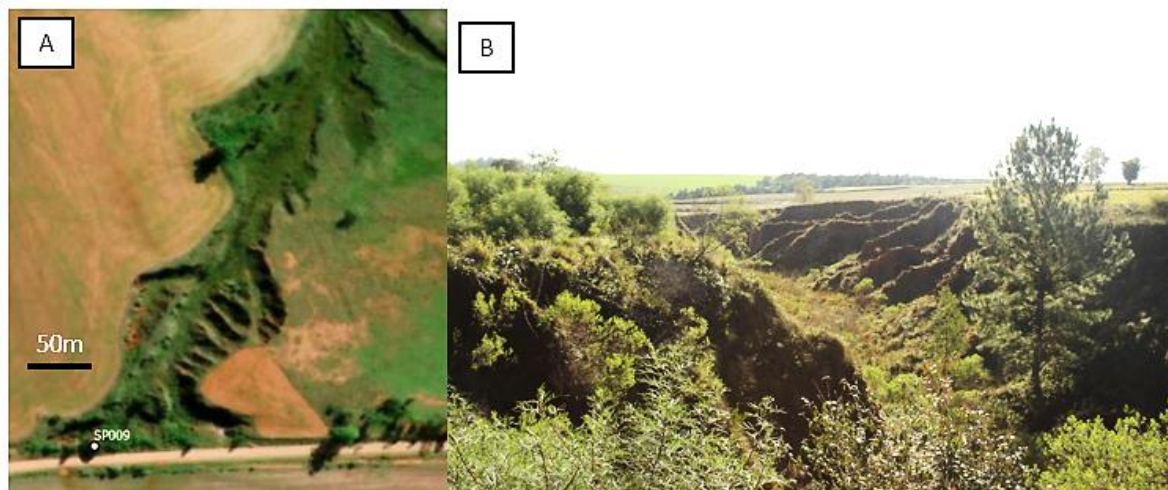
**Figura 28:** Ponto de ocorrência de afloramento em corte de estrada – SP008. (A) Rocha vulcânica com foliação esferoidal. (B) Corte de estrada mostrando estrutura de fluxo ígneo e formando dobra na porção direita da figura.

**Ponto 9: SP009 – Fm. Tupanciretã**

Coordenadas UTM: 729.251mE; 6.788.031mN – Fuso 21S

Elevação: 397 m

Descrição: Voçoroca de grande porte (Figura 29) com 500 metros de comprimento do eixo maior de direção NE-SW e em torno de 20 metros de profundidade. A voçoroca se encontra extremamente vegetada na base e nas paredes.



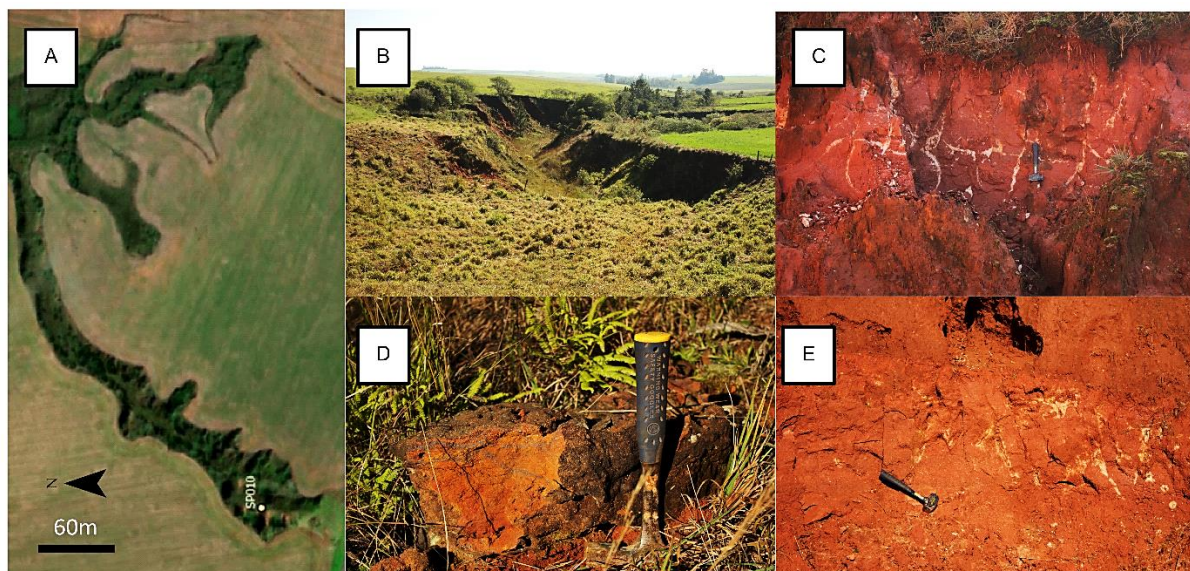
**Figura 29:** Ponto de ocorrência de afloramento do tipo voçoroca – SP009. (A) Imagem orbital da voçoroca. (B) Registro de campo da voçoroca.

#### **Ponto 10: SP010 – Fm. Tupanciretã**

Coordenadas UTM: 732.236mE; 6.785.232mN – Fuso 21S

Elevação: 393 m

Descrição: Afloramento do tipo corte de voçoroca, muito alterado, sua base é composta por 1,5 metros de depósitos arenosos não consolidados quartzosos avermelhado fino a médio, moderadamente selecionado, baixa esfericidade e não foram observadas estratificações, ocorrem grânulos de até 2 centímetros de forma esparsa, porém sem confirmação de que estava *in situ*. No topo há uma camada espessa de argila vermelha (em torno de 50 cm de altura) e com porções esbranquiçadas, possíveis alterações dos argilominerais devido a presença de raízes (Figura 30C e 30E). Na porção sul da voçoroca ocorrem diversas concreções ferruginosas de textura botroidal (figura 30D - Amostra 010). A voçoroca foi nomeada neste estudo como “Barroca do Mathias” devido a conversas com o proprietário.



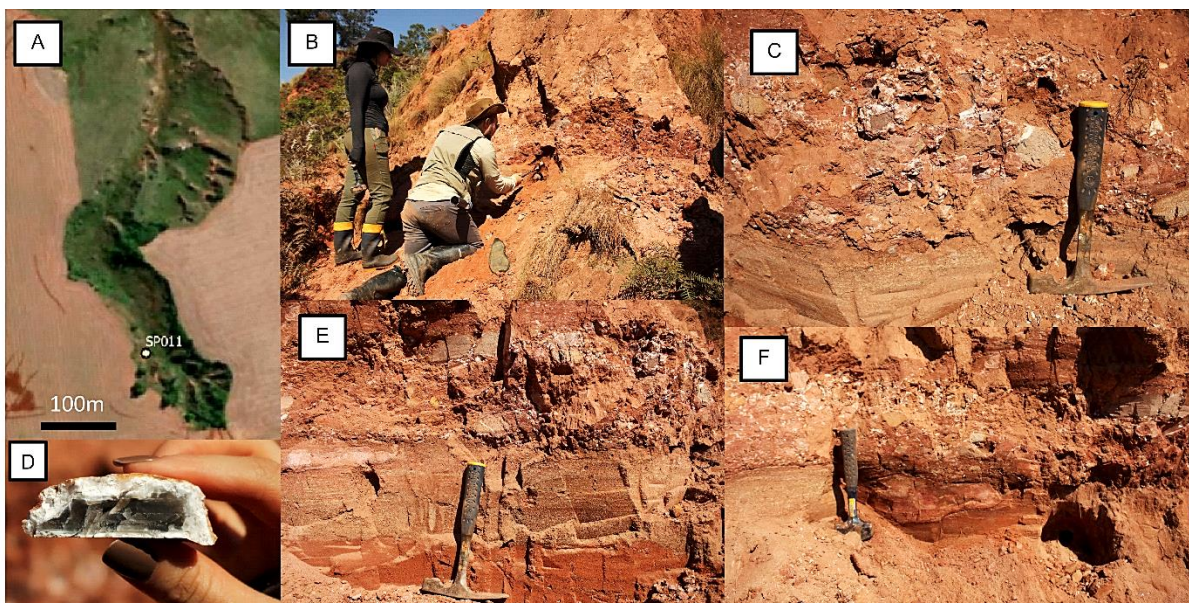
**Figura 30:** Ponto de ocorrência de afloramento do tipo voçoroca – SP010 (A) Imagem orbital da voçoroca SP010 (Barroca do Mathias). (B) Registro em campo da voçoroca. (C) Corte ao norte da camada com 50 centímetro de espessura de argila vermelha com linhas de embranquecimento. (D) Exemplo de concreção ferruginosa. (E) Corte sul da camada de argila no topo e material arenoso não consolidado na base.

#### **Ponto 11: SP011 – Fm. Tupanciretã**

Coordenadas UTM: 734.895mE; 6.784.534mN – Fuso 21S

Elevação: 388 m

Descrição: Afloramento do tipo corte de voçoroca com em torno de 50 cm de altura e 1,5 m de comprimento (Figura 31B), muito alterado, com mistura de cores entre vermelha, branco e cinza. Porção basal e intermediária composta por 2 camadas distintas de depósitos arenosos não consolidados sendo a camada basal de cor amarronada e a intermediária roseada e topo por camada conglomerática (Figura 31E). Camada basal composta por material arenoso (Quartzto e Feldspato) amarronado sem estratificação aparente, grãos médios e matriz-suportado por material lamoso. Enquanto o intermediário possui estratificação horizontalizada (provavelmente plano-paralela), moderadamente selecionado, fino a médio e baixa esfericidade. Topo é constituído por paraconglomerado (sem laminação na matriz) com clastos que variam de subangulosos a arredondados, podendo chegar até 20 centímetros de comprimento, compostos em sua maioria de rochas vulcânicas acinzentadas (possivelmente riodacitos como encontrado no ponto SP008) e alguns geodos de sílica (exemplo, Figura 31D). A matriz da camada conglomerática é composta por material esbranquiçado contornando os clastos e material lamoso amarronado/avermelhado (Figura 31C e 31E).



