

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

LUCAS STEFFANELO DALLA NORA

**GEOLOGIA ESTRUTURAL RÚPTIL NA REGIÃO DO PLATÔ DO SEIVAL, NO
MUNICÍPIO DE CAÇAPAVA DO SUL – RS**

CAÇAPAVA DO SUL

2023

LUCAS STEFFANELLO DALLA NORA

**GEOLOGIA ESTRUTURAL RÚPTIL NA REGIÃO DO PLATÔ DO SEIVAL, NO
MUNICÍPIO DE CAÇAPAVA DO SUL – RS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Geologia da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Tiago Rafael Gregory

Coorientador: Prof. Dr. Felipe Guadagnin

CAÇAPAVA DO SUL

2023

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais) .

D144g Dalla nora, Lucas Steffanello
Geologia estrutural rúptil na região do platô do seival, no
município de Caçapava do Sul - RS / Lucas Steffanello Dalla
nora.
79 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade
Federal do Pampa, GEOLOGIA, 2023.
"Orientação: Tiago Rafael Gregory".

1. Estruturas Rúpteis. 2. Lineamentos Geomorfológicos. 3.
Geologia Estrutural. 4. Sensoriamento Remoto. I. Título.

LUCAS STEFFANELLO DALLA NORA

GEOLOGIA ESTRUTURAL RÚPTIL NA REGIÃO DO PLATÔ DO SEIVAL, NO MUNICÍPIO DE CAÇAPAVA DO SUL – RS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Geologia da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Geologia.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em 10 de julho de 2023.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Tiago Rafael Gregory

Orientador

Universidade Federal do Pampa

Prof. Dr. Marco Antonio Fontoura Hansen

Universidade Federal do Pampa

Prof. Dr. Giuseppe Betino De Toni

Universidade Federal do Pampa



Assinado eletronicamente por **TIAGO RAFAEL GREGORY, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 20/07/2023, às 10:48, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **MARCO ANTONIO FONTOURA HANSEN, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 20/07/2023, às 15:28, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **GIUSEPPE BETINO DE TONI, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 20/07/2023, às 16:44, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1190876** e o código CRC **F7DAA83E**.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de estender minha gratidão aos meus pais, Moacir e Adilia, meu irmão, Rafael, e todas as pessoas que tive o privilégio de conhecer ao longo dessa jornada. Suas presenças e apoio incondicional foram essenciais para meus sucessos e me ajudaram a superar as dificuldades que encontrei ao longo do caminho.

Ao Dr. Tiago Rafael Gregory, gostaria de expressar minha profunda gratidão e apreço pelos ensinamentos valiosos e orientação que você tem fornecido ao longo desses anos de trabalho. Sua dedicação como meu orientador tem sido fundamental para o meu crescimento profissional e acadêmico.

Suas habilidades como professor são notáveis, e sua paixão pelo conhecimento é inspiradora. Você sempre demonstrou uma disposição incansável para compartilhar seu vasto conhecimento, sempre buscando estimular minha curiosidade e encorajar minha busca pela excelência. Suas orientações foram cruciais para o desenvolvimento das minhas habilidades e para a minha capacidade de enfrentar os desafios que encontrei ao longo dessa jornada.

Também quero expressar minha sincera gratidão ao Dr. Felipe Guadagnin, outro orientador que contribuiu significativamente para o meu crescimento e desenvolvimento profissional. Sua experiência e orientação foram inestimáveis e moldaram minha compreensão e abordagem em minha área de estudo.

Estou verdadeiramente honrado e grato por ter tido a oportunidade de trabalhar com pessoas tão talentosas, generosas e dedicadas como vocês. O impacto positivo que vocês tiveram em minha vida e em minha carreira não pode ser subestimado.

Mais uma vez, muito obrigado por tudo que vocês fizeram por mim. Serei eternamente grato por seus ensinamentos, orientações e apoio.

Com os mais sinceros agradecimentos.

RESUMO

O Escudo Sul-rio-grandense (ESrg) é composto por diversas associações petrotectônicas, formadas durante o Paleoproterozoico e o Neoproterozoico, que registram diferentes processos de deformação, magmatismo, metamorfismo e formação de bacias sedimentares. O presente trabalho apresenta uma análise estrutural de uma determinada área, observando suas características geomorfológicas e padrões de lineamentos estruturais, adquiridas por extração de elementos texturais por imageamento de satélite. Com isso, delimitou-se as características estruturais rúpteis e suas relações com dados de campo, buscando a compreensão da história deformacional das rochas e processos relacionados, permitindo entender os eventos tectônicos. O presente trabalho focou no Grupo Santa Bárbara, especificamente onde afloram rochas da Formação Serra dos Lanceiros, caracterizada por arenitos com estratificação cruzada acanalada e conglomerados sustentados por clastos, geralmente imbricados, de sistema deposicional de rios entrelaçados. Em termos estruturais, a área de estudo está localizada entre dois grandes lineamentos geomorfológicos estruturais: as Falhas do Segredo e do Perau, ambas de direção nordeste (NE-SW), e lineamentos de direção noroeste (NW-SE). A escassez de trabalhos no ESrg em escala de maior detalhe e envolvendo estruturas rúpteis impulsionou o presente trabalho, com maior detalhe e enfoque nas estruturas de direções NW-SE, do ponto de vista de estruturas rúpteis. O trabalho iniciou com revisão bibliográfica e delimitação de lineamentos geomorfológicos em escala de 1:250.000, 1:100.000 e 1:50.000 por sensoriamento remoto. A partir desta análise, foi possível determinar direções prevaletentes NW-SE, NE-SW e direções secundárias N-S e E-W. Observou-se que, quando a escala de análise é mais detalhada, os lineamentos geomorfológicos tornam-se mais descontínuos e fragmentados. Além do mais, a direção secundária N-S se torna mais representativa. Em campo, foi possível reconhecer as estruturas rúpteis, principalmente na região onde se identificou uma zona de fraturas na direção NW-SE. A análise de fraturas em quase todos os afloramentos mostrou um índice baixo de fraturamento nas rochas sedimentares, com exceção da região específica, onde foram identificadas zonas de fraturas. Nessa região houve um aumento no número de fraturas. Identificou-se, a partir da interpretação dos dados de campo, a existência de uma dobra sinclinal e outra anticlinal, na região do Platô do Seival, no município de Caçapava do Sul. Estas estruturas condicionam a geomorfologia do terreno e os padrões de afloramento. A

geometria da estrutura, com eixos de direção NE-SW, corrobora para a interpretação de esforços regionais de compressão NW-SE, condizentes com dados da bibliografia. Um padrão de fraturamento de direção NW-SE, também importante da formação do relevo, é relacionado ao sistema de fraturas de direção do NW-SE, condicionados pelo Arco de Rio Grande, responsável pelo soerguimento do ESrg.

Palavra-Chave: estruturas rúpteis, lineamentos geomorfológicos, geologia estrutural, sensoriamento remoto.

ABSTRACT

The Sul-rio-grandense Shield (SrgS) is composed of several petrotectonic associations, formed during the Paleoproterozoic and Neoproterozoic, which register different processes of deformation, magmatism, metamorphism and formation of sedimentary basins. The present work presents a structural analysis of a certain area, observing its geomorphological characteristics and patterns of structural lineaments, acquired by extraction of textural elements by satellite imagery. With this, the brittle structural characteristics and their relationships with field data were delimited, seeking to understand the deformational history of the rocks and related processes, allowing the understanding of tectonic events. The present work focused on the Santa Bárbara Group, specifically where rocks from the Serra dos Lanceiros Formation outcrop, characterized by sandstones with cross-channeled bedding and conglomerates supported by clasts, generally imbricated, from a depositional system of intertwined rivers. In structural terms, the study area is located between two major structural geomorphological lineaments: the Segredo and Perau faults, both northeast (NE-SW) direction, and northwest (NW-SE) direction lineaments. The scarcity of works on the ESrS in a more detailed scale and involving brittle structures boosted the present work, with greater detail and focus on structures in NW-SE directions, from the point of view of brittle structures. The work began with a bibliographical review and delimitation of geomorphological lineaments on a scale of 1:250,000, 1:100,000, and 1:50,000 by remote sensing. From this analysis, it was possible to determine prevailing directions NW-SE, NE-SW and secondary directions N-S and E-W. It was observed that, when the scale of analysis is more detailed, the geomorphological lineaments become more discontinuous and fragmented. What's more, the N-S secondary direction becomes more representative. In the field, it was possible to recognize brittle structures, mainly in the region where a fracture zone was identified in the NW-SE direction. Fracture analysis in almost all outcrops showed a low rate of fracturing in sedimentary rocks, except for the specific region where fracture zones were identified. There was an increase in the number of fractures in this region. Based on the interpretation of field data, the existence of a syncline and anticline fold was identified in the region of the Seival Plateau, in the municipality of Caçapava do Sul. These structures condition the terrain's geomorphology and outcrop patterns. The geometry of the structure, with NE-SW direction axes, corroborates regional NW-SE compression efforts, consistent with data from the bibliography. A pattern of fractures in a NW-SE direction, also important

in the formation of the relief, is related to the system of fractures in a NW-SE direction, conditioned by the Arch of Rio Grande, responsible for the uplift of the ESrg.

Keywords: brittle structures, geomorphological lineaments, structural geology, remote sensing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa de situação e detalhe da área de estudo.	21
Figura 2 – Campos de deslocamento e trajetória das partículas em translação, rotação rígida e deformação (<i>strain</i>).	24
Figura 3 – Relação entre esforço/tensão (<i>stress</i>) versus deformação e o momento em que a rocha atinge o limite de resistência a ruptura.	25
Figura 4 – Principais tipos de fraturas: fraturas de cisalhamento, fraturas extensionais e fraturas de fechamento.	27
Figura 5 – Modos de propagação de fraturas.....	28
Figura 6 – Modelos de geometria e cinemática das falhas.	29
Figura 7 – Mapa de localização e contexto geológico da Bacia do Camaquã. Área de estudo em vermelho.....	34
Figura 8 – Esboço da geologia das unidades do Rio Grande do Sul, com destaque ao Supergrupo Camaquã.	35
Figura 9 – Mapa geológico do Grupo Santa Bárbara na Sub-Bacia Camaquã Ocidental. Área de estudo em vermelho.	37
Figura 10 – Mapa de localização e imagem de satélite da área de estudo e entorno, obtidas a partir do uso do complemento <i>QuickMapServices</i> , no <i>software</i> QGIS.	45
Figura 11 – Modelos digitais do relevo sombreado da área de estudo com exagero vertical de 3x. Utilizou-se de inclinação solar nas direções 045°, 090°, 315° e 360°, identificada na porção superior esquerda de cada imagem.	46
Figura 12 – Mapa dos lineamentos geomorfológicos em escala de 1:250.000 e respectivos diagramas de rosetas das quatro direções preferenciais.	48
Figura 13 – Mapa dos lineamentos geomorfológicos em escala de 1:100.000 e respectivos diagramas de rosetas das quatro direções preferenciais.	49
Figura 14 – Mapa dos lineamentos geomorfológicos em escala de 1:50.000 e respectivos diagramas de rosetas das quatro direções preferenciais.	51
Figura 15 – Características do relevo na área de estudo e arredores. Na foto A, em linhas amarelas, está o acamamento sedimentar de direção NW-SE e na linha em vermelho está o eixo de uma dobra regional NE-SW. Na foto B, em amarelo, estão as linhas do acamamento sedimentar na direção SE. A foto C demonstra o relevo dos arredores, da Serra da Santa Bárbara. Na foto D, em linha vermelha, está o eixo de	

uma dobra regional em mais detalhe. Nas fotos E e F, em laranja, está o lineamento marcado sobre uma escarpa do terreno.	52
Figura 16 – Mapa com todos os pontos e caminhos percorridos e as suas respectivas litologias.	54
Figura 17 – Fotos das características encontradas na área de estudo. Na foto A, está uma amostra do arenito fino micáceo. Nas fotos B e C estão as marcas de ondas encontradas.....	56
Figura 18 – Principais características de campo dos arenitos finos. A foto A demonstra a ocorrência de marcas de ondas. A foto B mostra afloramento com estratificação plano paralela.....	57
Figura 19 – Características gerais do arenito grosso. Na foto A estão os típicos afloramentos encontrados. Na foto B está uma amostra do arenito grosso com intraclastos de lama. A foto C apresenta uma amostra com intercalação de arenito grosso e arenito médio.	58
Figura 20 – Aspectos gerais dos afloramentos. A foto A apresenta ocorrência de lentes de arenito. Na foto B ocorre típico afloramento de arenito conglomerático encontrado.	59
Figura 21 – Histograma de proveniência do arcabouço encontrado nos afloramentos de conglomerados.....	60
Figura 22 – Aspectos gerais dos afloramentos. A foto A mostra a lente de arenito no conglomerado. A foto B mostra o arcabouço. Na foto C estão os tipos de afloramentos encontrados.....	61
Figura 23 – Mapa geológico das formações presentes na área de estudo. A Formação Seival (FS) e, a Formação Serra dos Lanceiros.....	62
Figura 24 – Mapa geológico com as estruturas de acamamento sedimentar (S0)....	64
Figura 25 – Mapa geológico com principais estruturas verificadas em campo e sensoriamento remoto.....	65
Figura 26 – Típico padrão de afloramento, com duas famílias de fraturas.....	66
Figura 27 – Possível indicador cinemático a partir do deslocamento de clastos, com movimento sinistral.....	66
Figura 28 – Aspectos gerais dos afloramentos. Na foto A está indicada a zona de cisalhamento. Na foto B ocorre o padrão típico de afloramento, com duas famílias de fraturas. Na foto C está apresentada uma vista mais ampla da zona de cisalhamento.	68

Figura 29 – Características dos afloramentos com clastos fraturados. Na foto A está presente um clasto fraturado sem deslocamento. Nas fotos B, C e D ocorrem clastos fraturados milimétricos, com movimento sinistral.	69
Figura 30 – Aspectos gerais dos afloramentos. Na foto A apresenta-se em linhas vermelhas as estratificações cruzadas acanaladas de médio e grande porte. Na foto B, em linhas vermelhas, está a estratificação cruzada acanalada e em linhas amarelas a estratificação plano paralela. Na foto C, em linhas amarelas, está representado o acamamento sedimentar (S0).	70
Figura 31 – Mapas de contornos do traço da direção dos planos de acamamento sedimentar (S0), com respectivos intervalos dos ângulos de mergulho divididos em cores. Área de estudo em tracejado em vermelho.	72
Figura 32 – Projeções estereográficas dos dados dos acamamentos sedimentares (traços ciclográficos, polos dos planos e diagrama de contorno do acamamento sedimentar) para a porção Noroeste (NW), com dobra sinclinal, e para a porção Sudeste (SE), com dobra anticlinal.	73
Figura 33 – Diagramas de roseta das principais direções de fraturas.....	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resumo das fácies sedimentares do Grupo Santa Bárbara.....	40
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ESrg – Escudo Sul-rio-grandense

ARG – Arco de Rio Grande

BC – Bacia do Camaquã

CDF – Cinturão Dom Feliciano

PM – Província Mantiqueira

GSB – Grupo Santa Bárbara

FESF – Formação Estância Santa Fé

FS – Formação Seival

FSL – Formação Serra do Lanceiros

FAU – Formação Arroio Umbu

FPS – Formação Pedra do Segredo

SR – Sensoriamento Remoto

SIG – Sistema de Informações Geográficas

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	17
2. OBJETIVOS	19
2.1 Objetivo geral	19
2.2 Objetivos específicos	19
3. JUSTIFICATIVA	20
4. ÁREA DE ESTUDO	21
5. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	22
5.1 Análise Estrutural	22
5.1.1 Deformação em Rochas.....	23
5.1.2 Estruturas Rúpteis.....	26
5.1.3 Fraturas.....	26
5.1.4 Falhas.....	28
5.2 Lineamentos	30
5.3 Sensoriamento Remoto	31
6. CONTEXTO GEOLÓGICO	32
6.1 Província Mantiqueira (PM)	32
6.2 Escudo Sul-rio-grandense (ESrg)	32
6.3 Bacia do Camaquã (BC)	33
6.4 Geologia Local	35
6.4.1 Grupo Santa Bárbara (GSB).....	35
6.4.1.1 Formação Estância Santa Fé (FESF).....	37
6.4.1.2 Formação Seival (FS).....	38
6.4.1.3 Formação Serra do Lanceiros (FSL).....	38
6.4.1.4 Formação Arroio Umbu (FAU)	39
6.4.1.5 Formação Pedra do Segredo (FPS).....	39
7. TRABALHOS ANTERIORES	41
7.1 Estruturas Rúpteis no Escudo Sul-rio-grandense (ESrg)	41
8. MATERIAIS E MÉTODOS	43
8.1 Revisão Bibliográfica	43
8.2 Sensoriamento Remoto (SR) e Sistema de Informação Geográficas (SIG)	43
8.3 Pesquisa de Campo	44
8.4 Interpretação de dados de campo	44
9. RESULTADOS	45
9.1 Sensoriamento Remoto	45

9.1.1 Lineamentos.....	46
9.1.1.1 Lineamentos 1:250.000.....	47
9.1.1.2 Lineamentos 1:100.000.....	48
9.1.1.3 Lineamentos 1:50.000.....	50
9.1.1.4 Síntese dos Lineamentos	51
9.2 Geomorfologia.....	52
9.3 Mapeamento Geológico Estrutural	53
9.3.1 Rochas Sedimentares.....	55
9.3.2 Geologia Estrutural.....	63
9.4 Discussão dos Resultados e Conclusões	75
10. REFERÊNCIAS	78

1. INTRODUÇÃO

O Escudo Sul-rio-grandense (ESrg) resulta de processos de geração e deformação de crosta continental, compreendendo associações petrotectônicas geradas em dois ciclos orogênicos: o Transamazônico (2,26-2,00 Ga) e o Brasileiro (900-535 Ma) (HARTMANN et al., 2007). Segundo Ribeiro (1978), a geologia do ESrg pode ser caracterizada em termos de estratigrafia, padrões estruturais e províncias metalogenéticas.

Considerando as unidades do Neoproterozoico, o ESrg é dividido em quatro unidades geotectônicas: o Terreno São Gabriel, onde predominam rochas relacionadas a um ambiente de arco magmático; o Terreno Tijucas, com predominância de rochas metamórficas supracrustais que marcam o registro de uma colisão continental; o Batólito Pelotas, onde predominam rochas granitoides de ambiente pós-colisional; e o Bloco Taquarembó, onde está presente as bordas do Cráton Rio de La Plata. Essas três primeiras unidades constituem o chamado Cinturão Dom Feliciano (HARTMANN et al., 2007). O Arco de Rio Grande (ARG) é uma feição estrutural de direção noroeste (NW) que é responsável pelo soerguimento de unidades do ESrg, da Bacia do Paraná e pelo controle da deposição de sedimentos no Triássico (PHILLIP et al., 2013). Esta estrutura é delimitada por dois sistemas de falhas: na porção Norte pela Falha Jaguari – Mata; e na porção Sul pela Falha Alegrete–Ibaré (ASMUS & BAISCH, 1983; PHILLIP et al., 2013).

Os trabalhos anteriores, envolvendo estudos de lineamentos e estruturas geológicas associadas, trazem uma perspectiva regional quando abordada a geologia rúptil, dando maior ênfase às estruturas de direção NE-SW e em segundo plano às estruturas de direção NW-SE (PICADA, 1968; RIBEIRO e LICHTENBERG, 1978; RIBEIRO, 1980). Mais recentemente, em âmbito mais local e de detalhe, citam-se trabalhos no sistema de Falhas Santa Bárbara (e.g. TREVISOL, 2007).

A geologia estrutural é a área do conhecimento que estuda dobras, falhas e demais estruturas deformacionais de rochas presentes na litosfera, no que se refere a suas ocorrências e modos de deformação. A deformação rúptil é a marca registrada da deformação da crosta superior, gerada quando a rocha excede o limite de sua resistência a ruptura, ocorrendo a formação de fraturas (FOSSEN, 2012).

O objetivo deste trabalho é fazer um reconhecimento, em várias escalas, de lineamentos geomorfológicos ou tectônicos e sistemas de fraturas e falhas

relacionadas, buscando entender as estruturas rúpteis que possam ter ligação direta no deslocamento de blocos na região do platô do Seival, no município de Caçapava do Sul – RS.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é mapear as estruturas de deformação rúptil da região do platô do Seival, no município de Caçapava do Sul – RS.