**Figura 31:** Ponto de ocorrência de afloramento do tipo voçoroca – SP011. (A) Imagem orbital da voçoroca. (B) Visão geral do afloramento e amostragem para análise de Luminescência Opticamente Estimulada (LOE). (C) Clastos vulcânicos envolvidos por material esbranquiçado. (D) Geodo de sílica criptocristalina. (E) Três camadas distintas do afloramento, base composta por depósito areno-argiloso não consolidado, centro composto por material arenoso não consolidado e topo material conglomerático matriz suportado. (F) Visão mais ampla da camada conglomerática.

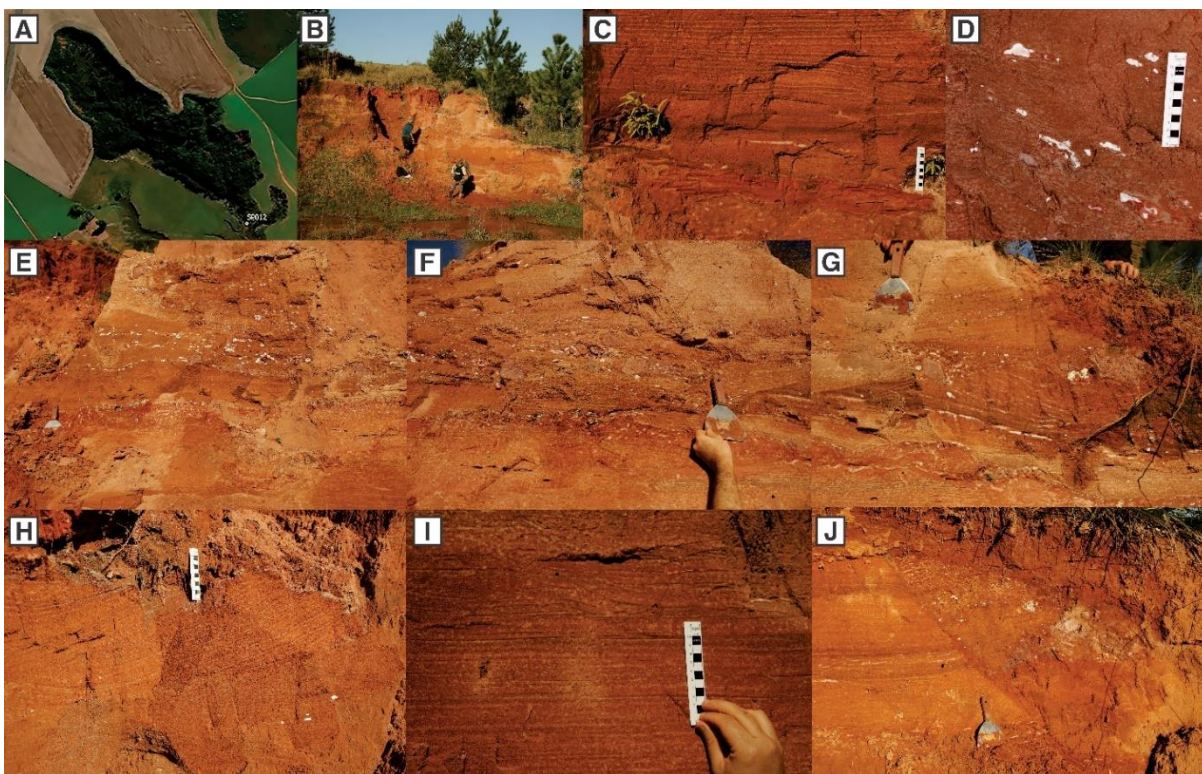
### **Ponto 12: SP012 – Fm. Tupanciretã**

Coordenadas UTM: 739.649mE; 6.786.209Mn – Fuso 21S

Elevação: 338 m

Descrição: Localizado na “Barroca do Cipó” (Figura 32A), é um afloramento do tipo margem de rio dentro da voçoroca (Figura 32B) e possui em torno de 20 metros de extensão e 4 metros de altura. Na base, porção central do afloramento, possui 10 centímetros de camada lamosa avermelhada (Figura 32C), sobreposta por 1 metro de depósito arenoso, bem selecionado, tamanho médio, não consolidado, com estratificação cruzada de baixo ângulo (provável acanalada de pequeno a médio) gerando intercalações de cores laranja, marrom, vermelho e branco (Figuras 32C e 32H). Possui superfícies com estratificações colapsadas na porção leste da camada (Figura 32I). Em direção ao topo ocorre uma camada de 25 centímetros de areia fina com coloração mais avermelhada com níveis esbranquiçados (ambos de material arenoso), com estruturas de deformação em sedimento inconsolidado (Figuras 32E, 32F e 32G). As camadas superiores somadas chegam a 1 metro e são compostas, respectivamente (da base para o topo): Depósito arenoso fino a médio mal selecionado com estratificação cruzada planar e superfície erosiva na base e no topo da camada; depósito arenoso sublítico matriz suportado, com fragmentos de rocha

vulcânica acinzentada que chegam até 15 centímetros e 3 níveis de preferenciais de intraclastos de argila branca (Figuras 32D, 32E e 32F). Na porção leste é observado uma falha normal, de rejeito superior a 20 centímetros, com 50° de inclinação de mergulho com sentido de mergulho para 220° (Figura 32J).



**Figura 32:** Ponto de ocorrência de afloramento do tipo voçoroca – SP012. (A) Imagem da voçora “Barroca do Cipó”. (B) Visão geral do afloramento. (C) Base composta por camada lamosa (abaixo da escala) e material arenoso horizontalmente estratificado sobreposto. (D) Material arenoso com níveis de intraclastos de argila branca. (E) Vista da porção leste do afloramento com clastos no topo, intraclastos no meio e material arenoso estratificado ao longo de todo afloramento. (F) Porção central, intermediária ao topo do afloramento onde há maior ocorrência de clastos acinzentados envoltos por matriz arenosa (matriz suportado). (G) Porção oeste intermediária do afloramento com estratificação cruzada, grânulos em matriz arenosa e estruturas de deformação em sedimento incosolidado na parte inferior esquerda da imagem. (H) Estratificação cruzada acanalada de pequeno porte. (I) Estratificação colapsada por sobrecarga ou possíveis microfalhas. (J) Falha normal com mais de 20 centímetros de rejeito.

### **Ponto 13: SP013 – Fm. Tupanciretã**

Coordenadas UTM: 720.966mE; 6.782.717mN – Fuso 21S

Elevação: 343 m

Descrição: Afloramento em corte de estrada, ao sul da BR-377, possui 40 centímetros de altura e 30 centímetros de comprimento, se encontra muito alterado, porém é identificável clastos compostos de rochas vulcânicas de 1 a 10 cm, subarredondados, acinzentados a amarronados, em matriz lamosa (não foi observado laminação na



matriz) sendo então classificado como paraconglomerado (Figura 33). Porção branca pode ter sido gerada por ação biogênica.



**Figura 33:** Ponto de ocorrência de afloramento do tipo corte de estrada – SP013. Imagem do afloramento composto por paraconglomerado.

**Ponto 14: SP014 – Gp. Serra Geral**

Coordenadas UTM: 755.678mE; 7.789.195mN – Fuso 21S

Elevação: 400 m

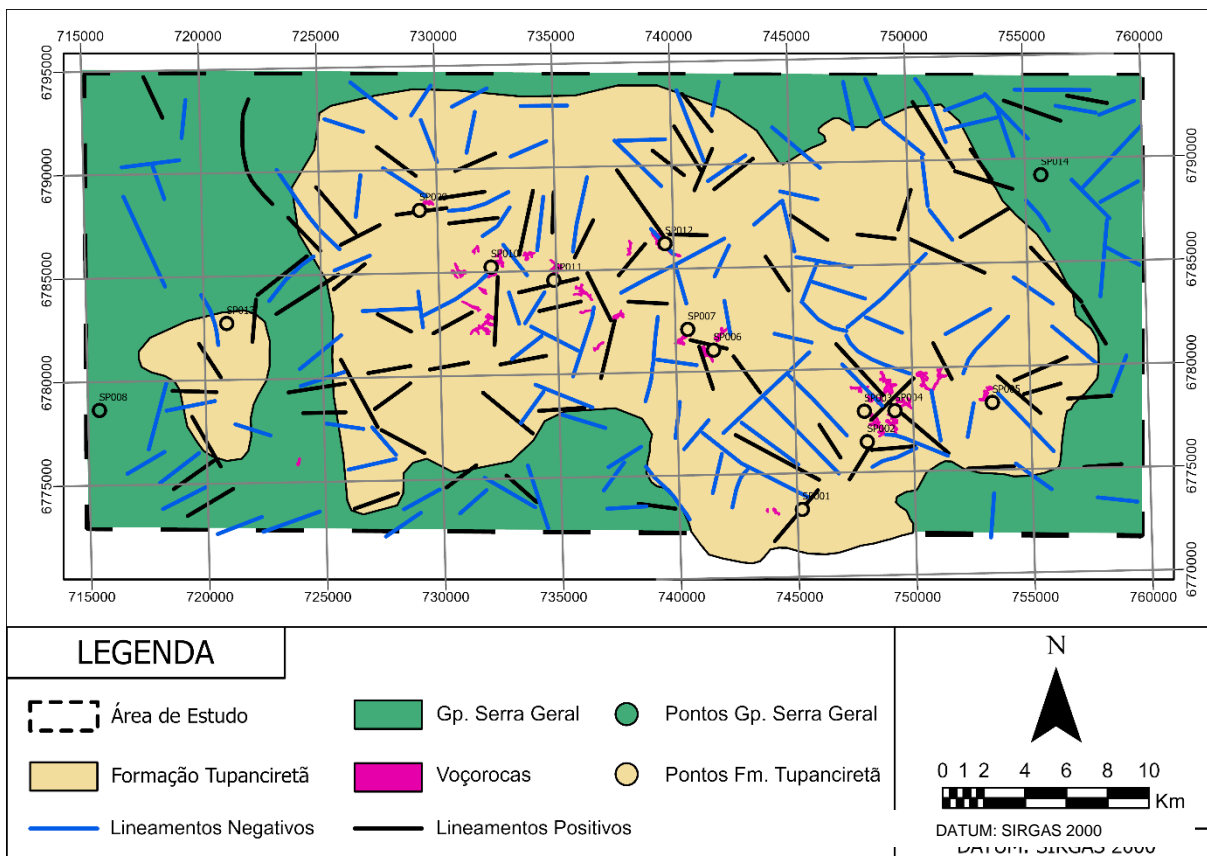
Descrição: Afloramento em corte de Estrada, ao norte da BR-377, possui em torno de 60 centímetros de comprimento e 40 centímetros de altura, se encontra extremamente alterado, sem estratificações ou feições que remetem a rocha sedimentar (Figura 34). Provável rocha vulcânica.