2.2 Objetivos específicos

Especificamente, pretende-se:

- Reconhecer e classificar, por meio de mecanismos de sensoriamento remoto, os lineamentos geomorfológicos e tectônicos em escalas 1:250.000, 1:100.000 e, 1:50.000;
- Suceder estudos em campo para reconhecimento da geologia local;
- Realizar caracterização de estruturas rúptil em campo; e,
- Realizar a integração dos dados de campo e bibliografia.

3. JUSTIFICATIVA

Em relação ao Escudo Sul-rio-grandense (ESrg), a maior parte dos estudos tem dado ênfase na deformação dúctil. Conseqüentemente, poucos trabalhos com foco na área da geologia estrutural rúptil estão disponíveis, principalmente os de escala de detalhe. Somado a isso, o estudo de estruturas de direção NW-SE também tem sido pouco abordado. Trabalhos anteriores se detém muito mais a um foco regional do escudo, onde se delimita lineamentos com grandes extensões, contínuos ou não, frequentemente voltados para a relação com atividades magmáticas, mineralizações e deformação orogênica (PICADA, 1968, 1971; RIBEIRO et al., 1966; RIBEIRO, 1970, 1980; RIBEIRO e LICHTENBERG, 1978).

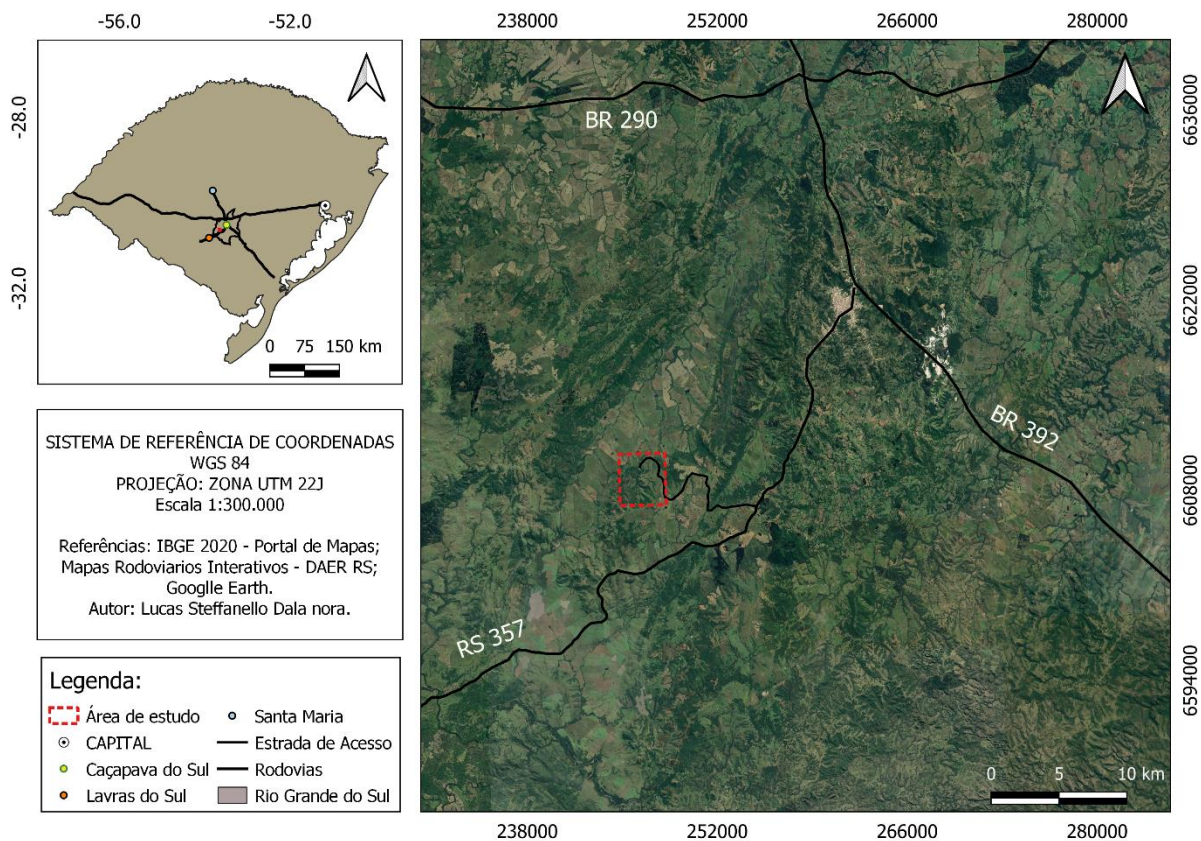
Adicionalmente, fatores logísticos como fácil acesso à área de estudo e proximidade das dependências da Universidade, Campus Caçapava do Sul, bem como disponibilidade de veículos, equipamento e laboratórios da Unipampa, tornam o trabalho viável economicamente.

4. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada na carta topográfica Arroio Santa Bárbara (Folha SH.22-Y-A-IV-2; MI – 2995/2), entre os arroios Santa Bárbara e Tamanduá, porção Sudoeste do município de Caçapava do Sul, centro-sul do Rio Grande do Sul, distanciando-se aproximadamente 260 km de Porto Alegre. O deslocamento para acesso, a partir de Porto Alegre, é pela BR-290 no sentido Oeste por 242 km até o trevo de acesso à BR-392. Ao ingressar nesta, seguir por 20 km no sentido Sul até a cidade de Caçapava do Sul, momento que ingressa na RS-357 no sentido Sudoeste por aproximadamente 18 km até ingressar em uma estrada vicinal não pavimentada para Oeste, ao longo de 15 km até a área de estudo (Figura 1).

A região se caracteriza por relevo montanhoso, com medidas de altitude variando entre 207 e 326 metros e disponibilidades de afloramentos variável. Predomina uma vegetação típica do Bioma Pampa, formadas por gramíneas e matas ciliares nas margens das drenagens. Além disso, a área é cortada por uma importante rede de drenagem, que é composta pelos Arroio Santa Bárbara e Arroio Tamanduá.

Figura 1 – Mapa de situação e detalhe da área de estudo.



Fonte: extraído e modificado de IBGE (2020), DAER (2021).

5. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

5.1 Análise Estrutural

A Geologia Estrutural é a ciência que estuda a evolução da Terra, focada principalmente no estudo de estruturas deformacionais que ocorrem nas porções superficiais e subsuperficiais da crosta, com o propósito de entender como ocorrem os movimentos que modelam a litosfera (FOSSSEN, 2012). Segundo Van der Pluijm & Marshak (2004), a Geologia Estrutural tem como conceito retratar uma característica geométrica de rocha em que a forma e distribuição possam ser representadas.

Segundo Davis & Reynolds (1996), as estruturas são subdivididas em três divisões:

- Estruturas primárias: formadas ao longo do tempo de formação das rochas;
- Estruturas secundárias: gerada posterior a sua formação, quando a rocha excede o seu limite de deformação; e
- Contato litológico.

A Geologia Estrutural é focada principalmente em estruturas criadas pela deformação de rochas e não em estruturas deformacionais primárias, formadas por processos magmáticos e sedimentares. Entretanto, o reconhecimento dessas é importante uma vez que podem ser modificadas, como o dobramento de camadas sedimentares (FOSSSEN, 2012).

Se define como uma rotina típica na área de Geologia Estrutural a observação, a descrição e a interpretação das estruturas em campo, utilizando parâmetros como geometria, distribuição e a formação de estruturas em diversas escalas. Para o entendimento prévio, utiliza-se de recursos favoráveis para interpretação dos dados, como Sensoriamento Remoto, Modelos Digitais de Elevação e dados Geofísicos para a organização preliminar dos dados (FOSSSEN, 2012).

A análise de dados coletados em campo tem como princípio uma análise para compreender fatores que resultam na deformação de rocha. Portanto, essa análise estrutural deformacional envolve princípios como:

- Análise descritiva: é um tipo de análise que caracteriza a forma e o modo como as estruturas se dispõem no espaço (Van Der Pluijm & Marshak, 2004), como tamanho e relações geométricas entre estruturas principais de primeira e segunda ordem no que se refere à escala espacial (FOSSSEN, 2012);

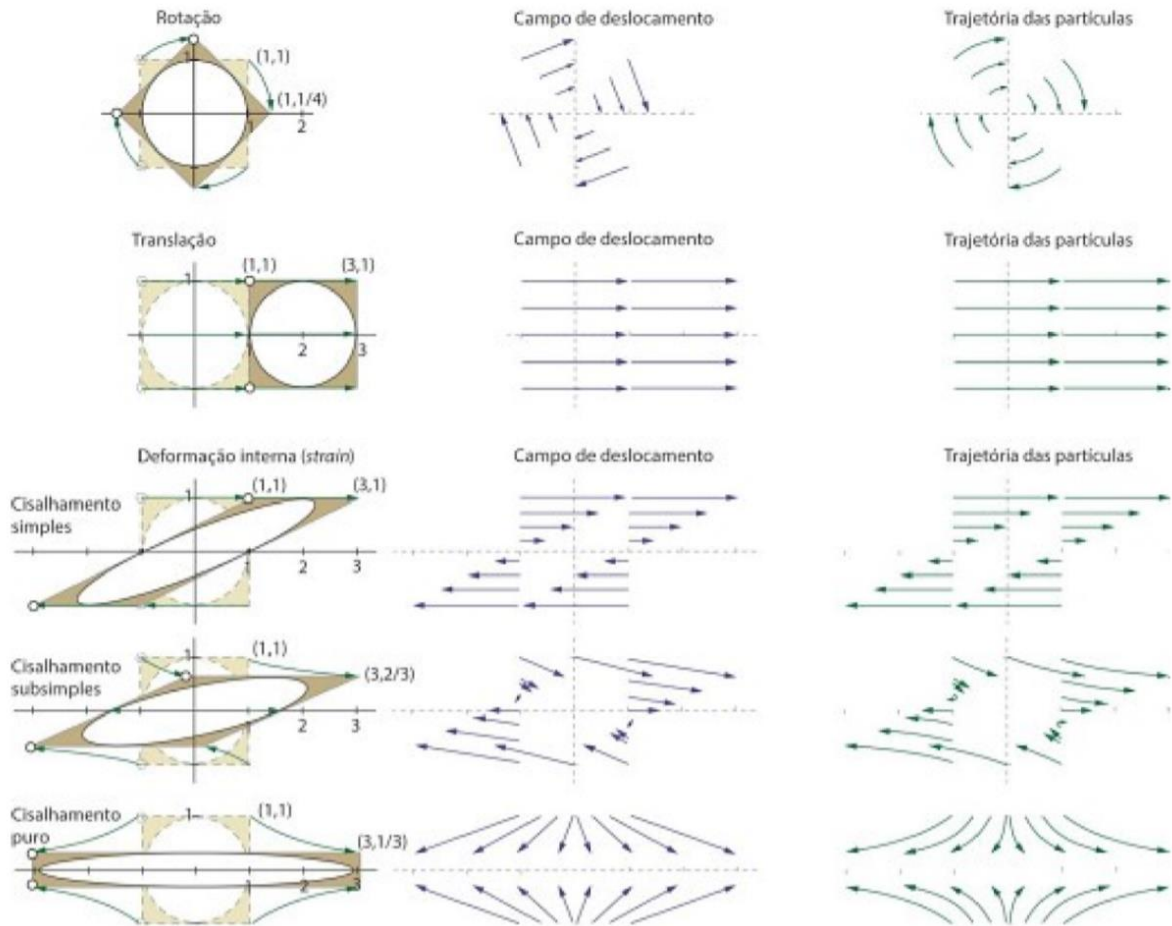
- Análise cinemática: é a base descritiva de todo o processo que a rocha passa ao decorrer do tempo, desde o estado não deformacional ao estado deformado, no que diz respeito à forma e ao modo deformacional (FOSSEN, 2012; VAN DER PLUIJM & MARSHAK, 2004);
- Análise dinâmica: procura entender a relação entre esforço e cinemática, processo causador da movimentação de partículas. No momento que ocorre a geração de esforço acima do normal a rocha é movimentada, ocorrendo variações na forma original e formação de estruturas novas (FOSSEN, 2012; VAN DER PLUIJM & MARSHAK, 2004); e
- Análise tectônica: abrange todos os princípios da cinemática, dinâmica e geométrica em escalas de uma bacia, por exemplo. Entretanto, há geólogos que estudam vários tipos de estruturas e texturas visíveis em escala microscópica, esses chamados de estruturalistas, que buscam descrever processos microestruturais decorrentes da deformação entre e dentro dos grãos minerais (FOSSEN, 2012; VAN DER PLUIJM & MARSHAK, 2004).

5.1.1 Deformação em Rochas

A deformação é um termo usado na geologia estrutural como uma mudança na forma original da rocha. Entretanto, a deformação de um maciço rochoso pode ser causada a partir do processo de mudança na sua geometria por translação ou rotação, sem haver mudança interna, mudança de forma ou volume (*strain, distortion*), conforme consta na Figura 2 (FOSSEN, 2012).

Ao longo da deformação as partículas têm o seu posicionamento reorganizado, gerando uma representação do movimento real das partículas individualmente do corpo rígido em deformação, conhecido como campo de deslocamento, interligando os estados não deformacional e deformacional (FOSSEN, 2012).

Figura 2 – Campos de deslocamento e trajetória das partículas em translação, rotação rígida e deformação (*strain*).



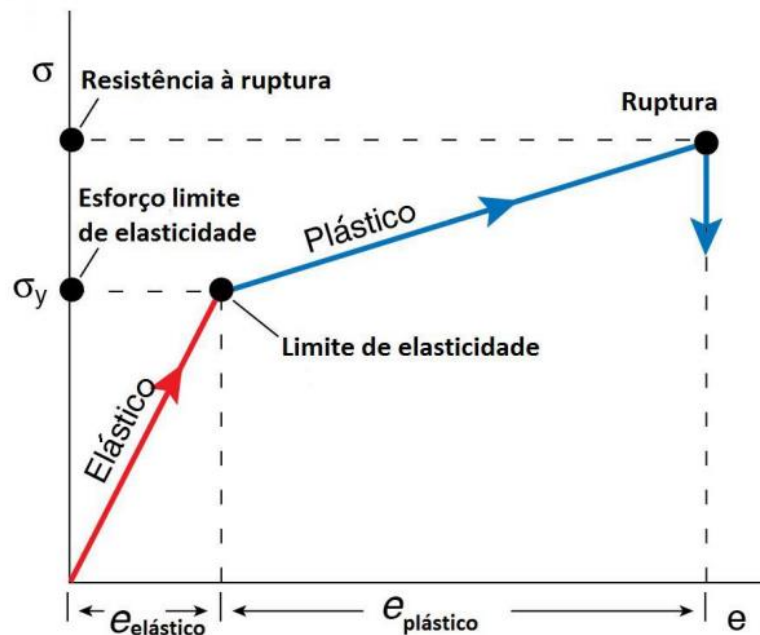
Fonte: extraído de Fossen (2012).

A deformação está relacionada de modo direto à tensão/esforço (*stress*), onde é necessário entender as feições da deformação para que então se consiga fazer interpretações sobre o esforço, ou seja, o processo ocorrido ao longo do tempo de deformação da rocha fornecerá dados do campo sobre esforços. Aspectos importantes são primordiais ao relacionar tensão/esforço à deformação da rocha, como condições de pressão, temperatura e as propriedades mecânicas dos materiais (FOSSSEN, 2012).

No momento em que corpos rochosos são submetidos a processos de esforços, esses podem em algum momento exceder o limite de tensão, o que resultará na deformação da rocha. Logo, a rocha pode reagir de diferentes formas, chamadas de deformação elástica, plástica e rúptil (FOSSSEN, 2012) (Figura 3):

- Deformação Elástica: ocorre quando a rocha é submetida a um esforço e o material preserva a continuidade de estruturas e camadas sem haver quebra. Após cessar o esforço o material volta ao estado original;
- Deformação Plástica: ocorre quando a rocha excede o limite de elasticidade e o material acaba por apresentar uma mudança permanente em forma e tamanho da rocha, sem haver fraturamento; e
- Deformação Rúptil: processo que ocorre quando o material que está sofrendo esforço excede o limite de elasticidade e ocorre o limite de ruptura, havendo fraturamento da rocha.

Figura 3 – Relação entre esforço e tensão (*stress*) versus deformação e o momento em que a rocha atinge o limite de resistência a ruptura.



Fonte: extraído de Fossen (2012).

Fatores de grande importância no mecanismo de deformação englobam a mineralogia, a temperatura, a pressão de confinamento, a pressão do fluido, a tensão diferencial e a taxa de deformação. Isso tudo, ao combinar deformações dentro da rocha, levam à deformação em escalas microscópicas (DAVIS & REYNOLDS, 1996).

Segundo Davis & Reynolds (1996), os mecanismos de deformação são divididos em cinco classes:

- Microfraturamento, cataclase e deslizamento friccional;
- Geminação mecânica e torção;

- Deformação por difusão;
- Deformação por dissolução; e
- Deformação por fluxo de deslocações.

Além do mais, entender os mecanismos deformacionais é propositado para melhor visualizar as estruturas geológicas em campo, entre elas: foliação, clivagem, dobras, lineações, juntas, fraturas, falhas e zonas de cisalhamento (DAVIS & REYNOLDS, 1996).

Apenas as estruturas rúpteis serão detalhadas adiante, visto serem o foco do presente trabalho.

5.1.2 Estruturas Rúpteis

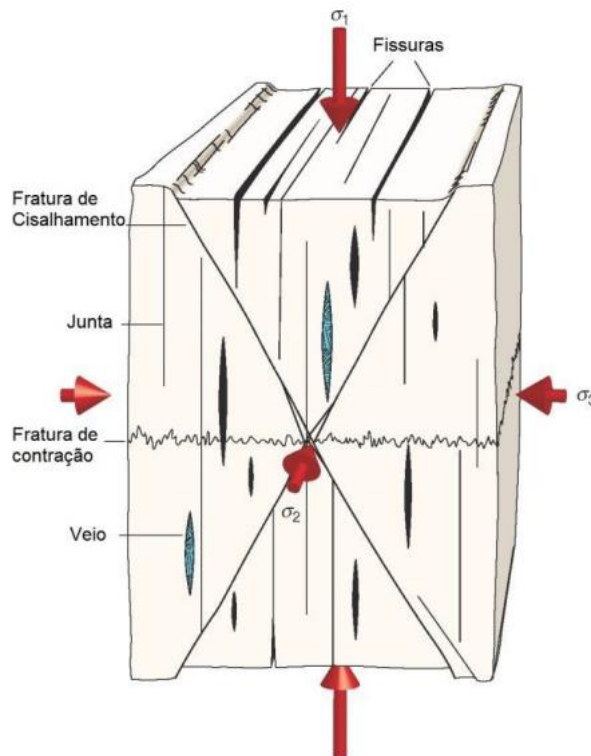
As estruturas rúpteis são resultado de deformações marcantes na crosta superior que ocorrem em momentos em que a rocha é submetida a um acúmulo excessivo de esforços, levando à ruptura da crosta. Podem ser formadas de modo suave, quando ocorre o resfriamento da rocha, e violento, quando ocorre um terremoto. Nesses dois modos ocorrem rompimento nas estruturas cristalinas em escala atômica, causados pelo fraturamento. As deformações rúpteis são caracterizadas por condições físicas tais como deslizamento friccional ao longo dos contatos de grãos, rotação e fraturamento de grãos, momento em que os grãos serão moídos e reorganizados, tornando-se a deformação mais localizada (FOSSEN, 2012).

5.1.3 Fraturas

As fraturas são estruturas planares, formadas por descontinuidades em resposta aos esforços internos ou externos atuantes na rocha. Sendo assim, é caracterizado pela perda de coesão ao longo da superfície do material (VAN DER PLUIJM & MARSHAK, 2004). Ao definir fraturas, Fossen (2012) descreve como uma descontinuidade plana ou subplana, delgada numa direção ao se comparar com outras duas que é formada por dois esforços: esforço tectônico (*e.g.* esforço externo) ou térmico e residual (*e.g.* esforço interno) da rocha.

Segundo Fossen (2012), as fraturas são divididas em três tipos: fraturas de cisalhamento, fraturas extensionais e fraturas de fechamento, conforme demonstrado na Figura 4.

Figura 4 – Principais tipos de fraturas: fraturas de cisalhamento, fraturas extensionais e fraturas de fechamento.



Fonte: extraído de Fossen (2012).

As fraturas de cisalhamento se desenvolvem ao longo de fraturas que apresentam movimentos paralelos e relativos dela. Geralmente o termo é utilizado para deslocamento pequeno que varia de milimétrico a decimétrico. Tais fraturas são caracterizadas por formar-se próxima à transição rúptil-dúctil, de modo geral são características da deformação rúptil. Além disso, as fraturas se desenvolvem em condições de pressão e temperatura da crosta superior (FOSSSEN, 2012).