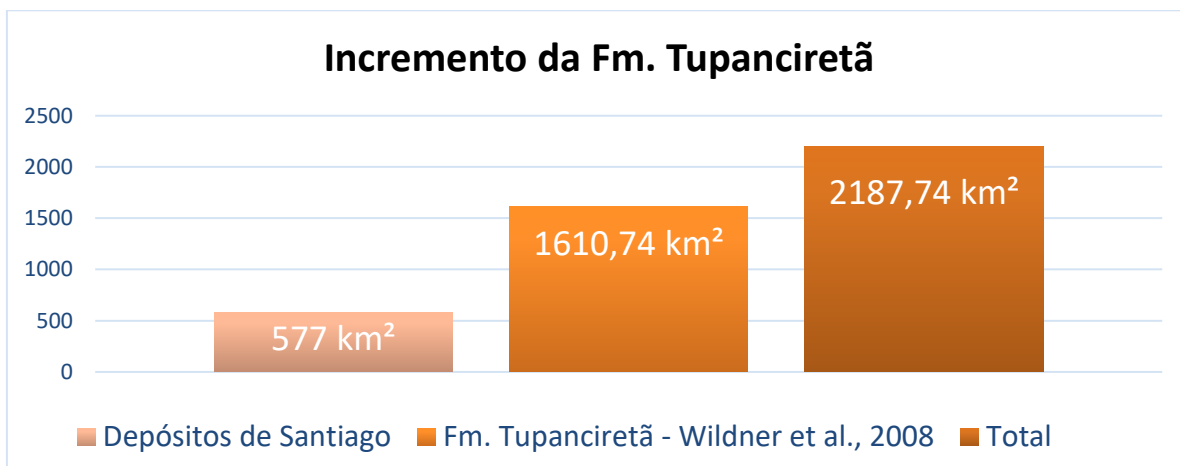
**Figura 34:** Ponto de ocorrência de afloramento do tipo corte de estrada – SP014.

### **5.5 Integração Sensoriamento Remoto e Dados *In Situ***

Unindo os dados de sensoriamento e de campo, houve a extensão do polígono menor da unidade da Formação Tupanciretã para nordeste a partir do ponto SP013. Foi então elaborado um produto cartográfico sobrepondo as unidades geológicas, lineamentos (com mais de 1,6 km de extensão) positivos e negativos e as voçorocas da área de estudo (Figura 35). Dessa forma, em termos quantitativos, este trabalho indica que a área de ocorrência da Formação Tupanciretã entre as sedes dos municípios de Santiago e Capão do Cipó é de aproximadamente 577 km<sup>2</sup>, isso representa 59,53 % do polígono de mapeamento a qual possui uma área de 981 km<sup>2</sup>, enquanto o Grupo Serra Geral possui 404 km<sup>2</sup> sendo estes em torno de 40,47 % da área total. O gráfico abaixo indica o incremento de 577 km<sup>2</sup> da Formação Tupanciretã realizado neste trabalho (nomeado na tabela como depósitos de Santiago), o que representa um acréscimo de 35,8 % da ocorrência desta unidade geológica em comparação com a área mapeada, segundo o mapa geológico oficial do Rio Grande do Sul, de 1610,74 km<sup>2</sup>. Ao somar ambas as ocorrências (i.e depósitos sedimentares de Santiago + Wildner et al., 2008) chega-se ao total de 2187,74 km<sup>2</sup> da Formação Tupanciretã mapeada no Estado do RS (Gráfico 1).

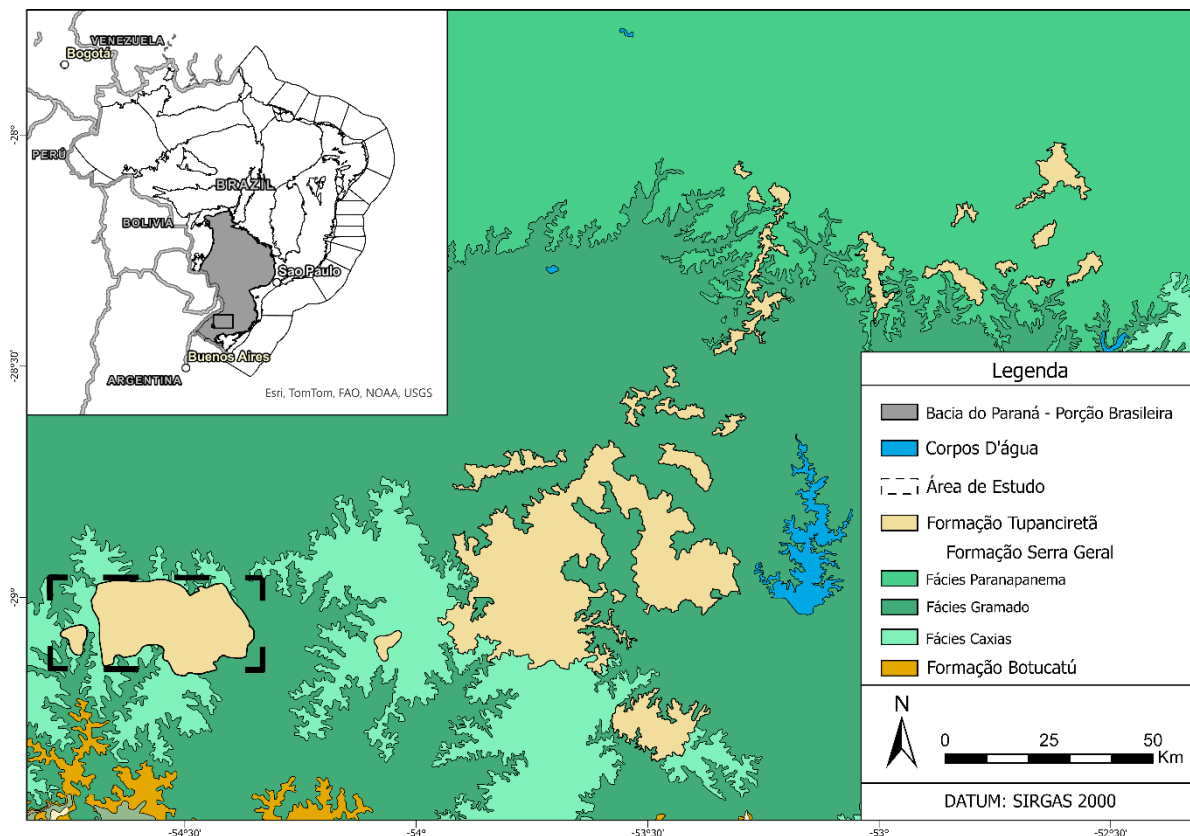


**Figura 35:** Geologia da área de estudo em Santiago-RS.

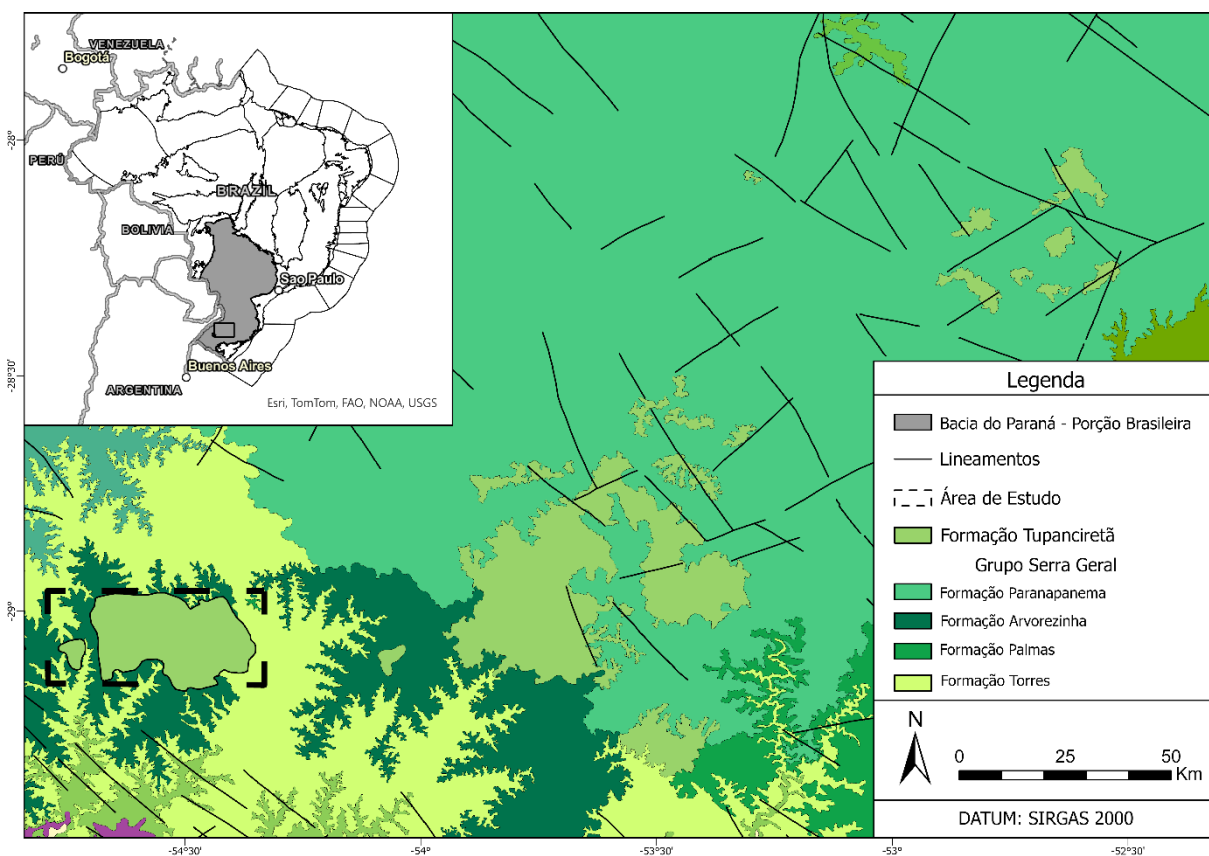


**Gráfico 1:** Incremento do mapeamento da ocorrência espacial da Formação Tupanciretã realizado neste trabalho em Santiago-RS.