As fraturas extensionais desenvolvem-se de maneira perpendicular a σ_3 , contendo em seu plano os eixos de esforços principais máximo e intermediário. Comparando à deformação, avançam perpendicularmente a σ_3 em momentos de tração e paralelamente a σ_1 ao longo de testes de compressão. Elas são fraturas que ocorrem perante a baixa ou nenhuma pressão confinante e quando apresentam extensão perpendicular às paredes, podem ser classificadas em juntas, fissuras, veios e diques (FOSSSEN, 2012).

As juntas e as fissuras são dois exemplos de fraturas extensionais. A junta é a mais comum, acontece próxima à superfície da Terra e é caracterizada por apresentar pequenas magnitudes de deformação. Já as fissuras são fraturas mais abertas que

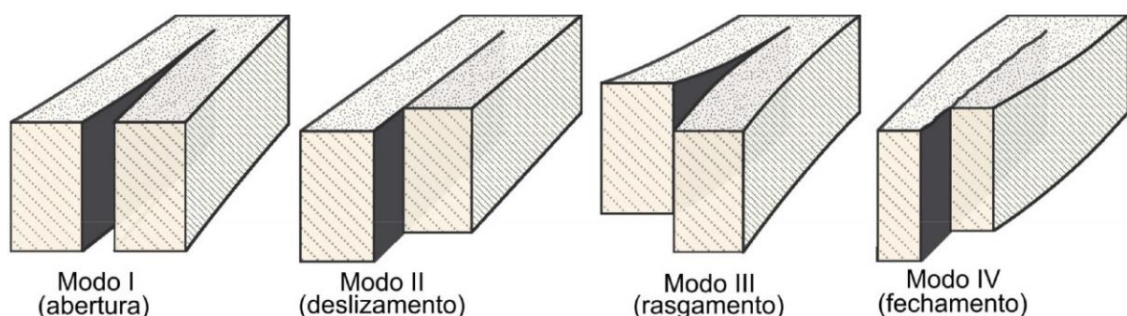
as juntas e têm como característica a profundidade, que vai de algumas centenas de metros até vários quilômetros. Além disso, quando a fissura é preenchida por minerais denomina-se veio e, caso ocorra preenchimento por material oriundo de magma, é considerada dique (FOSSSEN, 2012).

Fraturas de fechamento são estruturas de compactação que ocorrem em superfícies irregulares, podendo ser chamadas também, segundo alguns geólogos estruturalistas, de fraturas de contração ou estilolitos (FOSSSEN, 2012).

A Mecânica de Fraturas é definida por estruturas associadas ao modo de propagação das fraturas que, conforme Fossen (2012) e Van Der Pluijm & Marshak (2004), são definidas em três diferentes modos: I, II e III, conforme demonstrado na Figura 5.

- Modo I é caracterizado por fraturas de abertura (extensional), representando movimento perpendicular às paredes da fratura. Modelo que ocorre em juntas, fissura, veios e diques;
 - Modo II é caracterizado por fraturas de deslocamento, representando o movimento de cisalhamento paralela à direção das fraturas;
 - Modo III é caracterizado por fraturas de rasgamento (*tearing mode*), representando o movimento de deslizamento paralelo às bordas das fraturas;
- Além disso, Fossen (2012) retrata um quarto modo (de fechamento), que é definido nos casos de feições contracionais, como o caso dos estilolitos.

Figura 5 – Modos de propagação de fraturas.



Fonte: modificado de Fossen (2012).

5.1.4 Falhas

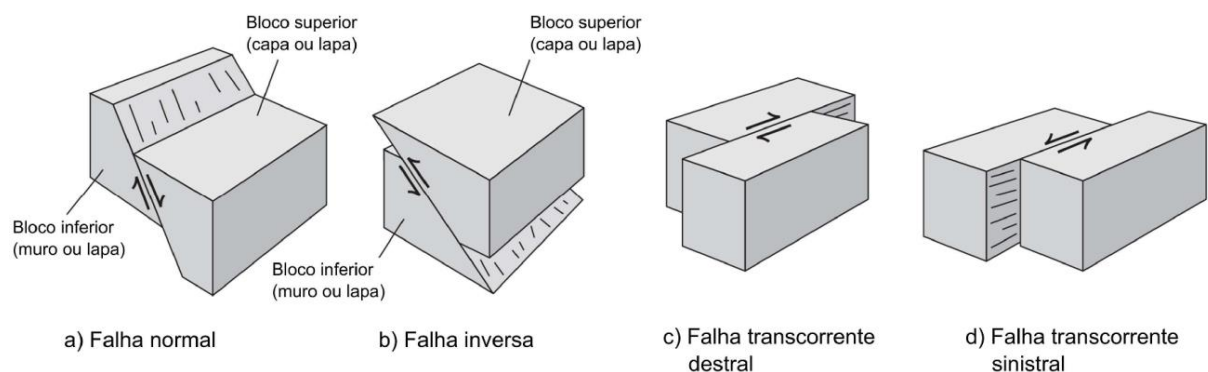
Falha é qualquer plano, superfície ou faixa estreita onde é aparente um deslocamento causado por cisalhamento, uma vez que representa uma grande quantidade de deformação na crosta superior. As falhas se diferenciam das fraturas

por apresentar uma complexibilidade maior, são mais bem desenvolvidas, pois tendem gerar rejeitos na ordem de 1 metro ou mais. A espessura de uma falha é importante e é geralmente menor que o rejeito e o comprimento da mesma. As falhas apresentam uma zona mais complexa de deformação, onde é intenso o cisalhamento, e uma região menos afetada no seu envolto, onde o grau de deformação é menor e ocorre a presença de fraturas subordinadas (FOSSSEN, 2012).

Segundo Fossen (2012), as falhas são divididas em três modelos em relação à geometria e à cinemática (Figura 6):

- Falha Normal: é caracterizada quando a capa é rebaixada em relação à lapa;
- Falha Inversa: é caracterizada quando a capa é soerguida em relação à lapa;
- Falha Transcorrente: é caracterizada quando ocorrem movimentos laterais e são subdivididas em dois tipos de movimento (destal e sinistral):
 - Destal: quando o bloco da direita apresenta movimento transcorrente no sentido do observador;
 - Sinistral: quando o bloco da esquerda apresenta movimento transcorrente no sentido do observador.

Figura 6 – Modelos de geometria e cinemática das falhas.



Fonte: modificado de Van der Pluijm & Marshak (2004).

Para análise em campo de estruturas rúpteis procura-se identificar o deslocamento de um plano de falha, normalmente encontrado no exato local onde a capa conecta com a lapa que, por exemplo, possam ser reconhecidas em estruturas lineares ou em charneiras de dobras que apresentem uma interceptação pelo plano da falha (FOSSSEN, 2012).

Normalmente em rochas sedimentares é possível reconhecer planos de falhas ao correlacionar camadas entre blocos falhados, ao comparar um lado com o outro da falha quando estiver analisando um afloramento abrangente. Já quando a análise do afloramento for em escala de maior detalhe, podem ser usadas lineações que, por exemplo, possam ser estrias sobrepostas. Estas estruturas são importantes quando se está analisando o comprimento e a orientação do vetor deslocamento do rejeito em campo (FOSSSEN, 2012).

5.2 Lineamentos

Lineamentos são feições da superfície do terreno que podem ser caracterizadas como estruturas lineares simples ou compostas, podendo essas estar alinhadas em uma linha retilínea ou mesmo levemente curvilínea no relevo. Os lineamentos podem ser caracterizados de dois modos na superfície: o fisiográfico, que expressa aspectos do relevo, ou pelo contraste tonal da superfície (O'LEARY et al., 1976).

As características fisiográficas correspondem a limites de áreas morfologicamente diferentes, de modo a representar, por exemplo, cursos de drenagens retilíneas ou relevos contínuos que demonstram um certo destaque. As expressões de contraste tonais são representadas por descontinuidades no solo ou na vegetação, de forma que estas sejam identificadas quando ocorram mudanças abruptas de tonalidades nas imagens, quando visto na superfície do terreno ou em imagens de satélite (O'LEARY et al., 1976).

A identificação do lineamento pode ser realizada em diferentes escalas, de modo que quando analisado em escala de menor detalhe esta estrutura pode ser representada como uma única estrutura no mapa. Mas, quando analisado em escala de maior detalhe, podem apresentar mudança em seu alinhamento, ocasionando a geração de um novo lineamento (O'LEARY et al., 1976), ou mesmo lineamentos alinhados, mas descontínuos.

As estruturas lineares são expressas em feições positivas ou negativas que caracterizam o tipo de relevo. Uma feição positiva refere-se a altos topográficos retilíneos que, por exemplo, possam ser interpretados como diques. Já as feições negativas referem-se a baixos topográficos que, por exemplo, podem ser representadas como juntas, fraturas, falhas, zonas de cisalhamento, vales ou mesmo refletir uma feição erosiva de subsuperfície (O'LEARY et al., 1976).

5.3 Sensoriamento Remoto

O sensoriamento remoto é retratado como uma técnica de aquisição de imagens de quaisquer objetos que estejam na superfície do relevo, sem mesmo que ocorra contato físico do sensor com o objeto (MENESES e ALMEIDA, 2012).

Para a aquisição dos dados é preciso seguir algumas condições, de forma que o sensor esteja a uma distância remota dos objetos, exato momento em que vai ocorrer a comunicação das informações do objeto com o sensor por meio das medições da radiação eletromagnética (MENESES e ALMEIDA, 2012).

O processo de aquisição e análise das imagens se deve pela propagação de energia e ondas por espaços vazios, podendo ser de forma natural, como a luz solar, ou de forma artificial, como o radar. Portanto, cada material vai responder de uma forma diferente essa energia, caracterizando-se como uma assinatura espectral própria de cada objeto por meio da absorção e refletância da energia (MENESES e ALMEIDA, 2012).

6. CONTEXTO GEOLÓGICO

A área de estudo está localizada na região central do Grupo Santa Bárbara, que representa uma das sequências da Bacia do Camaquã (BC), a qual tem uma evolução entre os períodos do Ediacarano ao Eopaleozoico. Regionalmente, está inserida no contexto geotectônico do Escudo Sul-rio-grandense (ESrg). Além disso, a Bacia do Camaquã (BC) é resultante das etapas tardi- e pós-colisionais da evolução do Ciclo Brasileiro e do Cinturão Dom Feliciano, região sul da Província Mantiqueira (HEILBRON et al., 2004).

6.1 Província Mantiqueira (PM)

A Província Mantiqueira (PM) ocorre paralela à costa brasileira, representada por uma faixa com direção NE-SW de cerca de 3.000 km, estendendo-se desde o sul ao sudeste do país. Apresenta limites com três outras províncias importantes, entre elas Paraná, São Francisco e Tocantins, e com quatro bacias costeiras, chamadas de Campos, Espírito Santo, Pelotas e Santos. É representada por quatro orógenos gerados durante o Neoproterozoico, sendo eles: Araçuaí, Brasília Meridional, Ribeira e Dom Feliciano. Esses dois últimos estão presentes no estado do Rio Grande do Sul (HEILBRON et al., 2004).

Segundo Heilbronn et al. (2004), há uma subdivisão simplificada da Província Mantiqueira (PM) em três segmentos geográficos:

- Setentrional: é o segmento correspondente ao Orógeno Aracaí;
- Central: é o segmento referente ao Orógeno Ribeira e a zona de interferência com a Faixa Brasília e os Terrenos Apiaí, Embu e São Roque;
- Meridional: é o segmento que engloba o Orógeno Dom Feliciano.

Alguns registros fundamentais da Província Mantiqueira são preservados especialmente no Ciclo Brasileiro. Conforme Heilbron et al. (2004), são registros tectônicos, sedimentares e magmáticos do Arqueano, Paleoproterozoico, Mesoproterozoico e a evolução do Neoproterozoico ao Cambriano.

6.2 Escudo Sul-rio-grandense (ESrg)

O Escudo Sul-rio-grandense é composto por diversas associações petrotectônicas que abrangem uma área de 65.000 km². Possui limites territoriais na região norte e oeste com a Bacia do Paraná e na porção leste com a Planície Costeira.

Teve sua origem decorrente por processos de geração e deformação da crosta continental, ocorrendo especialmente em dois ciclos orogênicos: o Transamazônico (2,26-2,00 Ga) e o Brasileiro (900-535 Ma; HARTMANN et al., 2007).

Portanto, baseado nas feições litoestratigráficas, geofísicas, petrográficas e geoquímicas, diversos autores sugerem uma divisão do ESrg em quatro unidades geotectônicas, tais como: Terreno Tijucas, Terreno São Gabriel, Bloco Taquarembó e Batólito Pelotas (e.g. HARTMANN et al., 2007; PHILLIP et al., 2016). Três das quatro unidades geotectônicas constituem o Cinturão Dom Feliciano (CDF): na porção central ocorre o Terreno Tijucas; a leste o Batólito Pelotas; e a oeste o Terreno São Gabriel. O Cinturão Dom Feliciano (CDF) constitui-se de estruturas alongadas na direção NE-SW, desenvolvidas no momento da colisão entre três crátons: Rio de La Plata, Kalahari e Congo. Esta colisão ocorreu no decorrer do Neoproterozoico (PHILLIP et al., 2016). Já a quarta unidade está situada na porção sudoeste do ESrg, onde ocorrem fragmentos da Microplaca Nico Perez e rochas do período Paleoproterozoico (HARTMANN et al., 2007; PHILLIP et al., 2016).

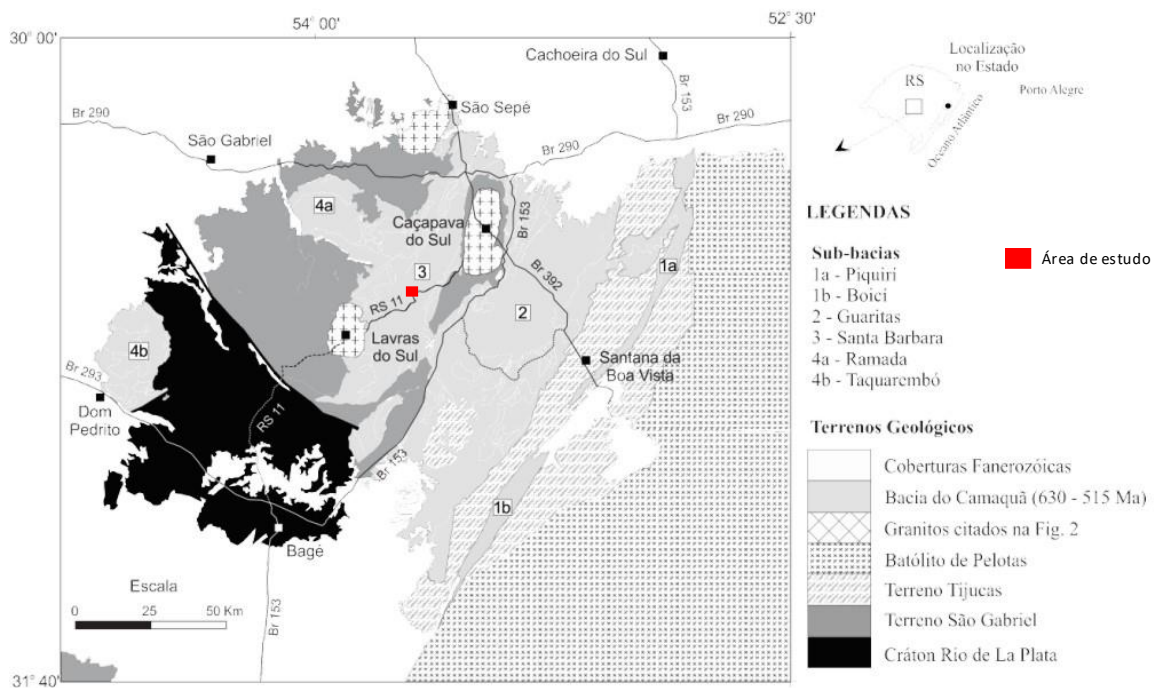
6.3 Bacia do Camaquã (BC)

A Bacia do Camaquã (BC) é classificada tectonicamente como uma sequência vulcano-sedimentar e resultante das etapas tardi- e pós-colisionais da evolução do Ciclo Brasileiro, entre 650 e 540 Ma (FRAGOSO CESAR et al., 2003; PAIM et al., 2014). Está relacionada a um sistema de riftes intracontinentais anorôgenicos ao longo de uma direção preferencial NNE-SSW (FRAGOSO CESAR et al., 2003; PAIM et al., 2014).

A BC apresenta orientação NE-SW na região central do estado do Rio Grande do Sul, situada no Terreno São Gabriel. A oeste faz limite com as margens do Craton Rio de La Plata. Já em sua margem leste é delimitada pelo Terreno Tijucas (Figura 7). É uma das bacias cambrianas a pré-cambrianas mais preservadas do mundo (PAIM et al., 2014).

A evolução da tectônica da BC foi vinculada ao soergimento dos altos de Caçapava do Sul e da Serra das Encantadas, que são limitados por falhas de direção NNE-SSW, formando um ambiente extensional seguidamente reativado com movimentos transcorrentes. Dessa maneira, a bacia foi dividida em três sub-bacias: Camaquã Ocidental, Camaquã Oriental e Camaquã Central (FRAGOSO CESAR et al., 2003).

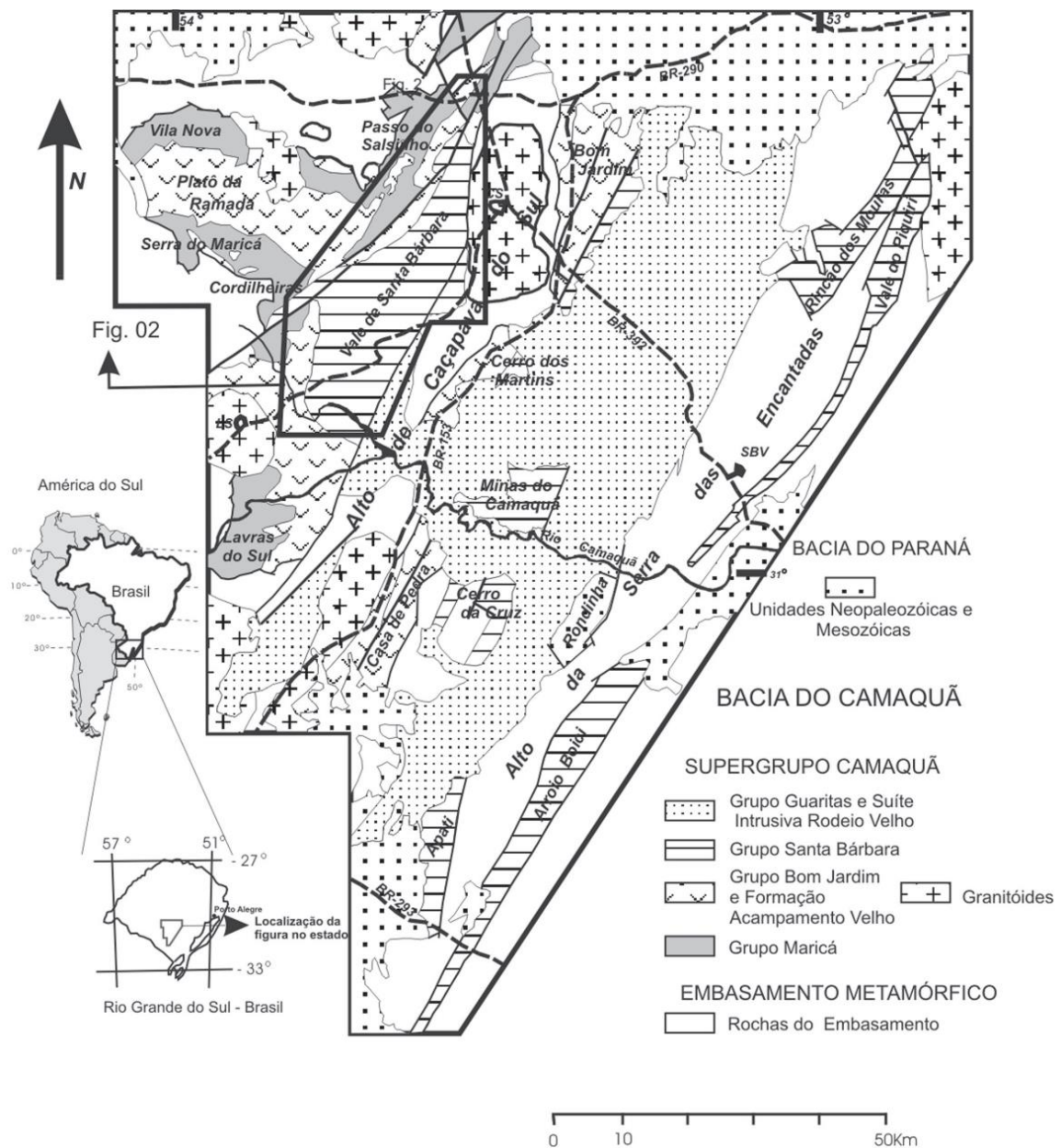
Figura 7 – Mapa de localização e contexto geológico da Bacia do Camaquã. Área de estudo em vermelho.