De forma qualitativa, é observado o incremento espacial da Formação Tupanciretã a oeste das principais ocorrências registradas, a partir da sobreposição dos polígonos mapeados neste trabalho sobre os mapas Geológico do RS – 2008 (Figura 36) e Geológico da Bacia do Paraná – 2022 (Figura 37). A porção centro-leste da área de estudo representa o segundo maior polígono contínuo mapeado para esta unidade geológica.

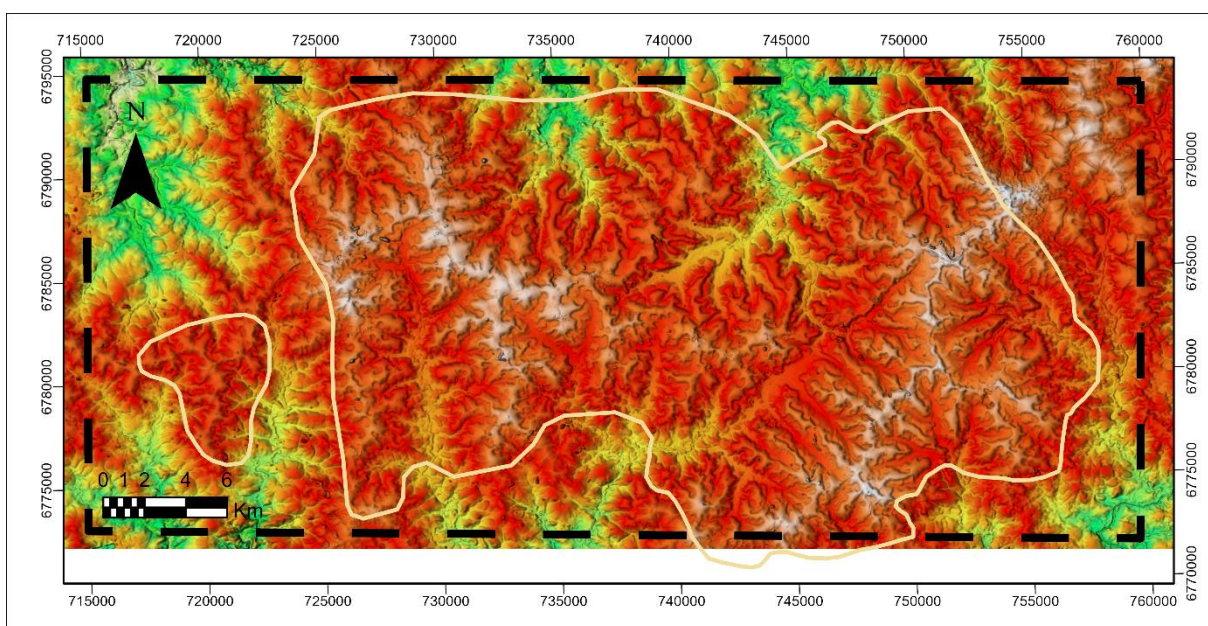


**Figura 36:** Incremento do mapeamento em Santiago-RS sobreposto ao mapa geológico do RS (Modificado de Wildner et al., 2008).



**Figura 37:** Incremento do mapeamento em Santiago-RS sobreposto ao mapa da Bacia do Paraná 2022 (Modificado de Horn et al., 2022).

Analisando as imagens processadas do MDE Copernicus juntamente com a realização do trabalho de campo, observou-se que a maior parte da Formação Tupanciretã se concentra em altos topográficos, entre 338 metros (cota mais baixa registrada no ponto SP012) e 404 metros (cota mais alta registrada no ponto SP004), de relevo suavemente ondulado na forma de coxilhas/colinas com grandes feições erosivas (Figura 38).



**Figura 38:** Polígonos da Formação Tupanciretã sobrepostos a imagem em *Shaded Relief* colorizada multidirecional processada a partir do MDE Copernicus.

## **6 DISCUSSÃO**

### **6.1 Eficiência na Etapa Pré-campo**

Os resultados deste trabalho comprovam a eficácia dos métodos aplicados para a área de estudo. A análise e interpretação visual das fotografias aéreas, método que abrange um conjunto de técnicas consolidadas a partir da área de Fotogeologia/Aerogeologia, se mostrou eficiente para a delimitação das unidades geológicas (i.e Formação Tupanciretã e Grupo Serra Geral) na área de estudo, devido ao contraste de texturas que a mesma proporciona para litologias distintas. Destacam-se as características dos padrões gerais do relevo, de feições erosivas e de cobertura vegetal, permitindo uma boa discriminação da espacialização da Formação Tupanciretã anteriormente à execução do trabalho de campo e permitindo melhor planejamento para a realização desta etapa. Importante fator que pode ter contribuído e que estimulou o uso das fotos aéreas, é o fato de que na década de 1960, quando as fotografias aéreas foram obtidas, esta área possuía poucas alterações expressivas no mosaico de uso da terra, marcado basicamente pelo uso do campo para pecuária extensiva, com manutenção da cobertura vegetal campestre. Essa condição conserva as características texturais de relevo e drenagem nas fotografias, que em imagens orbitais atuais é bastante prejudicada pelo efeito do avanço de lavouras de diferentes dimensões e culturas, que alteram e prejudicam a visualização dos elementos texturais de fotogeologia e, conseqüentemente, podem prejudicar a fotointerpretação.

### **6.2 Evidências de Influência Tectônica**

#### **6.2.1 Interpretação da Rede de Drenagem**

A análise da rede de drenagem indicou a possibilidade de existência de processos tectônicos na evolução das litologias devido a grande quantidade de feições anômalas de drenagem assim como os padrões de drenagem identificados para ambas as litologias. As anomalias de drenagem mais comuns, encontradas a partir da interpretação visual das imagens da rede de drenagem, foram anomalias em cotovelo ortogonais (i.e., formando ângulos de 90°) e subortogonais, podendo estar relacionadas à atividade tectônica, porém não exclusivamente, deslocando a orientação do canal. O mapa de identificações de padrões e anomalias de drenagem

(figura 12) demonstra que as mesmas são mais evidentes nos canais principais (i.e., 4ª, 5ª e 6ª ordem) que em seus tributários (i.e., 1ª, 2ª e 3ª ordem), possivelmente pela inconclusão das feições de pequeno porte se elas são de fato anomalias ou feições resultantes da morfologia natural do canal fluvial. Também é observado, a partir do mapa de densidade de anomalias de drenagem (figura 13) que há maior concentração das anomalias de drenagem em canais onde ocorrem transições litológicas entre os depósitos sedimentares da Formação Tupanciretã e as rochas vulcânicas do Grupo Serra Geral, não sendo o fator tectônico a única explicação possível, embora não descartável. Verifica-se também diferenças na quantidade de anomalias para ambas as unidades geológicas já que apesar da maior área de ocorrência dos depósitos sedimentares, há predominância das anomalias em regiões delimitadas como rochas vulcânicas. As feições anômalas também ressaltam contrapontos morfoestruturais entre as litologias, onde na Formação Tupanciretã as anomalias ocorrem de forma esparsa ao longo dos polígonos, enquanto no Grupo Serra Geral estas são mais concentradas em determinadas regiões. A maior quantidade de anomalias de drenagem sobre litologias do Grupo Serra Geral faz sentido a partir de um raciocínio cronológico de eventos visto que estas litologias tiveram maior exposição a eventos tectônicos em relação aos depósitos sedimentares sobrejacentes da Fm. Tupanciretã. Ao mesmo tempo que, as anomalias sobre a Fm. Tupanciretã indicam que estes depósitos também podem ter sido expostos a eventos tectônicos relevantes responsáveis pela existência das feições anômalas nos cursos d'água.

Os padrões de drenagem subtreliça, treliça recurvada e subdendrítico, identificados em ambas as litologias e para a maior parte da área de estudo, são indicativos de áreas afetadas por atividade tectônica (HOWARD, 1967), orientando preferencialmente e retilineamente tanto canais principais quanto canais tributários, mesmo que descontinuamente, a partir da adaptação dos rios às estruturas geológicas. Essas características do arranjo da rede de drenagem também é verificado nas ocorrências da Formação Tupanciretã à leste da área de estudo deste trabalho (REIS, 2020; MARIN, 2022).

A densidade de drenagem não gerou indicativos de estruturas geológicas para a área de estudo, porém a mesma contribui de maneira mais eficaz para diferenciações do substrato litológico. Curiosamente, apesar da Formação Tupanciretã possuir um substrato relativamente homogêneo e de facilitada infiltração, predominando uma baixa densidade de drenagem, ocorrem zonas de maior

concentração de canais fluviais (i.e., densidades muito altas), isso pode acontecer pela presença de camadas mais lamosas, diminuindo a percolação e infiltração da água ou também por menor ocorrência de estruturas geológicas nestas zonas, ou maior ocorrência no restante da área. Entretanto, analisando as densidades dos lineamentos e os pontos realizados no trabalho de campo, não foi verificada essa relação, levando a hipótese da não adequada representação da rede de drenagens BCRS25 especificamente para canais de 1ª ordem para zonas de densidade de drenagem muito alta. Incompatibilidades na utilização desse dado de rede de drenagem de 1ª ordem também foram verificadas por Mexias *et al.* (2023) a partir da análise de qualidade de mapeamento da rede de drenagem da BCRS25 tendo por referência imagens de alta resolução espacial do satélite CBERS4A-WPM. Exceto nestas condições supracitadas, a rede de drenagem forneceu informações adequadas e úteis para análise.

### **6.2.2 Interpretação Morfoestrutural por Lineamentos**

A presença de atividade tectônica na área de estudo também é sugerida pela visualização de lineamentos de pequeno porte, limitando-se a 5,5 km de comprimento absoluto, que apesar das pequenas dimensões são abundantes. A heterogeneidade nas densidades tanto nos lineamentos negativos quanto nos positivos pode dar indícios de distinta evolução temporal geológica-geomorfológica entre as unidades geológicas. A expressiva densidade dos lineamentos negativos no Grupo Serra Geral, apesar de compor uma área menor dentro do polígono estudado, pode ser explicada pelo maior tempo de exposição desta unidade aos eventos tectônicos, possivelmente, relacionados a reativações desde o cretáceo inferior. Dessa forma, as menores densidade de lineamentos ocorrem na Formação Tupanciretã devido ao menor registro de episódio tectônicos, é mais condizente com a hipótese que esta seria então uma unidade mais recente do que o Grupo Serra Geral, contrapondo alguns estudos recentes (RICCOMINI *et al.*, 2016; HORN *et al.*, 2022; RUPPEL *et al.*, 2023) e corroborando outros (p.e., REIS *et al.*, 2022). Por outro lado, existe a argumentação de que essas estruturas não estariam tão bem preservadas devido ao caráter erosivo e perda ou minimização das feições de registro nesta Formação.

Em contrapartida, a Formação Tupanciretã possui uma densidade muito maior de lineamentos positivos, fato que pode ser explicado pela topografia elevada na



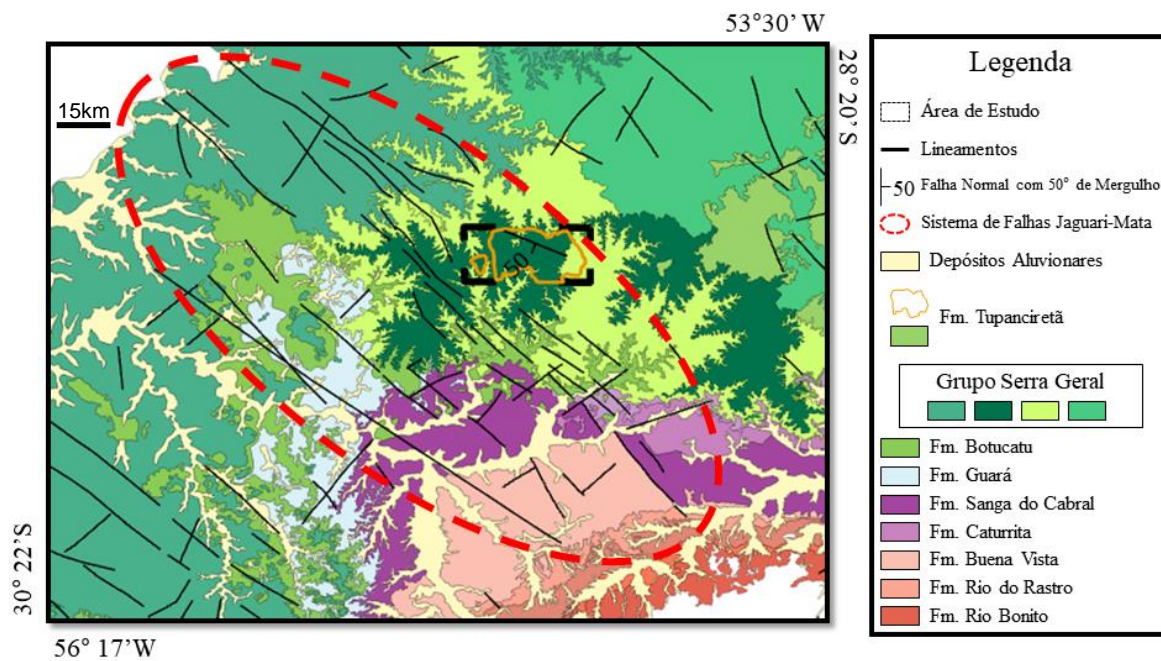
forma de colinas, diferentemente do Serra Geral que possui uma morfologia mais suavizada.

O *trend* morfoestrutural NE-SW ocorre com certa semelhança nos lineamentos negativos para ambas as unidades geológicas, porém é mais evidente nas rochas do Grupo Serra Geral para área de estudo, fato também observado por outros autores em outras localidades do Planalto Meridional do RS (NUMMER *et al.*, 2014; TOMASI, ROISEMBERG, 2019; REIS *et al.*, 2022). Essa orientação preferencial pode ser relacionada a reativações de estruturas dúcteis impressas nas rochas pré-cambrianas espacializadas em cinturões brasileiros (Figura 39) (ZALÁN *et al.*, 1991, PHILLIPP *et al.*, 2014) os quais compõem o embasamento da Bacia do Paraná e que tiveram episódios de reativações, pelo menos, até o Cretáceo inferior.

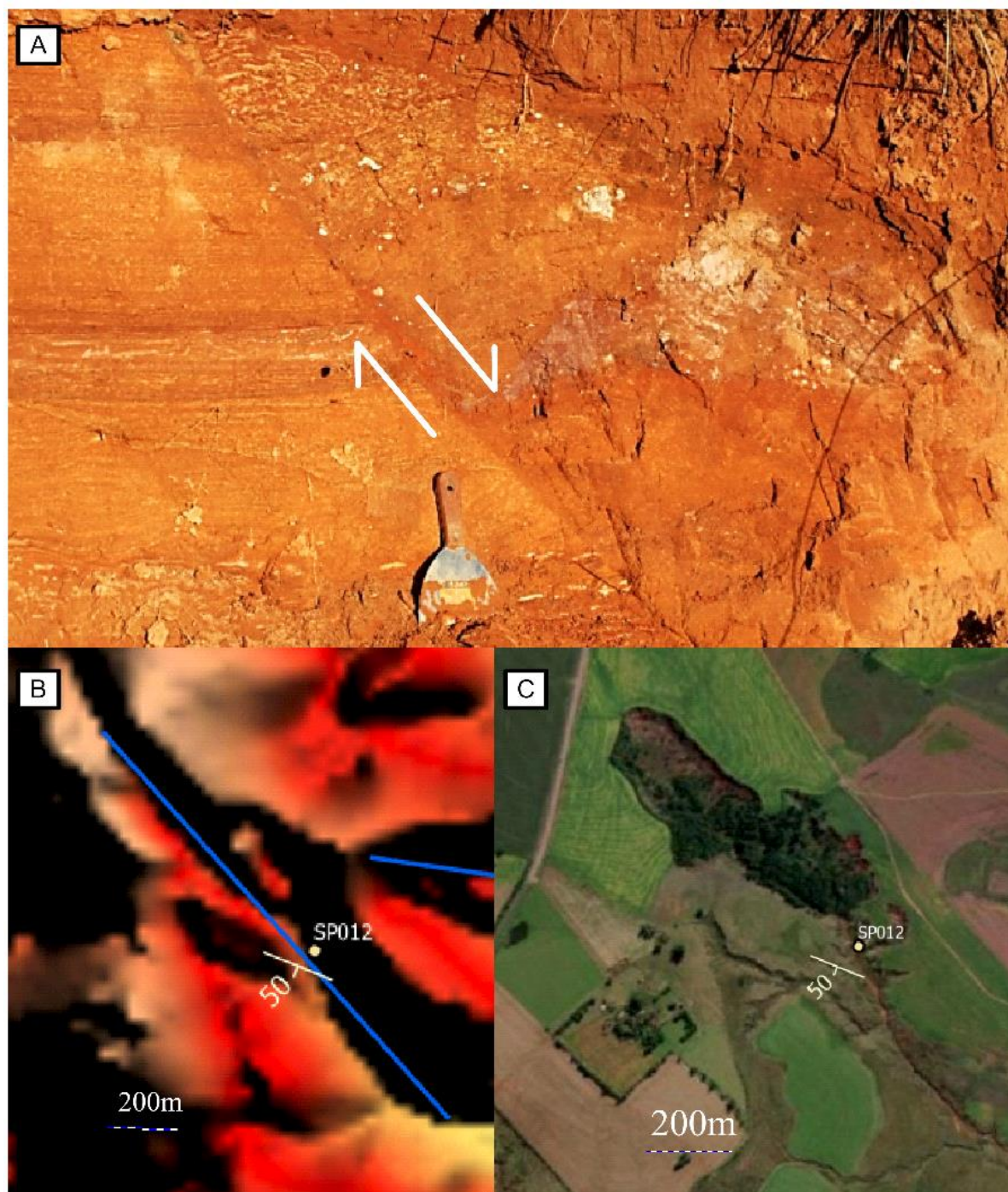
Os lineamentos de tendência NW-SE, tem ocorrência mais expressiva na Formação Tupanciretã tanto em frequência, mas principalmente em comprimento. Sugere expressiva ligação entre essa orientação principal com reativações mais recentes, possivelmente cenozoicas, associadas ao Sistema de Falhas Jaguari-Mata o qual limita a porção norte do Arco de Rio Grande (Figura 40) (ZALÁN *et al.*, 1991, PHILLIPP *et al.*, 2014). É interessante que, na área de estudo, a porção mapeada como Grupo Serra Geral não apresenta tal padrão morfoestrutural o que pode ser indicativo de que os depósitos podem ter resguardado este registro a partir de reativações cenozoicas dado a maior continuidade dos lineamentos nesta direção nos sedimentos. A comprovação do forte controle deste *trend* morfoestrutural é representado pela falha normal de direção NW-SE assim como o lineamento negativo e a orientação do eixo principal da voçoroca denominada “Barroca do Cipó” (Figura 41A, B e C). Essa orientação principal fica ainda mais evidente nos lineamentos positivos, que não possuem relação direta com a atividade tectônica, porém é uma forma de adaptação preferencial do relevo aos processos erosivos, causando a orientação das coxilhas.