Fonte: extraído e modificado de Paim et al. (2014).

A estratigrafia da bacia, ao decorrer dos anos, tem apresentado diferentes conceitos sobre as unidades que a compõem. No momento atual há um entendimento que a bacia é subdividida nas seguintes unidades: Grupo Maricá, Grupo Bom Jardim, Formação Acampamento Velho, Grupo Santa Bárbara, Grupo Guaritas e Suíte Intrusiva Rodeio Velho, esboçado na Figura 8 (ALMEIDA et al., 2012; FAMBRINI et al., 2006; FRAGOSO CESAR et al., 2003). Portanto, a subdivisão da Bacia do Camaquã descrita por Fambrini et al. (2006) será adotada neste trabalho.

Figura 8 – Esboço da geologia das unidades do Rio Grande do Sul, com destaque ao Supergrupo Camaquã.



Fonte: extraído de Fambrini, et al. (2006).

6.4 Geologia Local

6.4.1 Grupo Santa Bárbara (GSB)

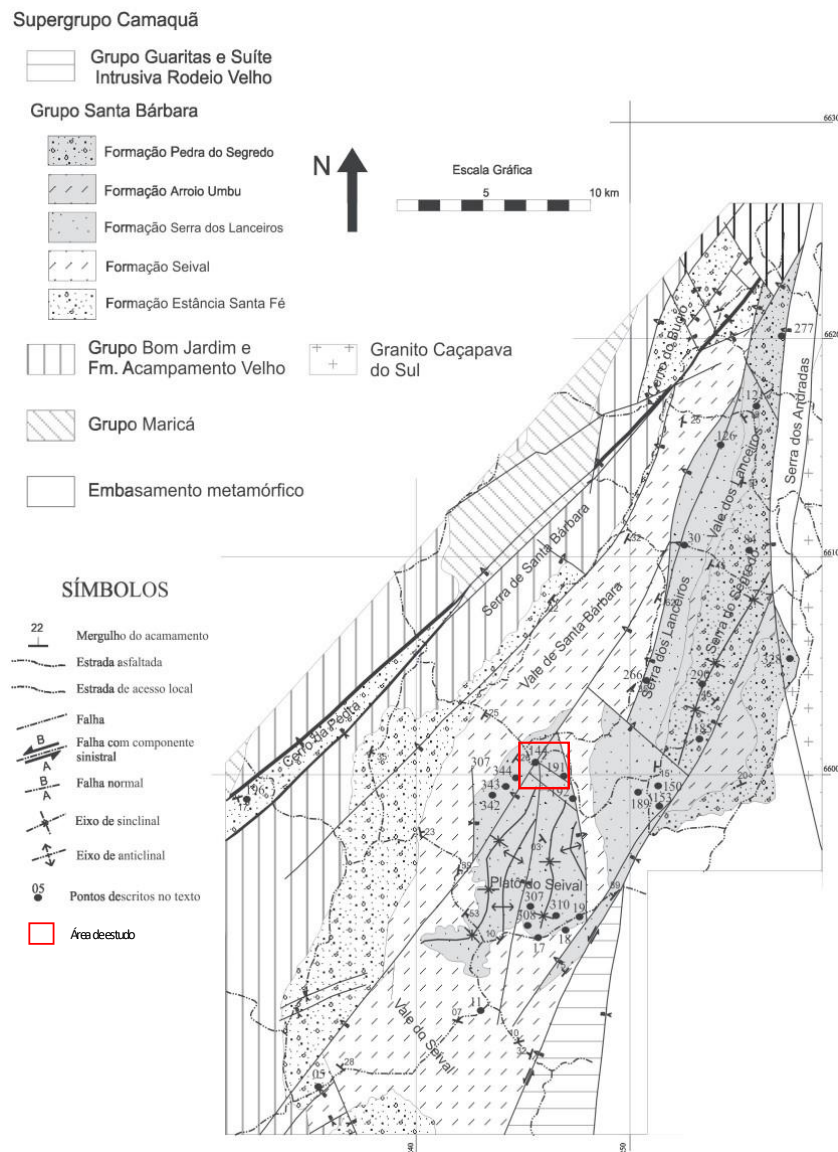
O Grupo Santa Bárbara (GSB) está inserido em três sub-bacias, nas Sub-Bacia Camaquã Ocidental e Oriental apresentam contínuas ocorrências, já na Sub-Bacia Camaquã Central ocorrem sob o Grupo Guaritas. O Alto de Caçapava do Sul demarca o limite com a Sub-Bacia Central. Seus limites retratam dois contatos erosivos com as unidades inferiores em duas regiões, uma delas a oeste, com as vulcânicas ácidas da

Formação Acampamento Velho, e no segundo limite, a sudoeste, nos andesitos do Grupo Bom Jardim (FAMBRINI et al., 2006).

Além disso, outros três limites são retratados: um a sul, com a presença dos conglomerados do Grupo Guaritas, com inconformidade angular, o qual recobrem o GSB; o segundo contato, a sudoeste, que recobrem o alto de Caçapava do Sul, com os arenitos eólicos; e o terceiro é referente ao contato com o Grupo Maricá em duas regiões, a noroeste, com as rochas sedimentares, sob o Grupo Bom Jardim, e a sudoeste com os diques correlacionado ao stock granítico de Lavras do Sul (FAMBRINI et al., 2006).

O Grupo Santa Bárbara é subdividido em cinco unidades litoestratigráficas, sendo elas as Formações Estância Santa Fé, Seival, Serra dos Lanceiros, Arroio Umbu e Pedra do Segredo (Figura 9).

Figura 9 – Mapa geológico do Grupo Santa Bárbara na Sub-Bacia Camaquã Ocidental. Área de estudo em vermelho.



Fonte: modificado de Fambrini et al. (2006).

6.4.1.1 Formação Estância Santa Fé (FESF)

A FESF é interpretada como incursão marinha, composta por conglomerados e arenitos aluviais, e por intervalos de siltitos e arenitos finos. Está localizada na proximidade de três regiões chamadas de Serra de Santa Bárbara, Colinas do Vale do Seival e nos morros do Cerro da Pedra (FAMBRINI et al., 2006).

Essa formação apresenta uma grande espessura, de aproximadamente 1200 metros, e é subdividida por três porções que retratam, ao longo da evolução sedimentar, o preenchimento padrão da Sub-Bacia Camaquã Ocidental (FRANBRINI

et al., 2006). Essas porções são classificadas em inferiores, intermediárias e superiores:

- A porção inferior da formação é representada por unidades de depósitos de leques aluviais, compostas por afloramentos de conglomerados estratificados associados a conglomerados fluviais, e por arenitos;
- A porção intermediária da formação é representada por unidades de depósitos costeiros, que se compõem de siltitos e arenitos finos;
- A porção superior da formação é representada por unidades de depósitos fluviais, compostas por depósitos de rios entrelaçados, onde estão presentes conglomerados com granodecrescência a arenitos médios a grossos.

6.4.1.2 Formação Seival (FS)

A FS é representada por rochas que afloram em três regiões na Sub-Bacia Camaquã Ocidental, duas delas localizadas nas porções do Vale e da Serra do Seival. A outra está na região do vale do Arroio Santa Bárbara (Figura 9). A FS apresenta contato um tanto quanto brusco com a Formação Estância Santa Fé, com variação de espessuras de decimétricas a métricas, sendo intercalados de siltitos arenosos de forma rítmica, e raros argilitos (FAMBRINI et al., 2006).

A formação Seival é subdividida, de acordo com Fambrini et al. (2006), em relação aos sistemas deposicionais, por duas sucessões, sendo descritas da base para o topo:

- A base é composta por ritmitos formados por intercalação entre siltitos e arenitos finos que apresentam constantes laminação cruzadas cavalgantes, além de estarem associadas a depósitos de baía estuarina;
- O topo possui ciclos métricos granodecrescentes compostos por arenitos médios a finos, posteriormente passando a ser ritmitos que são entendidos como depósitos de planície de marés.

6.4.1.3 Formação Serra do Lanceiros (FSL)

A FSL é representada pelas unidades que afloram nas regiões da Serra dos Lanceiros e no Platô do Seival, onde apresentam limites com a Formação Seival. Os limites com a Formação Seival são representados de duas formas: a leste, limitada pela Falha de Santa Bárbara, sobreposta às rochas metamórficas do alto de Caçapava do Sul e aos arenitos eólicos do Grupo Guaritas; e um limite na porção

inferior com a Formação Seival, onde há presença de discordância erosiva (FAMBRINI et al., 2006).

São característicos da Formação Serra dos Lanceiros depósitos de rios entrelaçados, semelhantes ao topo da Formação Estância Santa Fé. Predominam nessa unidade depósitos de dunas subaquáticas, compostas de arenitos grossos a médios com estratificação cruzada acanalada (fácies Aa) e cruzada tabular (fácies At), onde também ocorrem camadas de conglomerados (Tabela 1). Além disso, se caracterizam principalmente por dunas com cristas sinuosas de pequeno porte (fácies Aa). Predominam também arenitos conglomeráticos com estratificação cruzada tabular (fácies Acg) e conglomerados com estratificação plano-paralela (fácies Ce), onde esses apresentam camadas métricas a decamétricas, situadas próximas do topo da unidade, que representam uma mudança nos aspectos do sistema fluvial (FAMBRINI et al., 2006).

6.4.1.4 Formação Arroio Umbu (FAU)

A FAU é caracterizada como limite de baía estuarina da Formação Serra dos Lanceiros e dá início à frente deltaica de *bayhead* delta composta por arenitos, constituindo a Formação Arroio Umbu. As rochas da formação estão organizadas em camadas tabulares ou lenticulares de siltitos e arenitos finos, onde os siltitos se apresentam intercalados com dimensões das camadas variando entre decimétricas a métricas, com algumas gretas de contração em determinados locais. Junto a isso, ocorre também a presença de arenitos com granulometria que varia de tamanho médio a grosso, com dois tipos de estratificação: plano-paralela e cruzada acanalada (FAMBRINI et al., 2006).

6.4.1.5 Formação Pedra do Segredo (FPS)

A FPS é representada por rochas que afloram em duas porções da Sub-Bacia do Camaquã Ocidental, sendo uma delas localizada na região da Serra do Segredo e outra na porção leste do vale do Arroio dos Lanceiros, onde é presente em pequenas escarpas. Predominam nessa unidade arenitos finos a médios, com estratificação cruzada tabular e tangencial, referente a deltas intra-estuarinos progracionais de fácies de frente deltaica. Além do mais, acima dos arenitos de frente deltaica, verificam-se depósitos aluviais compostos por arenitos conglomeráticos a

conglomerados fluviais em granodecrescência, assim como a presença de leques aluviais (FAMBRINI et al., 2006).

Na porção superior, a FPS é composta pelas fácies Aa e Ap (Tabela 1). A fácies Aa são descritas por arenitos com estratificação cruzada acanalada e a fácies Ap é composta de conglomerados arenosos e por duas estratificações, cruzada acanalada e plano-paralela, apresentando seixos esparsos. Já as bordas da bacia são caracterizadas pela ocorrência de conglomerados maciços com presença de matacões de composição granítica com dimensões maiores a um metro (FAMBRINI et al., 2006).

Tabela 1 – Resumo das fácies sedimentares do Grupo Santa Bárbara.

Código	Fácies	Descrição	Interpretação
Cma	Conglomerados maciços de matriz argilosa	Conglomerados monomíticos matriz-suportados com matriz argilosa e fragmentos de diversos tamanhos, restritos a afloramentos isolados.	Fluxo de detritos, associados a leques aluviais proximais.
Cm	Conglomerados maciços	Conglomerados maciços monomíticos, sustentados por arcabouço constituído por clastos predominantemente da granulometria matacão ($\phi_{max} = 1m$).	Fluxo de detritos de porções proximais de leques aluviais com pouca matriz.
Ce	Conglomerados com estratificação plano-paralela	Conglomerados organizados em camadas tabulares métricas, sustentados pelo arcabouço ou por matriz arcoseana de granulometria de areia grossa, mal selecionada, com estratificação plano-paralela.	Fluxo não canalizado do tipo enchente em lençol de fácies de leques aluviais.
Acg	Arenitos conglomeráticos com estratificação cruzada tabular	Arenitos conglomeráticos com estratificação cruzada tabular de médio porte e feições métricas de corte e preenchimento. Geralmente sustentados por matriz arcoseana, mas com ocorrência de bolsões métricos de clastos imbricados, de granulometria seixo a calhau.	Barras longitudinais de sistemas fluviais de rios entrelaçados de granulometria grossa associados a leques aluviais
Am	Arenitos médios a finos maciços	Arenitos médios a finos maciços, bem litificados, sem estruturas aparentes, camadas individuais normalmente decimétricas tabulares de grande continuidade lateral.	Correntes de turbidez,
Ap	Arenitos com estratificação plano-paralela	Arenitos arcoseanos micáceos organizados em camadas tabulares de espessura decimétrica, com estratificação plano-paralela.	Fluxo laminar superior, associado a diversos processos de acordo com a associação em que se inserem.
Aa	Arenitos grossos a médios com estratificação cruzada acanalada	Arenitos arcoseanos e arenitos conglomeráticos com estratificação cruzada acanalada de pequeno e médio porte, por vezes com concentração de clastos nos estratos frontais.	Dunas subaquáticas em canais fluviais entrelaçados e canais estuarinos meandantes, ou de campos de dunas costeiras.
At	Arenitos com estratificações cruzadas tabulares	Arenitos médios a grossos feldspáticos, mal selecionados, com estratificações cruzadas tabulares de médio ângulo e pequeno e médio porte.	Barras longitudinais de rios entrelaçados, no caso da associação com Aa, e barras de maré, no caso da associação com Ath.
Acc	Arenitos finos e médios com laminação cruzada de corrente	Arenitos finos a médios, micáceos, com laminações cruzadas, por vezes cavalgantes, em camadas de centimétricas a decimétricas. Ocorrem marcas onduladas simétricas com base erosiva e dessemelhança estrutural nos estratos.	Correntes subaquáticas. Quando cavalgantes indicam ação conjunta de processos de tração e decantação. As de base reta, assimétricas e uni a bidirecionais sugerem derivação de correntes de turbidez ou lobos de suspensão deltaicos, as de base escavada e pluridirecionais de fluxo oscilatório ou combinado, sob ação de ondas.
Ao	Arenitos finos com marcas onduladas	Arenitos finos, micáceos, acastanhados, com preservação da forma de marcas onduladas geralmente assimétricas no topo das camadas.	Correntes subaquáticas, na maioria dos casos de pouca profundidade.
H	Arenitos e siltitos heterolíticos	Arenitos ricos em marcas onduladas dispostos em camadas centimétricas com siltitos argilosos depositados nas calhas das marcas onduladas, de topos ondulados.	Alternância de processos de tração e decantação em ambientes de planícies de maré, arenosa, mista ou argilosa.
Ath	Arenitos finos com estratificação cruzada tangencial e lâminas heterolíticas argilosas	Arenitos finos com estratificações cruzadas tangenciais de pequeno e raramente médio porte, com profusão de intercalações de lâminas argilosas e freqüente presença de intraclastos argilosos nos <i>foresets</i> . Camadas decimétricas descontínuas, mas com limites bem definidos tendendo a tabulares.	Variação de energia de correntes, com freqüente interrupção da corrente geradora da barra arenosa e deposição de argila por decantação seguida por retomada da atividade da corrente, por vezes gerando fragmentação de camadas argilosas anteriores e formação de intraclastos. Caracterizam barras de sub-maré.
Sl	Siltitos e arenitos finos laminados	Siltitos e arenitos finos a muito finos, muito micáceos, com laminação plano-paralela, em camadas geralmente tabulares, e raramente lenticulares, de espessura centimétrica a decimétrica.	Correntes subaquáticas predominantemente de regime de fluxo inferior.

Fonte: extraído de Fambrini et al. (2006).

7. TRABALHOS ANTERIORES

7.1 Estruturas Rúpteis no Escudo Sul-rio-grandense (ESrg)

Até meados do ano de 1960 não se tinha um grande conhecimento sobre a tectônica do Rio Grande do Sul. A mais conhecida na época era a Falha do Leão, até o momento em que surge o estudo referente ao projeto de conhecimento do Manto Superior, onde foi acrescentado um trabalho sobre sistemas de falhas que cortam essa região para estimular as pesquisas (PICADA, 1971).

Picada (1971) realizou estudos na parte central do ESrg, com foco nos sistemas de falhas que cortam a região nas direções nordeste-sudoeste, ao longo de grandes falhamentos em escalas 1:250.000, que durante o tempo geológico apresentaram reativação das fraturas no ESrg. Aquele autor destaca quatro principais sistemas de falhamentos: o Lineamento Vigia-Roque, o Lineamento Passo do Marinheiro, o Lineamento Açotéia-Piquirí e um sistema secundário denominado de Falhas Noroeste (PICADA, 1971).

O Lineamento Vigia-Roque compreende um sistema de falha com direção N 40° E, sendo mais antigo falhamento, ao qual se compreende como responsável por posicionar corpos de granitos e migmatitos, e cataclasitos e milonitos.

O Lineamento Passo do Marinheiro apresenta sistema de falha transcorrente de direção N-S, com variações de N 2° W a N 15° E. Já o Lineamento Açotéia-Piquirí é determinado por sistemas de falhas de direção N 30° E, que variam em N 20° a 35° E, com movimento vertical que dá origem a horts e grabens.

O Sistema de Falhas Noroeste é representado por falhas transcorrentes de direção N 70° W, secundário às falhas descrita anteriormente (PICADA, 1971).

Ribeiro (1980) faz um estudo, por meio de imagens de radar, com intuito de analisar o conteúdo geológico da área, além de identificar os principais lineamentos estruturais do ESrg ao observar estruturas regulares e retilíneas. Junto a isso, teve como foco as três estruturas com direção NW-SE na parte central do escudo, as quais são chamadas de Lineamentos Canguçu-Santana da Boa Vista-Caçapava do Sul, Piratini-Minas do Camaquã-Ramada, e Arroio Grande-Pedras Altas-Torquato Severo-Coronel Linhares.

Os três lineamentos são descritos como Geossuturas de cisalhamentos. Além disso, são descritos como lineamentos regionais que retratam grandes importâncias em relações às atividades magmáticas, mineralizações e deformações orogênicas,

além de descrever a predominância das estruturas em lineamentos primários de direção NE-SW, as quais são mais salientes. Já os lineamentos de direção NW-SE são considerados como secundários e estão ligados aos movimentos transcorrentes junto com uma série de diques de diábasio que preenchem as fraturas NW-SE (RIBEIRO, 1980).

Trevisol (2007) realizou a caracterização estrutural do Sistema de Falhas Santa Bárbara entre as cidades de Caçapava do Sul e Lavras do Sul – RS, de modo a realizar uma análise por imagens de radar para destacar os grandes lineamentos com orientação NE-SW presentes na região. Além disso, utiliza-se de métodos geofísicos para analisar afloramentos em áreas de influência principal dos lineamentos, além de caracterizar o Sistema de Falha de Santa Bárbara como um sistema de falhas transcorrentes sinistral.

Sousa (2019) também utiliza dados de sensoriamento remoto e geofísicos aeromagnéticos para caracterizar lineamentos de direção NE-SW, que representam zonas de cisalhamento seguidas por fraturas de direção NW-SE extencionais, e fissuras que foram preenchidas por diques máficos, na região do Cerrito do Ouro, no município de São Sepé.

8. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido em quatro etapas principais: Revisão Bibliográfica, Sensoriamento Remoto (SR) e Sistema de Informação Geográficas (SIG), Pesquisa de Campo e Interpretação de dados de Campo.

8.1 Revisão Bibliográfica

O processo base do trabalho originou-se numa revisão bibliográfica de trabalhos anteriores que descrevem as estruturas do Escudo Sul-rio-grandense, principalmente no foco das estruturas de direção NW-SE na região da área de estudo. Para isso, realizou-se etapas como leitura de artigos, teses, dissertações e mapas que tivessem propósitos semelhantes ao trabalho, com intuito de contemplar as áreas de geologia estrutural rúptil e sensoriamento remoto.