Os lineamentos N-S possuem menor influência na região, porém é mais destacado na Formação Tupanciretã do que no Serra Geral, o que também é relatado em REIS *et al.*, (2022). Essa orientação é tida como resultados de esforços tectônicos compressivos E-W, entre a placa de Nazca e a placa Sul Americana, gerando morfoestruturas N-S por alívio de tensão e deformação intraplaca (CHAVES-KUS; SALAMUNI, 2008; NUMMER *et al.*, 2014; JACQUES *et al.*, 2015). Dessa forma, são relacionados a eventos neotectônicos e por isso talvez estejam melhor preservadas





**Figura 40:** Sistemas de Falhas Jaguari-Mata de direção NW-SE que, provavelmente, impactam na morfologia do relevo da Formação Tupanciretã na região de Santiago-RS. (Modificado de Horn et al., 2022).



**Figura 41:** Representações multinível de falha e lineamento relacionado e imagens de sensoriamento remoto. (A) Falha de orientação  $50^{\circ}/202^{\circ}$  em notação trama. (B) Orientação do eixo principal de avanço da voçoroca/lineamento de direção  $314^{\circ}-134^{\circ}$ . (C) Imagem orbital do mapa base do ArcGIS PRO da voçoroca SP012.

### 6.2.3 Análise Litológica

Os afloramentos registrados no trabalho de campo evidenciaram três tipos de camadas principais, sendo a primeira delas, respectivamente, depósitos arenosos não consolidados, delgadas a espessas camadas de material lamoso e

paraconglomerados de matriz lamosa a arenítica. Também ocorrem níveis de argila (provavelmente Caulinita devido a cor branca) em diversos afloramentos, mas principalmente associados aos materiais arenosos. Tais informações a respeito do substrato é indicativo de um transporte subaquoso (provavelmente fluvial), o qual possui intervalos de maior energia (i.e., paraconglomerados) e de menor energia (camadas lamosas). Os seixos que compõem as camadas conglomeráticas são provavelmente oriundos das rochas vulcânicas do Grupo Serra Geral que circunda a Formação Tupanciretã. Também vale ressaltar que os pontos contendo seixos e estruturas nos sedimentos são os de cotas mais baixas (i.e., 338m de elevação) já registradas para esta unidade geológica até o momento e mesmo não sendo observado granodecrescência ascendente, os afloramentos são condizentes com o tipo de depósito sedimentar proposto para a Formação Tupanciretã (MENEGOTTO, *et al.*, 1968; MENEGOTTO, 1971; COULON *et al.*, 1973; NOWATSKI *et al.*, 1999; ANDRADES FILHO *et al.*, 2017; REIS *et al.*, 2022; RUPPEL *et al.*, 2023).

A novidade neste trabalho é relacionada às estruturas identificadas, principalmente no ponto SP012, de falha normal, estratificações colapsadas e estrutura de deformação em sedimentos inconsolidados, esta que pode ser atrelada a agentes endógenos (i.e., formada a partir de processos do próprio ambiente deposicional) ou exógenas (i.e., formadas por agentes externos, como terremotos, tsunamis e impacto de bólidos) (SIPP, 2022). Não foi conclusiva a gênese destas estruturas de deformação em sedimento inconsolidado devido à complexidade das mesmas e não se descarta a hipótese de que essas perturbações estejam relacionadas a abalos sísmicos (i.e., sismo). Já a falha normal, que corta mais de uma camada, identificada corrobora as evidências registradas na etapa pré-campo (i.e., identificação dos padrões e anomalias de drenagem e vetorização de lineamentos) a respeito da influência tectônica na morfologia do relevo da Formação Tupanciretã, assim como outros autores já haviam preconizado nas ocorrências principais (ANDRADES FILHO, 2017; REIS, 2020; REIS *et al.*, 2022; MARIN, 2022).

Este trabalho também desmistifica o estigma de que a Formação Tupanciretã não possui bons afloramentos, na verdade se tratam de depósitos não consolidados que se encontram em um ambiente dinâmico onde afloramentos podem surgir e desaparecer em questão de meses, dificultando os estudos nesta unidade geológica. Entretanto, dado o aumento crescente das voçorocas nos últimos 60 anos (que inclusive poderiam ser pesquisados os avanços das mesmas em fotografias aéreas e

imagens multitemporais de sensoriamento remoto em estudos futuros), muitos afloramentos foram expostos nesse tempo que, provavelmente, há 60 anos atrás não existiam quando foi feita a sessão tipo da Formação Tupanciretã e outros trabalhos do século passado. Dessa forma é necessário investigações de campo mais detalhadas e as inflexões dentro da drenagem principal das voçorocas tem se mostrado o melhor local.

### **6.3 As Voçorocas**

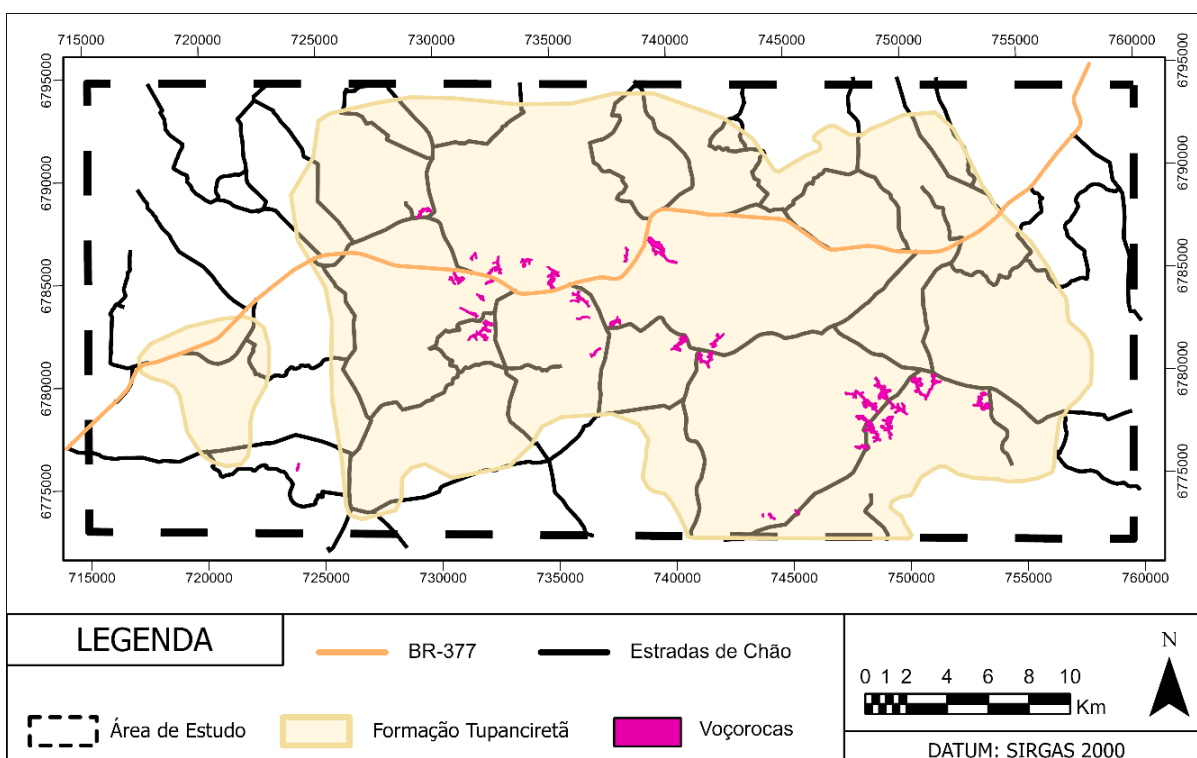
As feições erosivas mais agressivas são um tema bastante complexo, que vem ganhando cada vez mais destaque nas ciências da Terra, principalmente levando em conta a relação entre diversos fatores que atuam sobre a superfície do planeta e ao grau que cada fator pode atingir, ou não, em diferentes regiões (PEREIRA; RODRIGUES, 2023).

Na área de estudo, foram mapeadas pelos menos 20 voçorocas (PINHEIRO, 2023) as quais exibem diversos padrões geométricos, porém foi observado que a grande maioria possui um eixo central preferencial de erosão, de geometria linear a sublinear, destacado suas frequências e comprimentos nos diagramas de roseta das Figuras 19M e 19N. Estes indicam a tendência principal na orientação NW-SE para essas feições, algo que também é exibido nos diagramas das Figuras 19C, 19D, 19K e 19L. A Figura 17, reforça que há uma expressiva relação entre as voçorocas e os lineamentos positivos, já que a maioria destas feições ocorrem em densidades altas e muito altas. O somatório dos fatores citados a cima, das relações das orientações dos lineamentos e da voçorocas com a densidade dos lineamentos positivos e a densidade de voçorocas, nos leva a crer que o surgimento das feições erosivas possui relação com as estruturas geológicas da Formação Tupanciretã na região de Santiago-RS.

A humanidade possui alta capacidade de se adaptar sobre o meio em que habita, principalmente através das condições do relevo e das dinâmicas da paisagem (p.e., MENEGAT, 2010). No caso da área deste estudo, há interferência antrópica no meio principalmente pela atividade agropecuária e pela presença de rodovias as quais são preferencialmente construídas onde ocorrem altos topográficos. A partir da base vetorial das principais rodovias da região, pode ser visualizado que estas ocorrem muito próximas às cabeceiras das voçorocas (Figura 42) e que inclusive erodem

estradas não pavimentadas, causando transtornos às pessoas que transitam na região.

É presumido que as rodovias (principalmente as asfaltadas), por barrarem a infiltração de água, acabam acumulando-a nas laterais da pista, acentuando o processo erosivo em uma unidade geológica extremamente friável e porosa, levando ao surgimento das voçorocas pela concentração do escoamento de água superficial e subsuperficial preferencialmente em zonas de fraquezas do substrato localizadas onde ocorrem estruturas geológicas (i.e., falhas e fraturas), principalmente as de orientação NW-SE segundo a direção dos lineamentos negativos e positivos os quais possuem maior frequência e dimensão e, ao que tudo indica, são mais atuantes no modelado do relevo da região.



**Figura 42:** Ilustração cartográfica mostrando a relação espacial entre as rodovias e as voçorocas da Formação Tupanciretã em Santiago-RS.

## 7 CONCLUSÃO

A utilização combinada de diversos dados processados e manipulados em ambiente SIG, como: fotografias aéreas; imagens orbitais; MDE's; mapas geológicos vetorizados, rede de drenagem extraída da Base Cartográfica do Estado do RS escala 1:25.000 (BCRS25), permitiram produzir um grande volume de informações geológicas e geomorfológicas para a área de mapeamento de forma gratuita.

As fotografias aéreas foram extremamente eficazes na distinção entre a cobertura sedimentar da Formação Tupanciretã e o seu entorno composto por rochas vulcânicas do Grupo Serra Geral. Dessa forma, o mapeamento e a delimitação dessas unidades geológicas teve sucesso principalmente pela interpretação visual dessa ferramenta. Conclui-se que a Fm. Tupanciretã possui área de ocorrência em Santiago-RS e Capão do Cipó-RS de aproximadamente 577 km<sup>2</sup>.

A análise e interpretação visual do relevo sombreado processado a partir de imagens do MDE Copernicus foram cruciais para a vetorização dos lineamentos morfoestruturais que são difíceis de observar pela forma suavizada do relevo da Formação Tupanciretã. Desse modo, essa técnica também deve se mostrar eficaz em outros domínios geotectônicos. Vale ressaltar que é necessário a utilização de, pelo menos, 4 azimutes de iluminações diferentes para conseguir visualizar diferentes orientações de lineamentos.

Apesar de algumas incompatibilidades localizadas na utilização da BCRS25, na maior parte da área de estudo o uso deste insumo, somado com o uso de imagens ópticas do Google Earth PRO e do mapa base do ArcGIS PRO, serviu de forma satisfatória para análise das características qualitativas da rede de drenagem e extração de mapas de densidade e de padrões e anomalias de drenagem. Os produtos cartográficos foram importantes para a correspondência e interpretação das evidências tectônicas da drenagem juntamente com os lineamentos, indicando influência estrutural no modelado do relevo da Formação Tupanciretã.

O trabalho de campo não só atingiu sua função primordial de confirmação *in loco* da ocorrência da Formação Tupanciretã, mas também revelou importantes afloramentos, em especial o SP012 devido as estruturas geológicas encontradas, que dão maior embasamento aos trabalhos de análises morfoestrutural e de análise da rede de drenagem realizados anteriormente por sensoriamento remoto.

A integração das atividade pré-sin e pós campo proporcionaram uma melhor



capacidade de reflexão a respeito da paisagem, permitindo se adentrar no tema complexo de erosão por voçorocas. As de ocorrência no município de Santiago e Capão do Cipó aparentam estar relacionadas a ação antrópica de construção de rodovias que potencializam o processo erosivo natural o qual se concentra preferencialmente em estruturas geológicas NW-SE associadas a reativações recentes de sistemas de falhas (i.e., sistema de falhas Jaguari-Mata) relacionadas ao Arco de Rio Grande.

Portanto, conclui-se que a Formação Tupanciretã possui influência da atividade tectônica no seu modelado, sendo importante para o entendimento da evolução tectono-sedimentar na porção sul da Bacia do Paraná ao longo do Cenozóico. As morfoestruturas exibem diversos padrões, porém existe uma expressiva diferença das características dos lineamentos morfoestruturais na Formação Tupanciretã e no Grupo Serra Geral. Dessa forma, é levantado duas hipóteses principais, se essas diferenciações são decorrentes de uma divergência temporal entre as unidades ou se o fato de não possuírem competências litológicas/reológicas semelhantes registrariam de forma distinta tais reativações tectônicas.

## 8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho trouxe novas informações sobre a Formação Tupanciretã, que são escassos. De fato é curioso como uma área tão extensa não possuía nenhum registro geológico específico na literatura e isso demonstra que polígonos isolados desta Formação ainda podem ocorrer em outras regiões do Planalto Meridional do RS.

Em específico, a região de Santiago-RS demonstra um potencial para novas descobertas a respeito da evolução tectono-sedimentar da porção superior sul da Bacia do Paraná, a partir do Cretáceo Inferior, onde as morfoestruturas indicaram um comportamento complexo com diversas orientações e confirmados no trabalho de campo.

Novos trabalhos de campo nesta região são sugeridos pelo autor, principalmente com o enfoque estratigráfico, que não foi o alvo principal deste trabalho, mas serviu para indicar que podem haver bons afloramentos, principalmente dentro das voçorocas as quais são de difícil acesso e se encontram cada vez mais vegetadas.

Tais feições erosivas tiveram um drástico aumento de tamanho desde 1965 (i.e., idade das fotografias aéreas 1:60.000), sendo necessários mais estudos e monitoramento para melhor mitigação dos danos, entender mais detalhadamente como ocorre esse avanço e quais áreas podem ser atingidas na região. Afinal, é um problema que tende a avançar se não contido, imagine daqui mais 60 anos. Vale ressaltar que os proprietários de muitas áreas de atividade agropecuária, que estão sendo impactados pelas voçorocas, estão utilizando de técnicas simples para tentar diminuir a erosão como plantar árvores no entorno da voçoroca e não permitir o gado adentrar para pastar.

## REFERÊNCIAS

- ANDRADES FILHO, C. O. **Análise morfoestrutural da porção central da Bacia Paraíba (PB) a partir de dados MDE-SRTM e ALOS-PALSAR FBD**. 173 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2010.
- ANDRADES FILHO, C.O.; RIBEIRO, B. M. G.; ALVES, F. C.; CREMON, E. H.; SOARES, R. D. **Potencial de discriminação geomorfológica da Formação Tupanciretã na Bacia do Paraná, sul do Brasil**. Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Santos, 2017.
- CARRARO, C. C.; GAMERMANN, N.; EICK, N. C.; BORTOLUZZI, C. A.; JOST, H.; PINTO, J. F. **Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul**. Pesquisas em Geociências, Porto Alegre, v. 8, p. 1-29, escala 1:1.000.000, 1974.
- CHAVES-KUS, L.; SALAMUNI, E. **Evidência da tensão N-S intraplaca no Neógeno, Complexo Atuba-Região de Curitiba (PR)**. Revista Brasileira de Geociências. 38. 439-454, 2008.
- COULON, F. K.; GAMERMANN, N.; FORMOSO, L. M. **Considerações sobre a gênese da formação Tupanciretã**. Porto Alegre: Pesquisas em Geociências, v. 2, n.1, p.78-89, UFRGS, 1973.
- CREMON, E. H.; BETTIOL, G. M.; JUNIOR, J. P. M.; MACEDO, F. C.; RABELO, M. W. O. **Avaliação da altimetria do MDE COP-30 no Centro-Oeste do Brasil**. Revista Brasileira de Cartografia, [S. l.], v. 74, n. 3, p. 536–546, 2022. DOI: 10.14393/rbcv74n3-60846, 2022.
- FOSSEN, H. **Geologia Estrutural**. São Paulo: Editora Oficina de Textos, Cap. 7, p. 166-202 2010.
- GROTZINGER, J.; JORDAN, T. **Para entender a Terra**. 6. ed. PORTO ALEGRE: Bookman, 738 p, 2013.
- GUTH, P. L.; GEOFFROY, T. M. **LiDAR point cloud and ICESat-2 evaluation of 1 second global digital elevation models: Copernicus wins**. Transactions in GIS, v.25, p. 2245-2261, 2021.
- HOBBS, W. H. **Earth Features and Their Meaning: An Introduction to Geology for the Student and General Reader**. New York: Macmillan Co., 347 p, 1912.
- HOBBS, W. H. **Lineaments of the Atlantic border region**. Geological Society of America Bulletin, n. 15, p. 483-506, 1904.
- HORN, B. L. D.; OLIVEIRA, A. A.; SIMÕES, M. S.; BESSER, M.L.; ARAÚJO, L. L. **Projeto Geologia e Potencial Mineral da Bacia do Paraná**. Mapa geológico, SGB/CPRM, escala 1:1.000.000, Porto Alegre, 2022.
- HOWARD, A. D. **Drainage analysis in geologic interpretation**; a summation. Bull. Am. Assoc. Petrol. Geol. Tulsa Okla., 51(11): 2246-2259, 1967.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE 1986. **Folha SH. 22 Porto Alegre e parte das folhas SH. 21 Uruguaiana e SI. 22 Lagoa Mirim : geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra**. Rio de Janeiro, v. 33, 791p,

1986.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE 2009. **Manual técnico de geomorfologia. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais**. 2. ed. - Rio de Janeiro: IBGE, 182 p, escala 1:1.000.000, 2009.

JACQUES, P. D.; MACHADO, R.; NUMMER, A. R. **Análise estrutural da Formação Serra Geral na porção centro-sul do Estado de Santa Catarina, Brasil**. Geociências, v. 34, n. 3, p. 390-401, 2015.

JESUS, V. D. **Análise da geomorfologia fluvial da bacia do Rio Preguiças: Padrões de drenagem na região dos Lençóis Maranhenses**. 147 f. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Geografia (PPGGEO)) - Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2021.