8.2 Sensoriamento Remoto (SR) e Sistema de Informação Geográficas (SIG)

A fim de caracterizar e mapear a área de estudo, utilizou-se técnicas de sensoriamento remoto para caracterizar lineamentos geomorfológicos em quatro direções preferenciais, com o propósito de catalogar o quanto essas estruturas são predominantes. Além disso, identificou-se as principais drenagens, afloramentos e vias de acesso, proporcionando um banco de dados completo das características principais da área de estudo.

Na etapa de sensoriamento remoto e cadastro de informações em base SIG foi possível gerar um banco de dados com a utilização de imagens de satélite e raster para gerar modelos de elevação sombreados obtidos no TOPODATA (Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil), com uma resolução de 30 metros, e no ALOS PALSAR (*Advanced Land Observing Satellite; Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar*), com uma resolução de 12,5 metros.

Para identificação das feições geomorfológicas foi usada iluminação em diferentes direções no relevo sombreado, sendo elas: 045° (NW-SE), 090° (E-W), 315° (NE-SW) e 360° (N-S). Para realização do processo foi usado o *Software* QGIS 3.16, versão gratuita, onde foi utilizado para gerar mapas em diferentes escalas, de 1:250.000, 1:100.000 e 1:50.000, para melhor realçar as estruturas presentes.

8.3 Pesquisa de Campo

Nesta etapa foram utilizados os produtos anteriormente gerados para realizar o mapeamento geológico e estrutural na escala de 1:250.000 e, realizar a descrição das estruturas e rochas da área. Nesta fase, ocorreu a utilização de equipamentos e materiais indispensáveis para um geólogo, como mapas geológicos, estruturais, topográficos e hidrológicos, além de caderneta de campo, martelo geológico, lupa de mão, GPS (*Global Position System*) e Bússola Geológica Tipo Brunton. Partes dos equipamentos foi disponibilizados pela UNIPAMPA.

Foi realizado um mapeamento geológico e estrutural para caracterizar a geologia e as estruturas da rocha, no qual utilizou a notação em *Dip Direction*. Essa etapa visou entender os processos deformacionais que possam determinar o deslocamento de blocos na área de estudo, frequentemente descritos na região (RIBEIRO, 1980; TREVISOL, 2007).

8.4 Interpretação de dados de campo

A interpretação dos dados foi realizada através do uso do *software* Stereonet 11 (ALLMENDINGER & CARDOZO, 2021) para elaboração de estereogramas e diagramas de rosetas, com intenção de mostrar por meio de representações gráficas as interpretações estruturais dos dados coletados em campo e dos gerados por sensoriamento remoto. Dessa forma, foi possível identificar e determinar as direções preferenciais das fraturas, falhas e dobras. Essa etapa visou, fundamentalmente, integrar os dados de sensoriamento remoto com os dados de campo.

Em laboratório, as amostras de rochas coletadas em campo foram descritas com o auxílio de lupa de mão. Após a descrição, foram batidas fotos com auxílio de iluminação e, posteriormente, realizado edição no *software* *Inkscape*.

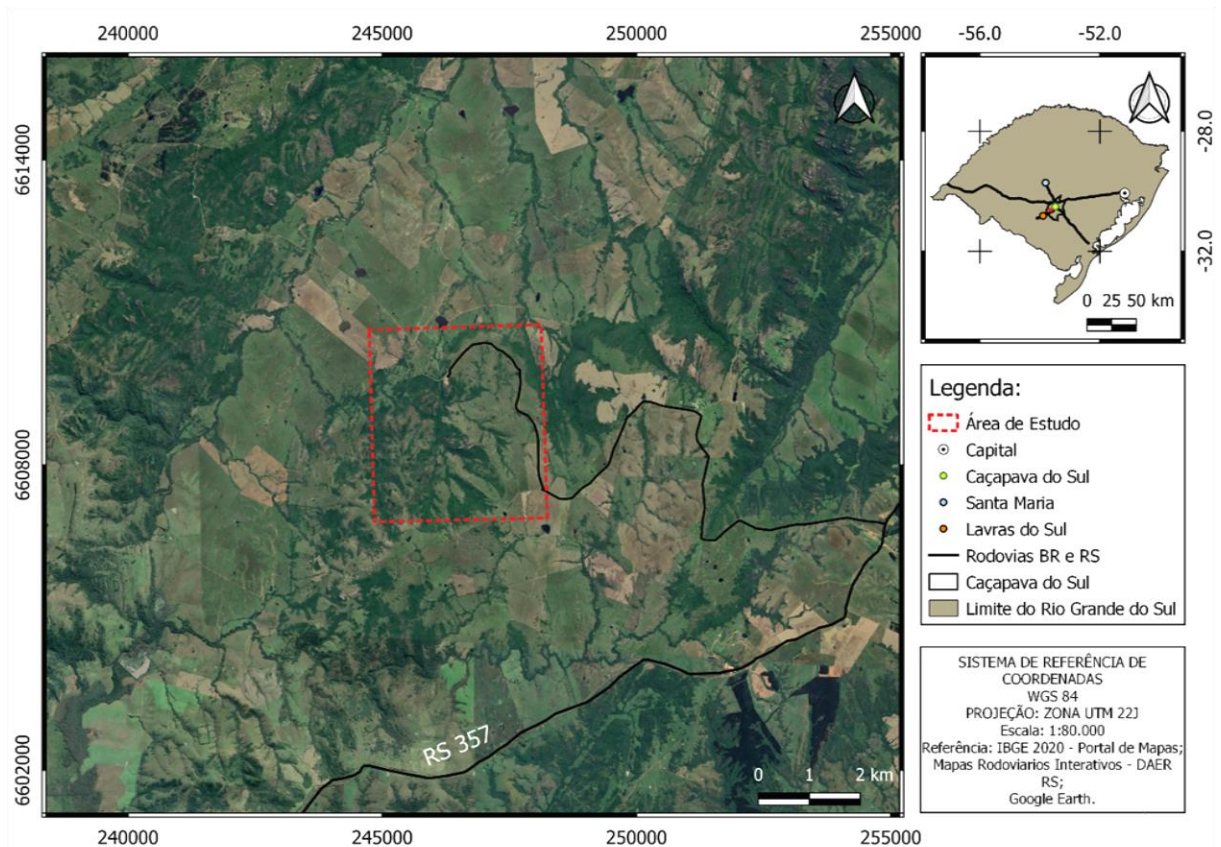
Após análise e o tratamento dos dados e das amostras foram confeccionados os mapas geológicos e estruturais da área de estudo, assim como a elaboração dos estereogramas e diagramas de roseta para melhor representar as análises dos comportamentos estruturais.

9. RESULTADOS

9.1 Sensoriamento Remoto

No primeiro momento realizou-se um pré-campo na área de estudo e no seu entorno, com a intenção de planejar os trabalhos de campo e reconhecer vias de acesso, além de identificar locais com maiores ocorrências de afloramentos. Com base no *software* QGIS utilizou-se o complemento *QuickMapServices*, onde foi possível obter imagens de satélite do *Google Earth* (Figura 10) já georreferenciadas no sistema de coordenadas WGS 84.

Figura 10 – Mapa de localização e imagem de satélite da área de estudo e entorno, obtidas a partir do uso do complemento *QuickMapServices*, no *software* QGIS.



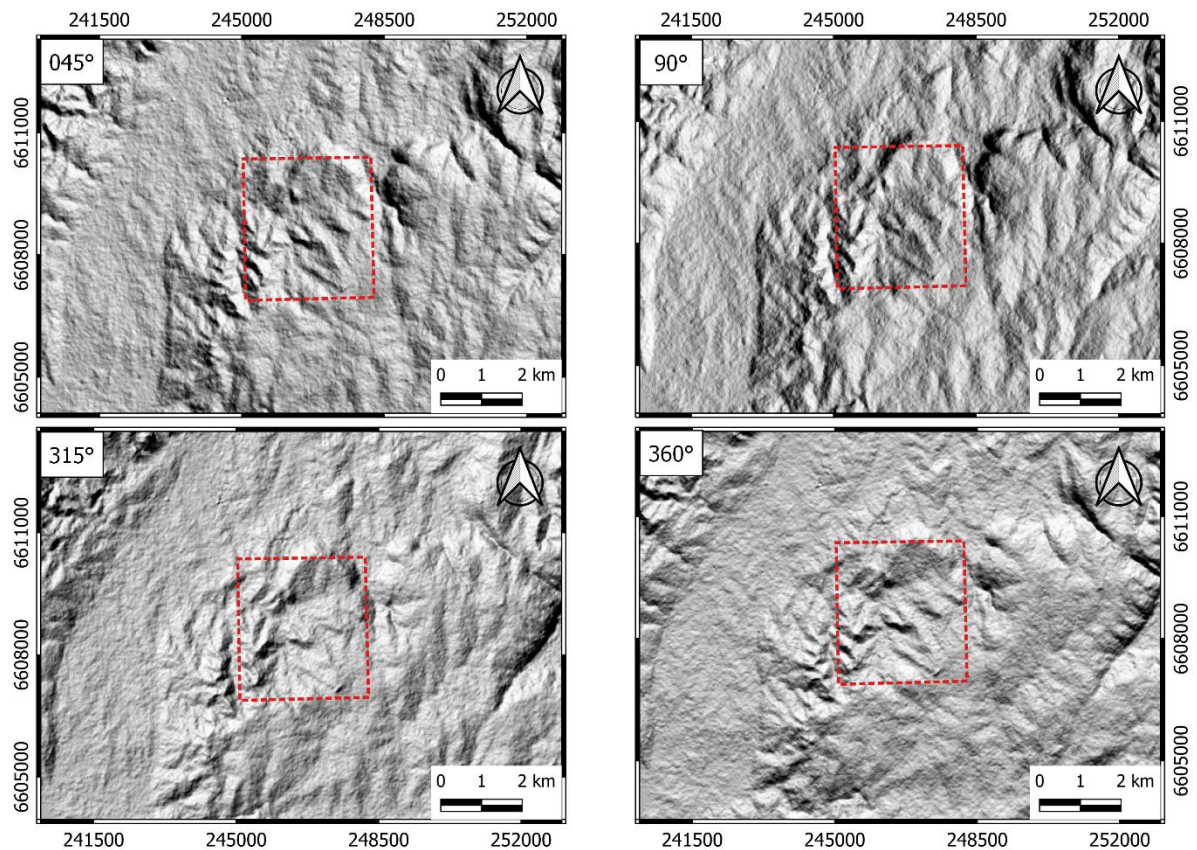
Fonte: autor.

A partir das imagens do TOPODATA (Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil), com uma resolução de 30 metros, foi possível realizar a identificação dos lineamentos em escala 1:250.000. Já no ALOS PALSAR (*Advanced Land Observing Satellite; Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar*), com uma resolução de

12,5 metros, foi possível executar a identificação dos lineamentos nas escalas 1:100.000 e 1:50.000.

Com base nos dois bancos de dados foi possível obter quatro modelos de relevo sombreados (Figura 11), nas direções 045°, 090°, 315° e 360°, de modo a ser possível destacar as estruturas NE-SW, NW-SE, N-S e E-W, respectivamente. Dessa forma, foi possível identificar e reconhecer os lineamentos geomorfológicos nas três escalas: 1:250.000, 1:100.000 e 1:50.000.

Figura 11 – Modelos digitais do relevo sombreado da área de estudo com exagero vertical de 3x. Utilizou-se de inclinação solar nas direções 045°, 090°, 315° e 360°, identificada na porção superior esquerda de cada imagem.



Fonte: autor, a partir das imagens do Alos Palsar e Topodata.

9.1.1 Lineamentos

Inicialmente foi realizado, por meio de sensoriamento remoto, a análise dos lineamentos em três diferentes escalas (1:250.000; 1:100.000 e 1:50.000) na área estudo e nos arredores. Foram identificados lineamentos de altos e baixos topográficos nas quatro direções predominantes (NW-SE; NE-SW; N-S e E-W), no qual o predomínio maior é com *trend* NW-SE, seguido da direção NE-SW, os dois

representando os lineamentos mais contínuos. Já as direções N-S e E-W representam os lineamentos menos contínuos e de menor quantidade, quando comparados com as duas direções predominantes.

Os mapas confeccionados foram gerados na mesma escala de análise dos lineamentos traçados, com propósito de mostrar a mudança que ocorre ao analisar os lineamentos nas diferentes escalas. A mudança entre os três mapas são as escalas de zoom que foi gerada para melhor realçar a identificação e análise das estruturas.

9.1.1.1 Lineamentos 1:250.000

Foram analisados lineamentos regionais na escala de 1:250.000 (Figura 12) na área de estudo e arredores, onde foram identificadas quatro direções preferenciais. Nesta escala o predomínio maior são os lineamentos com *trend* NE-SW, seguidos pelos lineamentos com direção NW-SE. Foram identificados também lineamentos com direção N-S seguidos pela direção E-W, que apresentam a menor frequência em relação às quatro direções preferenciais.

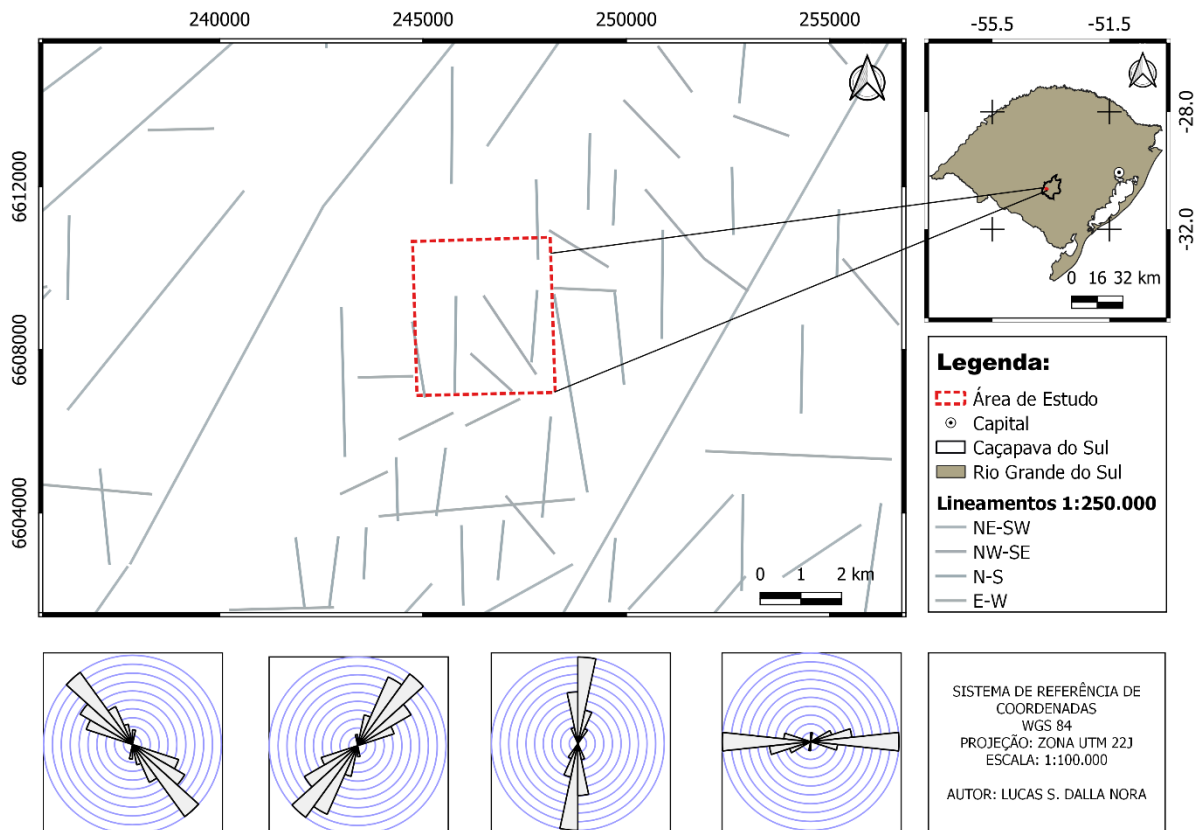
Os lineamentos de direção NE-SW apresentam uma maior frequência e continuidade espacial, além de apresentar uma maior variação de direção entre as direções ENE-WSW e NNE-SSW, como mostra nos diagramas de rosetas na figura 12. Essa direção também é bem demarcada no Escudo do Rio Grande do Sul, conforme relatado por Ribeiro (1980), com espaçamento médio padrão entre as estruturas mais contínuas e retilíneas.

Já os lineamentos NW-SE são menos contínuos e frequentes do que a direção NE-SW, tendo o predomínio para o azimute 315°. Logo, apresentam variações entre as direções NNW-SSE e WNW-ESE, além de serem também mais frequentes na área de estudo.

Os lineamentos de direção N-S são menores e bem mais fragmentados que as duas direções preferenciais, mas sendo mais relevantes na região de estudo do que a direção NE-SW. Já na direção E-W são pouco expressivos e com baixa relevância na área de estudo.

Nesta escala, os lineamentos NE-SW tendem a ser mais prolongados do que na direção NW-SE, que têm uma menor continuidade, mas sendo os NW-SE e N-S mais importantes na área de estudo. Já os lineamentos de direção E-W são menos representativos.

Figura 12 – Mapa dos lineamentos geomorfológicos em escala de 1:250.000 e respectivos diagramas de rosetas das quatro direções preferenciais.



Fonte: autor, a partir das imagens Alos Palsar e do Topodata, e diagramas de roseta gerados pelo *software* Stereonet 11.

9.1.1.2 Lineamentos 1:100.000

Em uma escala mais local, analisou-se lineamentos na escala de 1:100.000 (Figura 13), onde foi possível observar uma representatividade em quatro direções preferenciais. A direção de maior continuidade foi a NW-SE, seguida pela direção N-S, NE-SW e, por fim, a E-W. As direções NW-SE e N-S são as mais representativas na área de estudo.

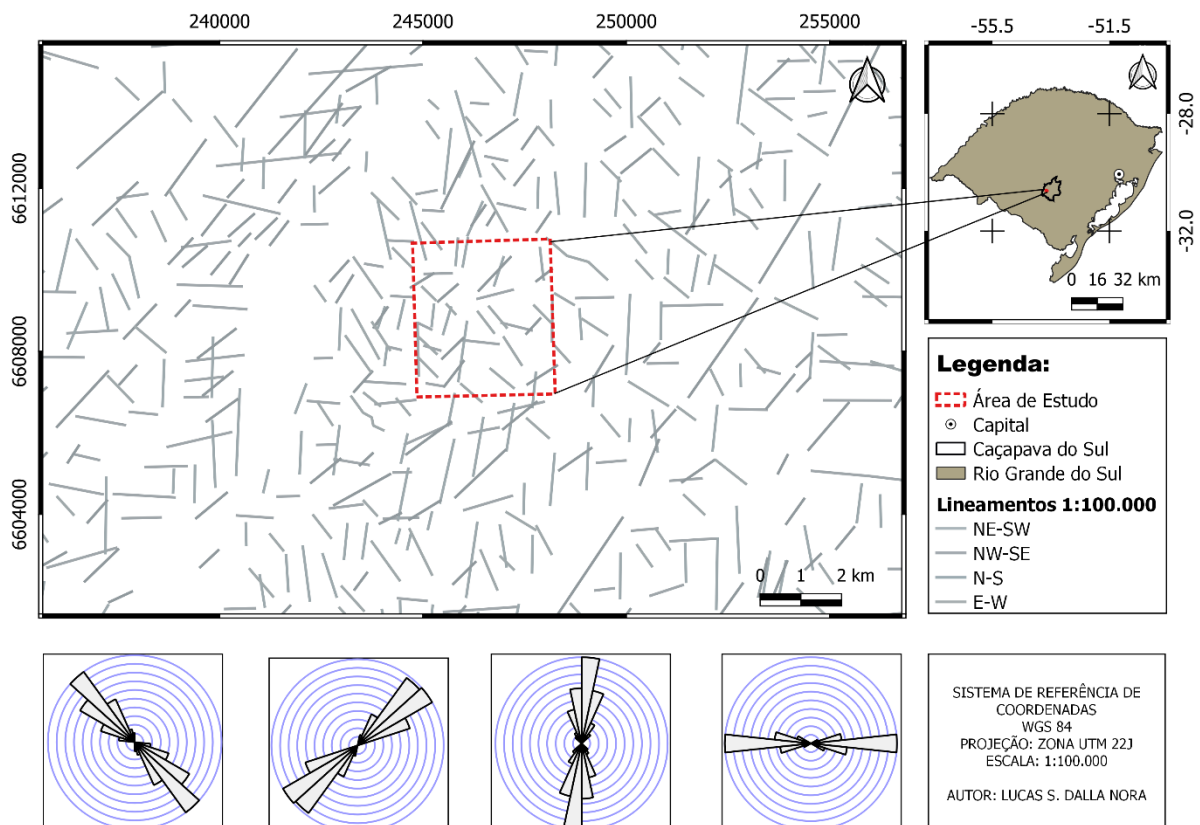
Os lineamentos de direção NW-SE apresentam a maior frequência e representatividade, com uma variação de direção entre NNW-SSE e WNW-ESSE, como mostra o diagrama de roseta (Figura 13). Na área de estudo ocorre a intersecção desses lineamentos com os de direção N-S e E-W.

A segunda direção mais preponderante é a direção N-S, onde apresenta uma variação entre as direções NNE-SSW e NNW-SSE. Já os lineamentos E-W apresentam uma menor continuidade espacial, além de apresentar pouca variação.

Os lineamentos de direção NE-SW apresentam uma menor representatividade nessa escala, mas continuam com a maior continuidade ao comparar com as outras três direções.

Ao analisar as escalas de 1:100.000 com a de 1:250.000, notou-se um aumento no predomínio em três direções NW-SE, N-S e E-W. Todos esses são lineamentos mais fragmentados nas suas respectivas direções, mas com uma maior frequência e intercessão entre os mesmos. Já na direção NE-SW ocorreu uma diminuição na continuidade espacial dos lineamentos, acarretando uma maior fragmentação e uma menor frequência nesta escala.

Figura 13 – Mapa dos lineamentos geomorfológicos em escala de 1:100.000 e respectivos diagramas de rosetas das quatro direções preferenciais.



Fonte: autor, a partir das imagens Alos Palsar e do Topodata, e diagramas de roseta gerados pelo software Stereonet 11.

9.1.1.3 Lineamentos 1:50.000

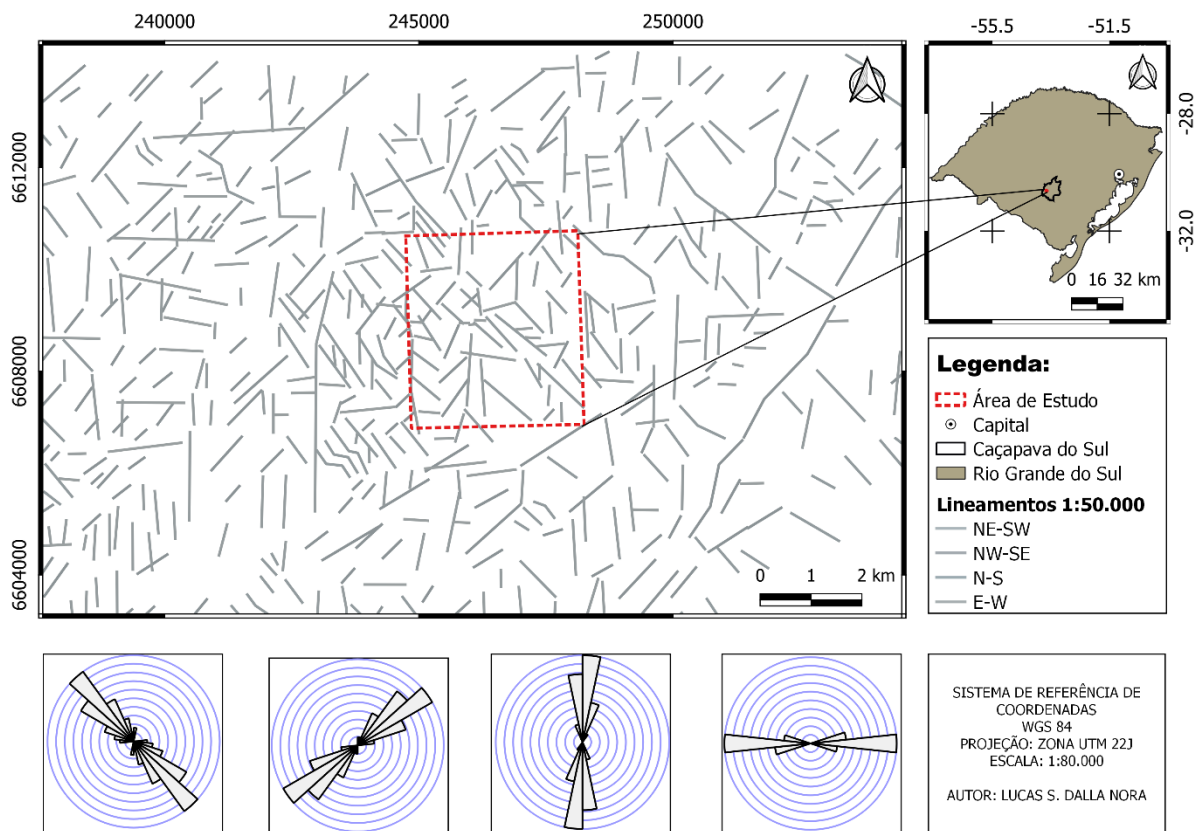
A análise em escala de mais detalhe dos lineamentos de 1:50.000, possibilitou identificar quatro direções preferenciais: NW-SE, N-S, NE-SW e E-W, possibilitando observar lineamentos mais descontínuos em escala mais local. As direções NW-SE, N-S e NE-SW são mais representativas na área de estudo.

Os lineamentos de direção NW-SE apresentam uma maior frequência, representação e continuidade espacial, além de ocorrer uma variação entre as direções NNW-SSE e WNW-ESE e intersecção do mesmo com lineamentos N-S e E-W. Os lineamentos NW são mais fragmentados, descontínuos e muito representativos na área de estudo, como mostra nos diagramas de rosetas na figura 14.

Os lineamentos N-S apresentam um maior predomínio em escalas de mais detalhe, onde ocorrem momentos de intersecção com lineamentos de direção NW-SE e E-W. Além disso, apresentam um aumento na variação entre as direções NNE-SSW a NNW-SSE, como também no seu comprimento espacial.

Observa-se nos lineamentos NE-SW uma maior frequência e comprimento espacial, com uma variação entre as direções NNW-SSE e WNW-ESE. Já os lineamentos E-W apresentam um leve aumento na frequência, mas continuam como a direção de menor representatividade.

Figura 14 – Mapa dos lineamentos geomorfológicos em escala de 1:50.000 e respectivos diagramas de rosetas das quatro direções preferenciais.



Fonte: autor, a partir das imagens do Alos Palsar e Topodata, e diagramas de roseta gerados pelo software Stereonet 11.

9.1.1.4 Síntese dos Lineamentos

Ao analisar os lineamentos na escala de menor detalhe (1:250.000) para escala de maior detalhe (1:50.000), revela uma mudança nas características dos lineamentos nas quatro direções preferenciais. Portanto, observou-se que quanto maior for a escala de detalhe, mais descontínuos são os lineamentos.

Os lineamentos nas diferentes escalas analisadas mostram uma mudança na frequência e continuidade espacial nas quatro direções preferenciais (NW-SE; NE-SW; N-S e E-W), demonstrando uma maior fragmentação dos lineamentos quando analisado em escala de mais detalhe.

Quando analisado os lineamentos nos arredores da área de estudo, estes demonstraram a possibilidade de estarem associados a zonas de falhas da região.

Na região mais a Oeste (W) os lineamentos de direção NE-SW podem estar associados ao Sistema de falhas Irapuá, onde estariam as zonas de Falha de Santa

Bárbara, Cerro dos Cabritos e a Falha do Perau (RIBEIRO et al., 1996; TREVISOL, 2007).

Já na porção a Leste (E) os lineamentos, também de direção NE-SW, podem estar associados a Falha do Segredo, descrita por Trevisol (2007), além da falha com componente sinistral, descrita por Frambrini et al. (2006).

9.2 Geomorfologia

Os lineamentos geomorfológicos, descritos e analisados anteriormente, retratam as feições morfológicas do relevo, abrangendo as porções regionais e locais da região. Em campo identificou-se as principais feições geomorfológicas que ocorrem na área de estudo.

A investigação em campo concentrou-se primeiramente na análise regional, abrangendo desde o Leste (E), no alto de Caçapava do Sul, até a Serra de Santa Bárbara, a Oeste (W). Por fim, foi realizada uma análise do terreno mais local, na área de estudo, localizada entre os dois altos topográficos relatados anteriormente.

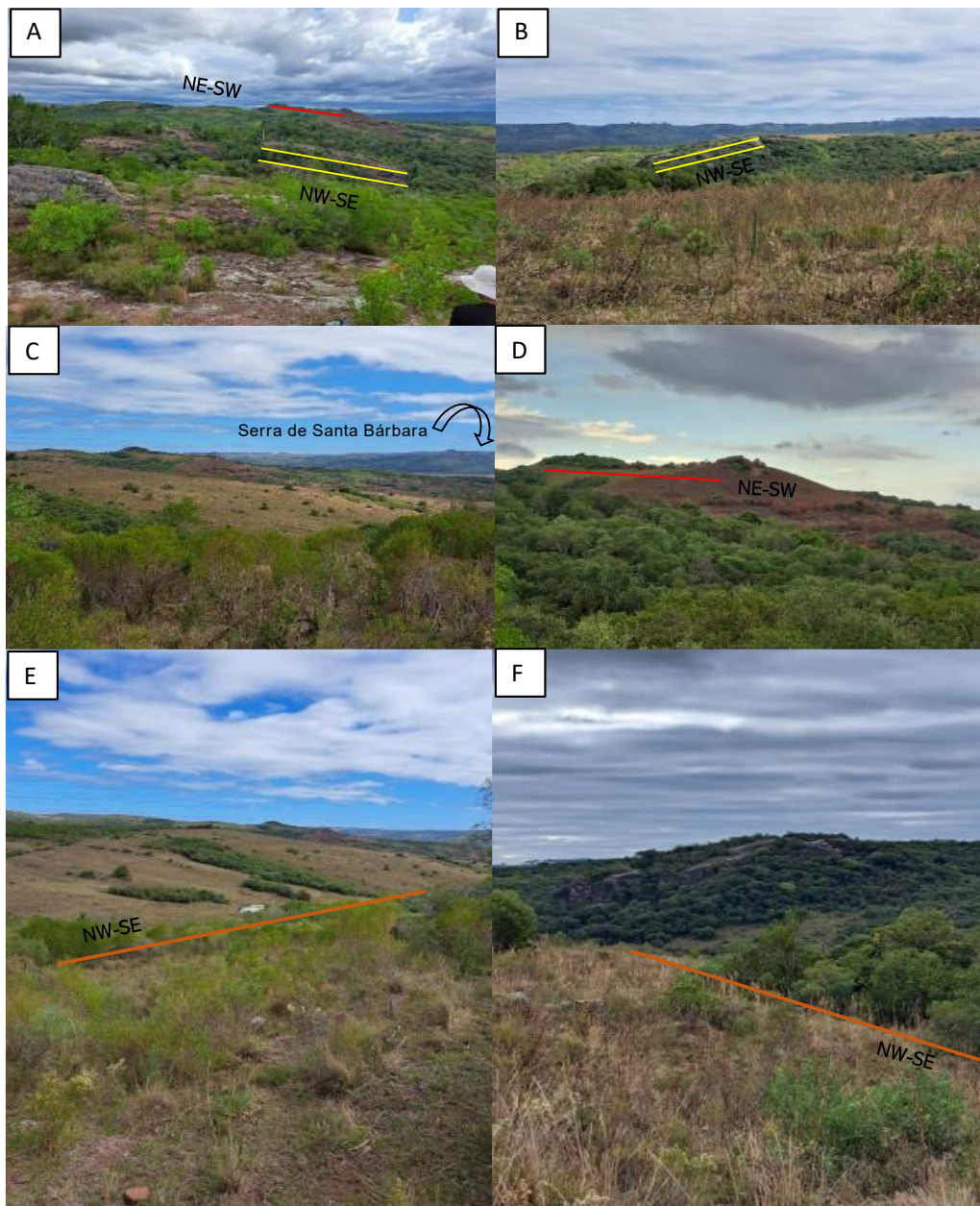
Na análise regional caracterizam nas suas extremidades dois altos topográficos que ocorrem em uma direção preferencial NE-SW, com encostas íngremes na porção a Oeste (W) e um relevo pouco mais suave a Leste (E), representando as regiões onde ocorrem os lineamentos com maior continuidade espacial.

Na porção mais central, em uma análise mais local, está localizado o Vale de Santa Bárbara, representado por um relevo mais plano, constituído de colinas suavemente onduladas. É uma região onde as feições geomorfológicas caracterizam os principais lineamentos de direção NW-SE, onde esses estão associados principalmente a drenagens afluentes do Arroio Santa Bárbara (Figura 15).

O relevo local da área de estudo tem característica de um relevo suavemente ondulado de direção NE-SW, corroborando com as medidas realizadas em campo. Em determinados locais apresenta um declive mais acentuado, junto aos lineamentos de baixos topográficos com direção NW-SE, no qual estas feições desenvolvem-se a partir de processos erosivos atuantes de modo direto sobre as zonas de maior fraqueza, associadas a fraturas e falhas.

Figura 15 – Características do relevo na área de estudo e arredores. Na foto A, em linhas amarelas, está o acamamento sedimentar de direção NW e na linha em vermelho está o eixo de uma dobra regional NE-SW. Na foto B, em amarelo, estão as linhas do acamamento sedimentar na direção SE. A foto C demonstra o relevo dos arredores, da Serra da Santa Bárbara. Na foto D, em linha vermelha,

está o eixo de uma dobra regional em mais detalhe. Nas fotos E e F, em laranja, está o lineamento marcado sobre uma escarpa do terreno.



Fonte: autor.

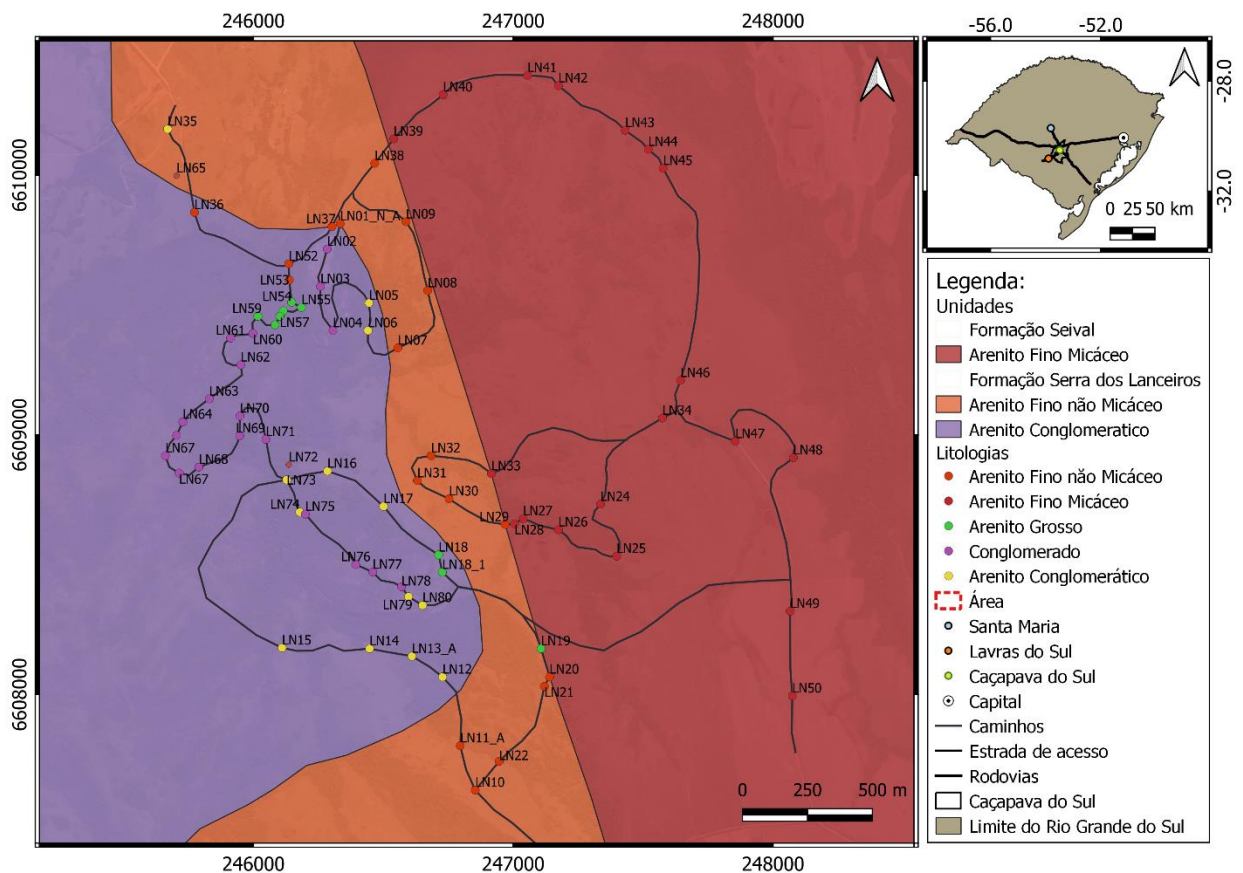
9.3 Mapeamento Geológico Estrutural

Os trabalhos de campo realizados tiveram por objetivo reconhecer as estruturas e litologias que ocorrem nas proximidades do Cerro da Ponta de Santa Bárbara. Portanto, baseado na interpretação dos lineamentos da área de estudo, foi possível observar três lineamentos de direção NW-SE que cortam o cerro, além de dois lineamentos N-S. Desta forma, o trabalho de campo foi realizado preferencialmente

ao longo desses lineamentos, com intuito de reconhecer as estruturas e litologias características.

Foram realizados e descritos 82 pontos em cinco dias de trabalho, em uma área de aproximadamente 13 km², totalizando um percurso total de 20 km. Destes pontos, 73 pontos apresentaram dados estruturais significativos, possibilitando identificar zonas de fraturas e acamamento sedimentar (S0), além de definir as litologias presentes na área, representando-as no mapa da Figura 16.

Figura 16 – Mapa com todos os pontos e caminhos percorridos e as suas respectivas litologias.



Fonte: autor.

As rochas encontradas em campo pertencem ao Grupo Santa Bárbara, referentes às unidades geológicas da Formação Seival (FS) e da Formação Serra dos Lanceiros (FSL), diferenciando-as pela granulometria, que vai aumentando da FS ao topo da FSL.

As rochas são compostas por cinco diferentes tipos: (I) Arenito Fino; (II) Arenito Fino Micáceo; (III) Arenito Grosso; (IV) Arenito Conglomerático; e (V) Conglomerados. Com isso, foi produzido o mapa geológico apresentado na figura 23.

9.3.1 Rochas Sedimentares

As rochas sedimentares são encontradas em toda a área mapeada, onde foram descritos os 82 pontos. Abaixo são descritas as cinco fácies sedimentares encontradas da Formação Seival e da Formação Serra dos Lanceiros.

9.3.1 Arenito Fino

9.3.1.1 Arenito Fino Micáceo

Os arenitos finos micáceos são encontrados em afloramento do tipo lajedos e apresentam uma coloração marrom avermelhada. A textura da rocha apresenta-se bem selecionada, predominantemente nos altos topográficos, com presença de intraclastos de lammas, marcas de onda e estratificação cruzada (Figura 17). A proporção do arcabouço são grãos de tamanho que variam entre 0,07 e 0,3 mm, com formas subarredondados a subangulares, de composição mineralógica de quartzo, feldspato potássico e micas.

Algumas características importantes dos arenitos finos micáceos ocorrem em determinados pontos relatados abaixo.

Nos pontos LN-23 e LN-24 ocorre granodecrescência ascendente, intraclastos de lama, além de estratificação cruzada e marcas de ondas.

Entres os pontos LN-25 a LN-28 e LN-47 a LN-49, apresenta-se nos arenitos porções mais rítmicas, com presença de intraclastos de lama e estratificação cruzada.

No ponto LN-38, além de estratificação cruzada, há também presença de greta de contração e marcas de ondas. Nos pontos LN-46, LN-52 e LN-53 há presença de intraclastos de lama.

Figura 17 – Fotos das características encontradas na área de estudo. Na foto A, está uma amostra do arenito fino micáceo. Nas fotos B e C estão as marcas de ondas encontradas.



Fonte: autor.