LIMA, M. I. C. **Análise de drenagem e seu significado geológico- geomorfológico**. Apostila (texto integral), Belém: UFPA, 222 p, 2006.

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.

MASURSKY, H.; COLTON, G. W.; EL-BAZ, F. **Apollo over the moon: A view from orbit**. NASA Scientific and Technical Information Office SP-362, Washington, DC, 1978.

MENEGAT, R. **Cognição e paisagem no processo civilizatório andino: A matriz do lugar como chave para decifrar Machu Picchu**. Revista Brasileira de Horticultura Ornamental, v. 10, p. 41-45, 2010.

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, 1968.

MENEGOTTO, E. **Sedimentologia da Formação Tupanciretã**. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Curso de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 1971. 62p.

MEXIAS, L. F. S. **Avaliação do CBERS4A-WPM na delimitação da rede de drenagem superficial nas Formações Tupanciretã e Serra Geral, Rio Grande do Sul**. Florianópolis, Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2023.

MILANI, E. J. **Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana Sul-ocidental**. 2 v. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

MILANI, E.; MELO, J; SOUZA, P; FERNANDES, L; FRANÇA, A. **Bacia do Paraná**. Boletim de Geociências - Petrobras. 15. 265-287, 2007.

MILANI, E. J.; FRANÇA, A. B.; SCHNEIDER, R. L. **Bacia do Paraná**. Boletim de Geociências da PETROBRÁS, Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 69-82, 1994.

NASCIMENTO, F. M. F.; CARVALHO, J. E.; PEIXINHO, F. C. **Sistema de informações de água subterrânea – SIAGAS histórico, desafios e perspectivas**. Águas Subterrâneas, [S. l.], 2008.

NOWATZKI, C. H.; DUTRA, T. L.; FLECK, A. **Novas observações sobre a Formação**

**Tupanciretã, Estado do Rio Grande do Sul.** Acta Geologica Leopoldensia, v. 49, p. 39-52, 1999.

NUMMER, A. R.; MACHADO, R.; JACQUES, P. D; **Tectônica transcorrente mesozoica/cenozoica na porção leste do Planalto do Rio Grande do Sul, Brasil.** Pesquisas em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil, 41 (2): 121-130, maio/ago, 2014.

O'LEARY, D. W.; FRIEDMAN, J. D.; POHN, H. A. **Lineament, linear, lineation: some proposed new standards for old terms.** GSA Bulletin, v. 87, p. 1463-1469, 1976.

PARVIS, M. **Drainage pattern significance in air photo identification of soils and bedrocks.** Highway Research Board. Natl., USA, 1950.

PEREIRA, J. S.; RODRIGUES, S. C.; **Erosão por voçorocas: Estado da arte.** Revisões de Literatura da Geomorfologia Brasileira, Cap. 18, p. 503-529, 2023.

PHILLIP, R. P.; ROLIM, S.; MALTA, L.; JELINEK, A.; VIANA, A.; LAVINA, E.; CAGLIARI, J.; FACCINI, U. **Estruturação do arco de rio grande e da sinclinal de Torres Bacia do Paraná, RS – Evidências por levantamentos magnetotélúricos.** Simpósio Brasileiro de Geofísica, 2014.

PICCIRILLO, E. M.; MELFI, A. J. **Mesozoic flood volcanism of the parana basim: Petrogenetic and geophysical aspects.** IAG USP, São Paulo. 600p, 1988.

PINHEIRO, G. R; **Mapeamento e análise espacial de ravinas e voçorocas associadas à Formação Tupanciretã em Santiago-RS, Planalto Meridional.** Monografia (Conclusão de Curso), Curso de Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 52 p, 2023.

PURINTON. B.; BOOKHAGEN, B. **Beyond Vertical Point Accuracy. Assessing Inter-pixel Consistency in 30 m Global DEMs for the Arid Central Andes.** Frontiers in Earth Science, v. 9, p.1-24, 2021.

REIS, M. S. **Caracterização morfoestrutural dos depósitos sedimentares da Formação Tupanciretã, no Planalto Meridional do Rio Grande do Sul, Brasil.** Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, São Francisco de Paula – RS, 2020.

REIS, M. S.; ANDRADES FILHO, C. O.; ROSSETTI, D. F. **Análise morfoestrutural da Formação Tupanciretã (cenozoico), Planalto Meridional do Rio Grande do Sul, Brasil.** PESQUISAS EM GEOCIÊNCIAS (ONLINE), v. 49, p. 1-18, 2022.

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.

ROSSETI, L. M. M.; SIMÕES, M. S.; LIMA, E. F.; WAICHEL, B. L.; SOMMER, C. A. **Estratigrafia do Grupo Serra Geral na Calha de Torres, Sul do Brasil.** Contribuições à Geologia do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, Porto Alegre, Compasso Lugar-Cultura, p. 321-336, 2021.

RUPPEL, K. M. V.; DANI, N.; LISBOA, N. A. **Evolução Morfotectônica e Megageomorfológica das Formações Pós Gondwânicas Santa Tecla e Tupanciretã no Rio Grande do Sul.** Revista Brasileira de Geomorfologia v.24, n.1, 2023.

SIPP, G. S. **Caracterização das estruturas de deformação em sedimentos inconsolidados na Formação Buena Vista, Permiano Superior do Rio Grande do Sul.** Monografia (Conclusão de Curso), Curso de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 135 p, 2022.

SOARES, P. C.; FIORI, A.P. **Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia.** Notícia Geomorfológica, Campinas, v.16, n.32, p.71-104, 1976.

TOMASI, L. C.; ROISENBERG, A. **Influência da Tectônica-Rúptil na Hidrogeoquímica do Sistema Aquífero Serra Geral na Bacia Hidrográfica do Rio Ijuí, RS.** Revista de Águas Subterrâneas, v. 33, n. 3, p. 292-302, 2019.

WILDNER, W.; RAMGRAB, G. E.; LOPES, R. C.; IGLESIAS, C. M. F. **Projeto Mapa Geológico do Rio Grande do Sul.** Mapa geológico, SGB/CPRM, escala 1:750.000, Porto Alegre, 2008.

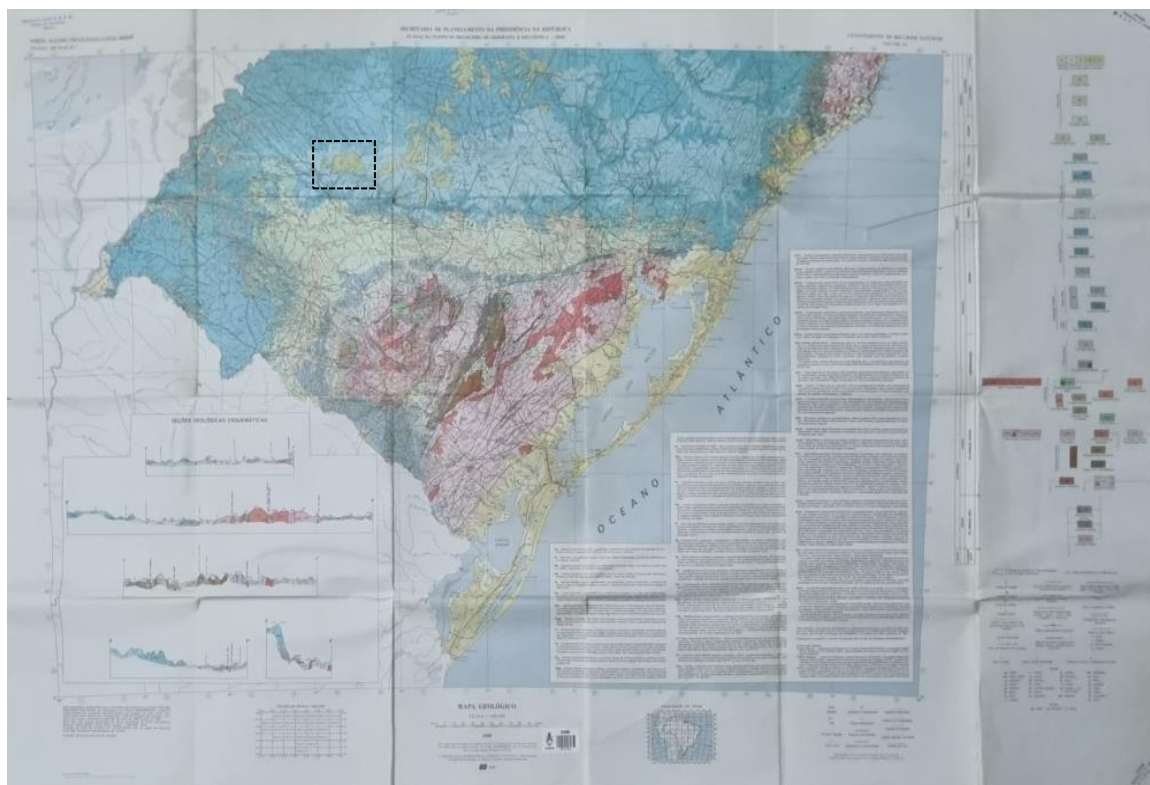
ZALÁN, P. V.; WOLFF, S.; CONCEIÇÃO, J.C.J.; MARQUES, A.; ASTOLFI, M.A.M. & VIEIRA, I.S.; APPI, V.T.; ZANOTTO, O. A.; CRUZ, J.; & PEDRO, C. **Bacia do Paraná - Origem e Evolução de Bacias Sedimentares.** Rio de Janeiro, Petrobras, p. 136-168, 1991.

ZERNITZ, E.R. **Drainage Patterns and Their Significance.** Journal of Geology, 40, 498-521, 1932.

## **ANEXOS**

**Anexo 1:** Polígono de mapeamento plotado no mapa geológico do RS – IBGE 1986.

**Anexo 2:** Polígono de mapeamento plotado no mapa geológico do RS – CARRARO 1974.



**Anexo 1:** Polígono de mapeamento plotado no Mapa geológico do RS (IBGE, 1986).