9.3.1.2 Arenito Fino

Os arenitos finos não micáceo são encontrados em afloramento do tipo lajeados e apresentam uma coloração marrom avermelhada. A textura da rocha apresenta-se bem selecionada. Eles ocorrem predominantemente na porção mais oeste (W), nos baixos topográficos, além de ocorrer intercalação de lama e areia, porção essa mais rítmicas (Figura 18). A proporção do arcabouço é de grãos com granulometria que varia entre 0,08 e 0,3 mm, com forma dos grãos subarredondados a subangulares, de composição mineralógica de quartzo e feldspato potássico.

Os arenitos finos em alguns pontos apresentam características importantes, relatadas abaixo.

Nos pontos LN-01, LN-07 a LN-09 e no LN-34 ocorrem marcas de ondas com presença de intraclastos de lama e estratificação plano paralela no ponto LN-07.

Figura 18 – Principais características de campo dos arenitos finos. A foto A demonstra a ocorrência de marcas de ondas. A foto B mostra afloramento com estratificação plano paralela.



Fonte: autor.

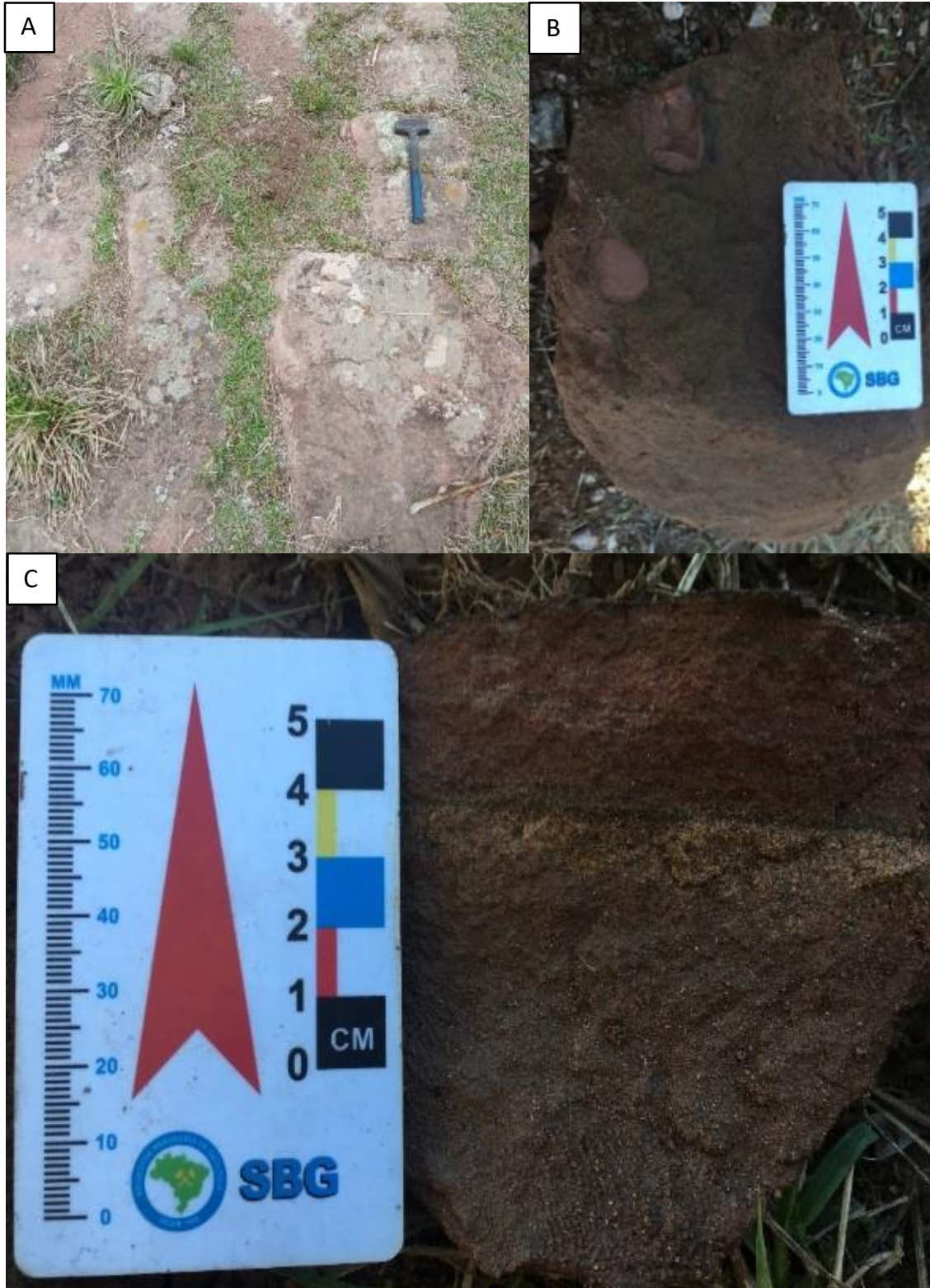
9.3.1.3 Arenito Grosso

Os arenitos grossos são encontrados de forma natural em afloramentos dispersos do tipo lajedos, com uma coloração predominante marrom avermelhada. A rocha apresenta-se uma textura com grãos mal selecionados, presente em algumas porções intercalações com arenito médio e com presença de intraclastos de lama de coloração marrom alaranjada, onde ocorre uma variação de tamanho entre 0,5 e 4 cm. A granulometria dos grãos varia entre 0,4 e 1,5 mm, com formato subarredondados a subangulares, de composição mineralógica de quartzo e feldspato potássico.

O arenito grosso em alguns pontos apresenta características importantes, expressados abaixo.

Nos pontos LN-19, LN54 e LN-58 há presença de clastos dispersos, além de ocorrência de intraclastos de lama. Já entre os pontos LN-55 a LN-57 ocorre intercalação com arenito médio (Figura 19).

Figura 19 – Características gerais do arenito grosso. Na foto A estão os típicos afloramentos encontrados. Na foto B está uma amostra do arenito grosso com intraclastos de lama. A foto C apresenta uma amostra com intercalação de arenito grosso e arenito médio.



Fonte: autor.

9.3.1.4 Arenito Conglomerático

Os arenitos conglomeráticos são encontrados forma natural em afloramento do tipo lajedos e apresentam uma coloração cinza avermelhada. A textura da rocha apresenta-se mal selecionada, em algumas porções ocorre intercalação com lentes de arenito, essa de coloração avermelhada e, em alguns momentos, acontece presença de estratificação cruzada acanalada de pequeno e médio porte (Figura 20).

O arcabouço é constituído por clastos com tamanhos que variam de seixo a bloco (1 a 15 cm). Apenas na porção a Oeste ocorre aumento no tamanho dos clastos em até 30 cm, classificado em matacão, compostos por formas de clastos subarredondados a subangulares, de composição Ígnea e metamórfica. A matriz é composta por uma areia média a grossa, de mesma composição do arcabouço.

Nos pontos LN-06, LN-74, LN-80 e LN82 ocorrem lentes de arenito médio a grosso. Já nos pontos LN-14 e LN-79 há ocorrência de estratificação cruzada acanalada.

Figura 20 – Aspectos gerais dos afloramentos de arenitos conglomerático. A foto A apresenta ocorrência de lentes de arenito. Na foto B ocorre típico afloramento de arenito conglomerático encontrado.



Fonte: autor.

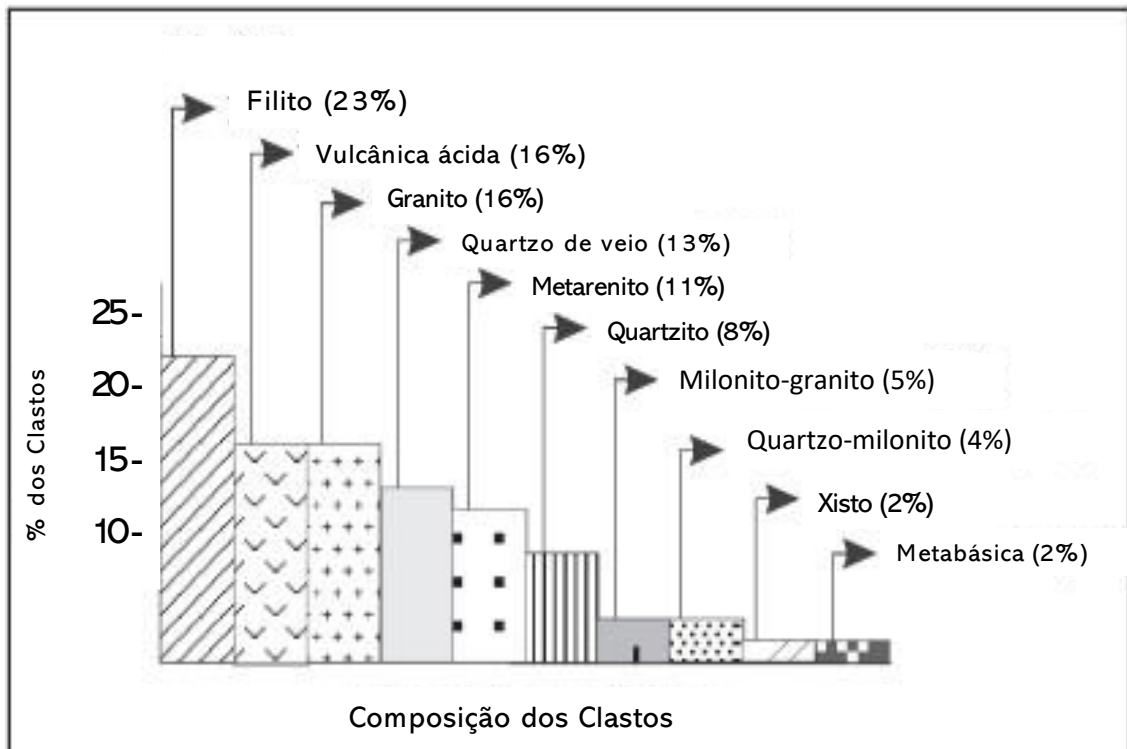
9.3.1.5 Conglomerado

Os conglomerados são encontrados de forma natural em afloramento do tipo lajedos e apresentam uma coloração cinza avermelhada. A textura da rocha apresenta-se mal selecionada, com porções que variam de conglomerados maciços a conglomerados com presença de estratificação cruzada acanalada.

O arcabouço é constituído por clastos com tamanhos que variam de grânulo a bloco (0,4 a 15 cm). Apenas na porção a Oeste tem presença de clastos que podem chegar até tamanho matacão, constituídos por formas subarredondadas a subangulares, pouco esféricas, de composição ígneas e metamórfica (Figura 21).

A matriz apresenta uma composição que varia de areia média a grossa, mal selecionada, com a mesma composição do arcabouço, além da trama da rocha ser suportada pelo arcabouço. Portanto, pode ser classificado como um conglomerado polimítico.

Figura 21 – Histograma de proveniência do arcabouço encontrado nos afloramentos de conglomerados.



Fonte: extraído e modificado de Fambrini et al. (2006).

Os conglomerados em alguns pontos apresentam características importantes que serão apresentadas abaixo.

No ponto LN-01 ocorrem marca de ondas. Já no ponto LN-02 e LN-03 há presença de lentes de arenitos. Entre os pontos LN-60 e LN-65 há ocorrências de camadas com mudança do tamanho dos clastos da base para o topo, na qual as partículas mais grossas na base dão lugar, para as partículas mais finas no topo.

Já entre os pontos LN-67 e LN-78 ocorre uma mudança sutil, mas perceptível, no aumento na porcentagem dos clastos de rochas metamórficas ao atravessar a drenagem, além de haver em algumas porções lentes de arenitos com estratificação cruzada (Figura 22).

Figura 22 – Aspectos gerais dos afloramentos conglomerados. A foto A mostra a lente de arenito no conglomerado. A foto B mostra o arcabouço. Na foto C estão os tipos de afloramentos encontrados.

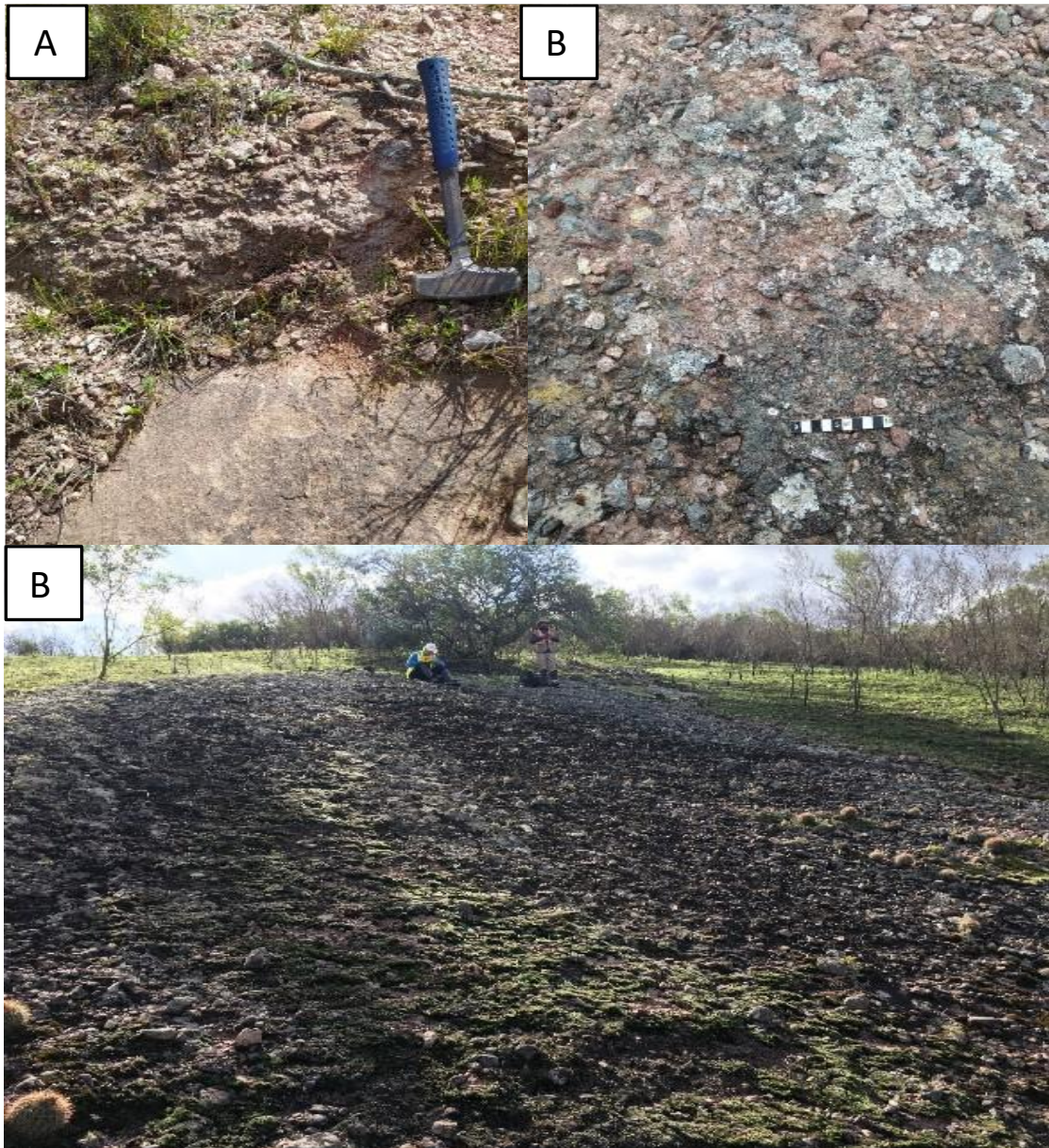
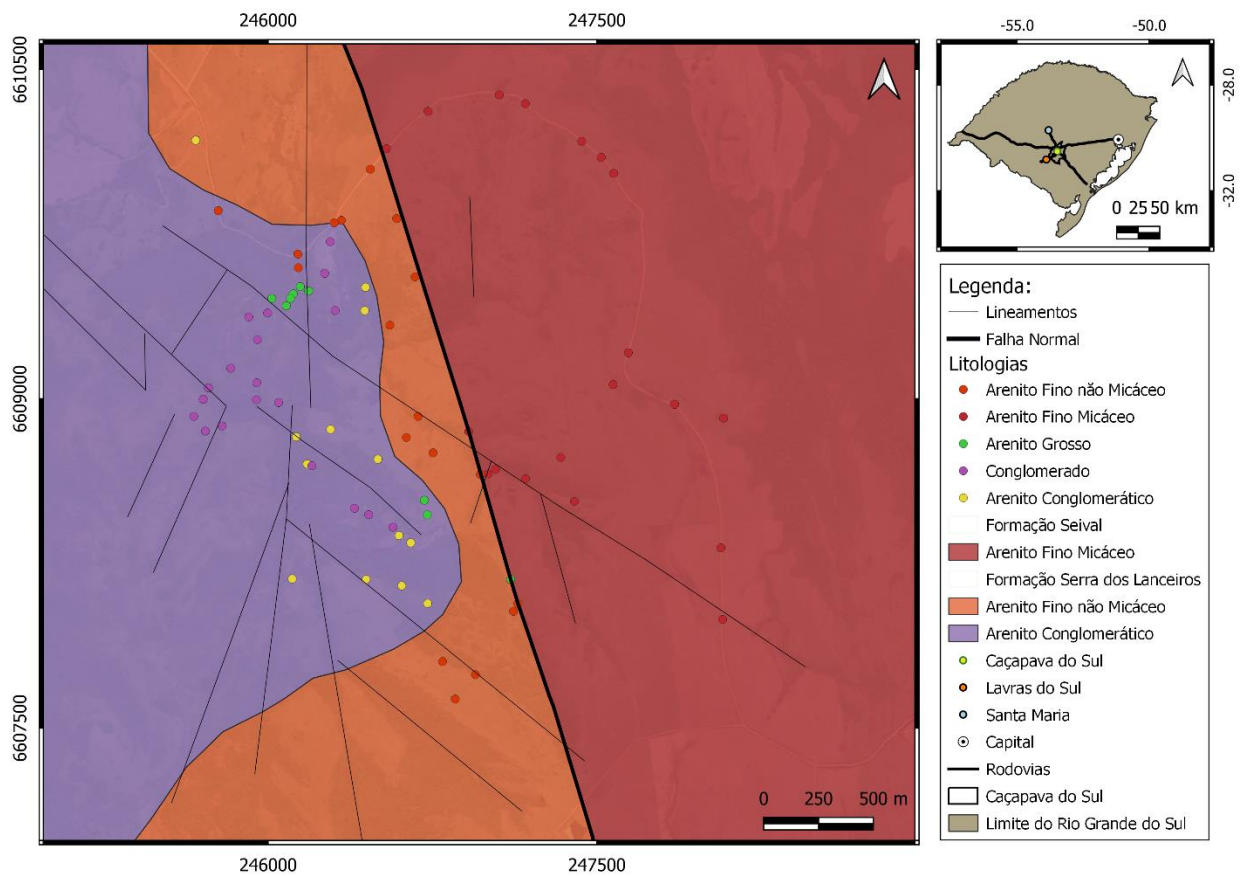


Figura 23 – Mapa geológico das formações presentes na área de estudo. A Formação Seival (FS) e a Formação Serra dos Lanceiros.



Fonte: autor.

A confecção do mapa geológico levou em consideração a complexibilidade da área em estudo. Logo, algumas características foram preponderantes para a análise e definição das unidades, sendo estas: os lineamentos delimitados, estruturas e a granulometria das rochas vistas em campo.

Portanto, foi delimitado a Leste (E) da área de estudo, por meio de um lineamento geomorfológico, o contato entre os dois tipos de arenito fino, os quais apresentam uma única diferença, arenitos finos com ou sem micas. O arenito fino micáceo está a Leste (E), compondo a Formação Seival, e o arenito fino sem presença de micas está a Oeste (W), correspondendo a Formação Serra dos Lanceiros. Essa divisão teve como princípio primordial a descrição geológica de Fambrini *et al.* (2006).

A complexibilidade da Formação Serra dos Lanceiros mostrou-se evidente no momento de gerar o mapa geológico, por motivos das características da área que, ao longo dos milhões de anos apresentaram um alto grau de erosão, proporcionando que camadas inferiores afloram em determinados locais. Desta forma, as características

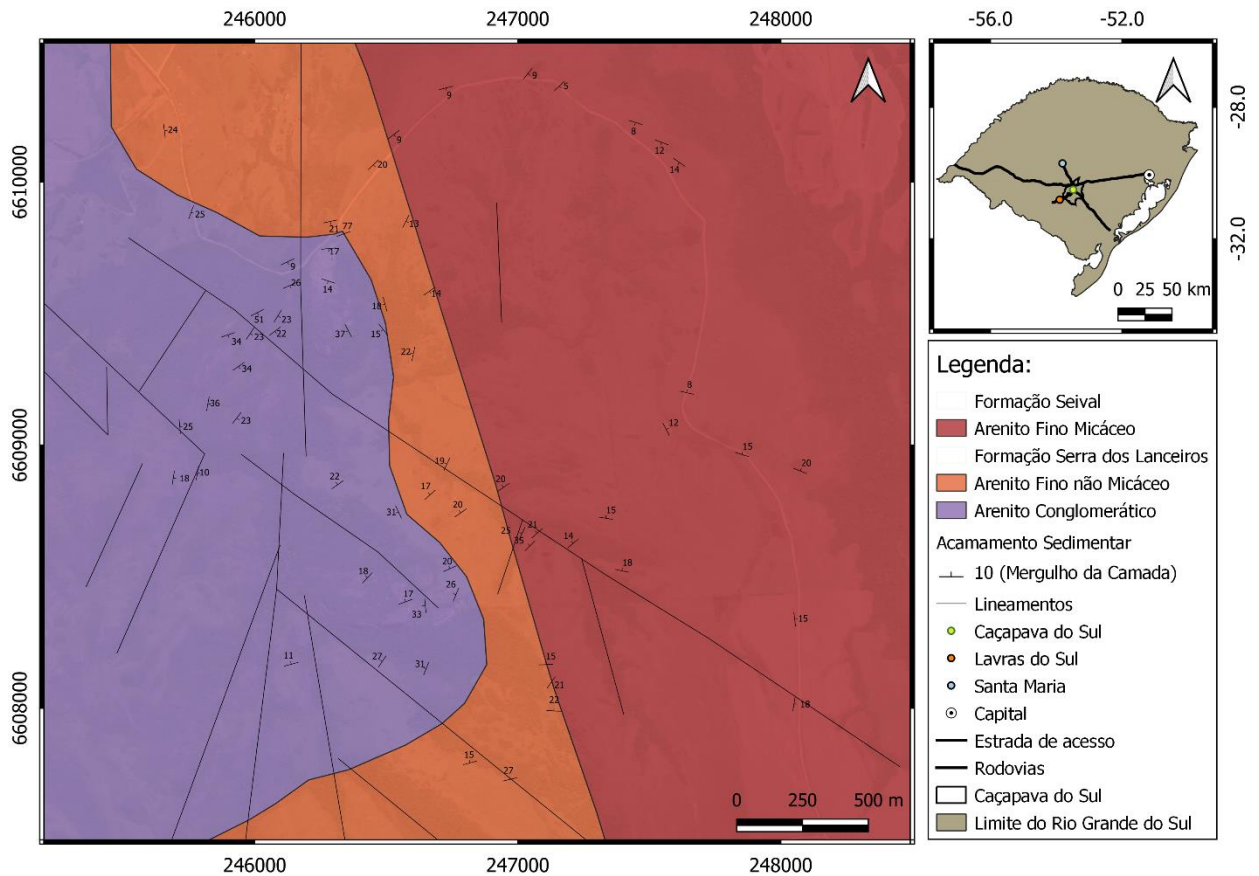
presentes expõem regiões com presença de bolsões conglomeráticos e intercalações do arenito conglomerático com lentes de arenitos médios a grossos. Portanto, esses aspectos interferem na geração de um mapa coerente com as estruturas ali presentes.

Desta forma, realizou-se uma subdivisão da Formação Serra dos Lanceiros em duas unidades: a inferior, onde está presente os arenitos finos não micáceos; e a unidade superior, onde compõem as intercalações de arenitos conglomeráticos com lentes de arenitos médios a grossos e os bolsões conglomeráticos (Figura 23).

9.3.2 Geologia Estrutural

O mapa confeccionado abaixo (Figura 24) exhibe os pontos realizados nos cinco dias de campo, referente às informações da geologia estrutural. A área de estudo está localizada numa região que se caracteriza por ocorrências de acamamentos sedimentares (S0) que mergulham ora em sentido NW, ora SE (Figura 24). O acamamento sedimentar, em certas regiões, apresenta-se rotacionado, trazendo uma percepção característica de dobras.

Figura 24 – Mapa geológico com as estruturas de acamamento sedimentar (S0).

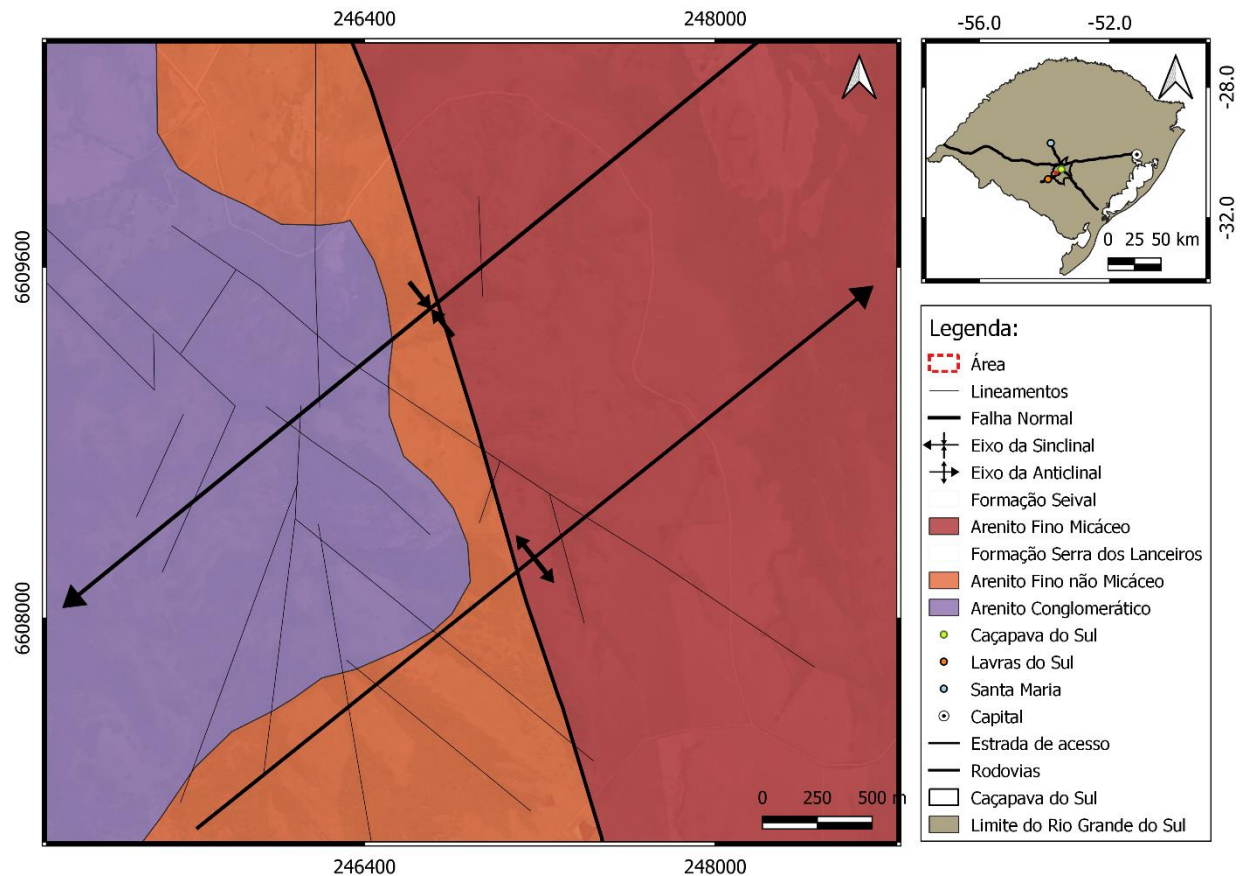


Fonte: autor.

O fraturamento apresentou-se preferencialmente em três direções de maior relevância, majoritariamente a direção ENE-WSW, seguido das N-S e NW-SE, todas com ângulo de mergulho alto variando entre 70° a 87°. Identificou-se que o fraturamento segue o mesmo padrão dos lineamentos traçados.

Notou-se em campo que na área do estudo, em geral, não ocorre uma grande densidade de fraturas, as quais se intensificam apenas em regiões onde foram delimitadas as zonas de fraturas. Logo, registrou a presença de uma zona de fratura no contato do arenito com o bolsão conglomerático na região norte, além da existência da zona de fratura na região que corrobora com o sentido da drenagem, na direção NW-SE (Figura 25).

Figura 25 – Mapa geológico com principais estruturas verificadas em campo e sensoriamento remoto.



Fonte: autor.

Na sequência, será realizada a descrição geologia estrutural dos pontos mais relevantes.

No ponto LN-01 ocorrem rochas sedimentares com acamamento sedimentar (S0) apresentando basculamento subvertical mergulhando para NNW, sendo que o afloramento identificado tem uma área delimitada de aproximadamente sete metros de largura, com direção $250^{\circ}/70^{\circ}$. Identificou-se duas famílias de fraturas nas direções NW-SE e ENE-WSW, com espaçamento entre elas de 10 a 20 cm (Figura 26).

O acamamento sedimentar (S0) entre os pontos LN-01 a LN-09 varia da direção SE até SW, com baixo ângulo de mergulho, que varia de 13° a 22° . As poucas fraturas presentes estão predominantemente nas direções NW-SE e NE-SW.

Nos pontos LN-11 a LN-15 é perceptível a variação da direção NW a NNW do acamamento sedimentar (S0), além do aumento do ângulo de mergulho, que varia entre 16° a 32° . As fraturas são mais representativas nas direções NW-SE e NE-SW, com abertura de aproximadamente de 2 a 6 cm.

Figura 26 – Típico padrão de afloramento, com duas famílias de fraturas.



Fonte: autor.

Nos afloramentos entre os pontos LN-16 e LN-18 o acamamento sedimentar é bem predominante na direção NW, com ângulo de mergulho variando entre 20° a 33°. As fraturas são mais frequentes nas direções N-S, NE-SW e com menor frequência na direção E-W. Além disso, o índice de fraturamento teve um aumento significativo por estar numa região onde foi delimitado um lineamento NW-SE. Logo, foi possível identificar um indicador cinemático a partir do deslocamento milimétrico de clastos fraturados com movimento sinistral (Figura 27).

Figura 27 – Possível indicador cinemático a partir do deslocamento de clastos, com movimento sinistral.



Fonte: autor.

Nos pontos LN-19 e LN-20 ocorreu uma mudança na direção do acamamento sedimentar (S0), que estava na direção NW e foi para SE, indicando um possível flanco da dobra. O ângulo de mergulho a partir do ponto LN-20 começa apresentar diminuição, além de identificar-se poucas fraturas, com direção N-S variando um pouco para NW-SE.

Nos afloramentos entre os pontos LN-21 a LN-33 as rochas sedimentares presentes ocorrem variação no sentido do acamamento sedimentar (S0) entre as direções N e NW. Os ângulos de mergulho apresentam um decréscimo até o ponto LN-25, chegando ao mergulho de 11°, e posteriormente tem um aumento com pico máximo no ponto LN-28, com ângulo de 40°, voltando a ter uma diminuição no ângulo até o ponto LN-33.

As fraturas predominam nos pontos LN-22, LN-26, LN-27, LN-30 e LN-34, com duas famílias de fraturas. A com maior frequência na direção NW-SE e a de menor frequência na direção NE-SW, além de um espaçamento médio de 20 a 40 cm. São fraturas representadas próximas ao lineamento NW-SE traçado, onde o relevo apresenta-se com mudança abrupta.

Entre os pontos LN-37 a LN-45 o acamamento sedimentar (S0) apresenta-se com uma leve rotação, indicando uma possível dobra, com um ângulo de mergulho variando de 20° para 9°. Apresenta-se ao longo dos pontos um padrão de fraturas com duas famílias, com direções NW-SE e E-W e espaçamento médio de 20 a 50 cm. O padrão preferencial das fraturas pode ser um indicativo de uma zona de cisalhamento, na direção ENE-WSW, por apresentar um limite de duas margens não deformadas, com zona deformada entre elas (Figura 28).

Figura 28 – Aspectos gerais dos afloramentos. Na foto A está indicada a zona de cisalhamento. Na foto B ocorre o padrão típico de afloramento, com duas famílias de fraturas. Na foto C está apresentada uma vista mais ampla da zona de cisalhamento.



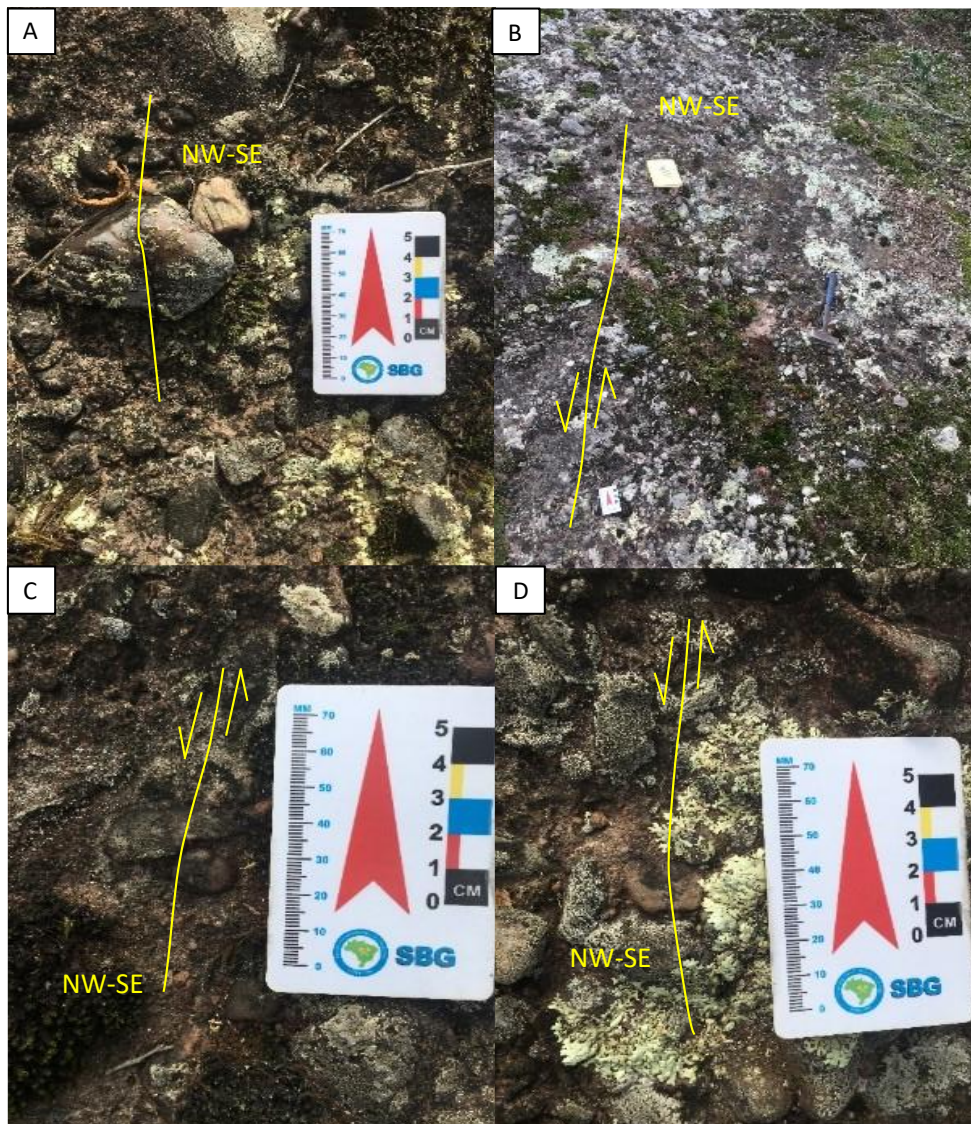
Fonte: autor.

As rochas presentes entre os pontos LN-46 e LN-48 apresentam um acamamento sedimentar (S0) que varia da direção N a NE, com aumento do ângulo de mergulho de 8° a 17°, podendo estar caracterizando o início de uma segunda dobra. Logo, o ponto LN-49 pode ser um indicativo comprobatório desse dobramento, já que apresenta um acamamento sedimentar com sentido E, e um aumento no ângulo de mergulho.

Nos pontos LN-52, LN-53 e entre LN-57 e LN-62 o acamamento sedimentar (S0) varia da direção ESE a SSE, com ângulo de mergulho variando entre 23° a 34°. As fraturas nos pontos LN-52 e LN-53 ocorrem com um padrão de duas famílias de fraturas: na direção NE-SW com maior frequência; e na de direção N-S com menor frequência. Já entre os pontos LN-57 a LN-62 existe uma diminuição na quantidade de fraturas nas direções NW-SE e N-S.

No ponto LN-60 ocorre o início dos bolsões conglomeráticos, com pouca presença de fraturas incipientes de direção NW-SE. Além disso, nesse ponto foi possível caracterizar algumas fraturas com indicativo de cisalhamento, a partir do deslocamento de clastos fraturados, com movimento sinistral (Figura 29).

Figura 29 – Características dos afloramentos com clastos fraturados. Na foto A está presente um clasto fraturado sem deslocamento. Nas fotos B, C e D ocorrem clastos fraturados milimétricos, com movimento sinistral.



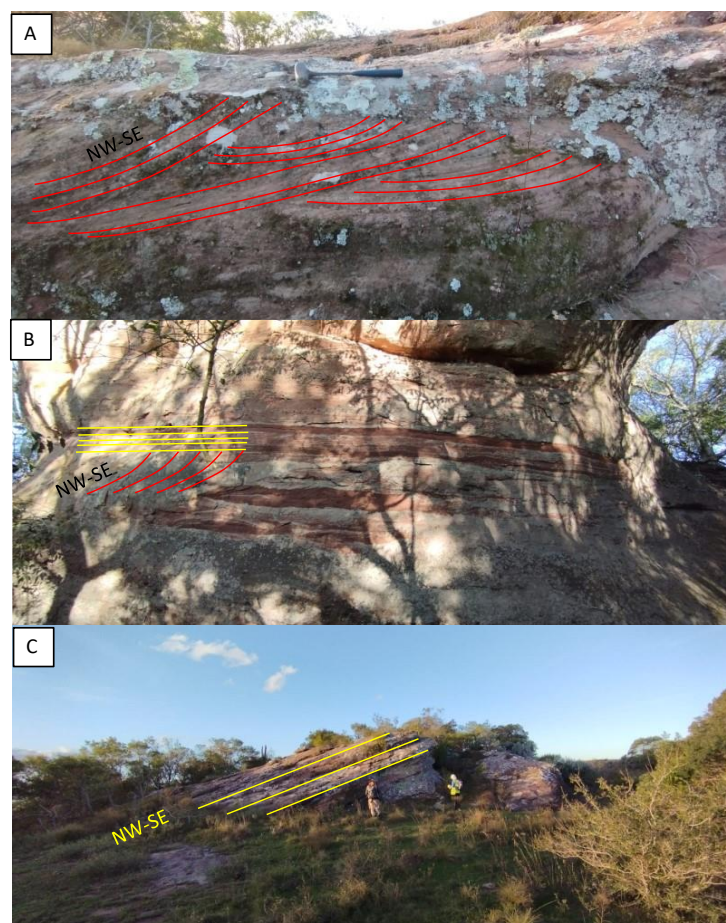
Fonte: autor.

Nos pontos LN-63 ao LN-68 o acamamento sedimentar teve uma rotação contrária, voltando para a direção E, com ângulos de mergulho apresentando um decréscimo de 34° para 11° , possibilitando identificar como uma região característica de eixo de dobra. O baixo índice de fraturas é característico dessa porção, sendo as

fraturas incipientes as com maior frequência de direção NE-SW e as de menor frequência na direção N-S.

Entre os pontos LN-69 a LN-82 ocorrem porções características de bolsões conglomeráticos intercaladas com camadas de arenito, que variam de espessura centimétrica a métrica, dificultando a identificação dos acamamentos sedimentares (S0). Nas camadas de arenitos ocorrem em algumas regiões estratificação cruzada acanalada e, subordinadamente, estratificação plano paralela (Figura 30). Nas porções em que foi possível identificar o acamamento sedimentar (S0) notou-se uma mudança de direção que varia entre WNW a NW, com ângulo de mergulho crescente de 18° a 33°, determinando o possível flanco de uma dobra. As direções mais frequentes das fraturas são nas direções NW-SE e, em menor frequência as de direção NE-SW.

Figura 30 – Aspectos gerais dos afloramentos. Na foto A apresenta-se em linhas vermelhas as estratificações cruzadas acanaladas de médio e grande porte. Na foto B, em linhas vermelhas, está a estratificação cruzada acanalada e em linhas amarelas a estratificação plano paralela. Na foto C, em linhas amarelas, está representado o acamamento sedimentar (S0).



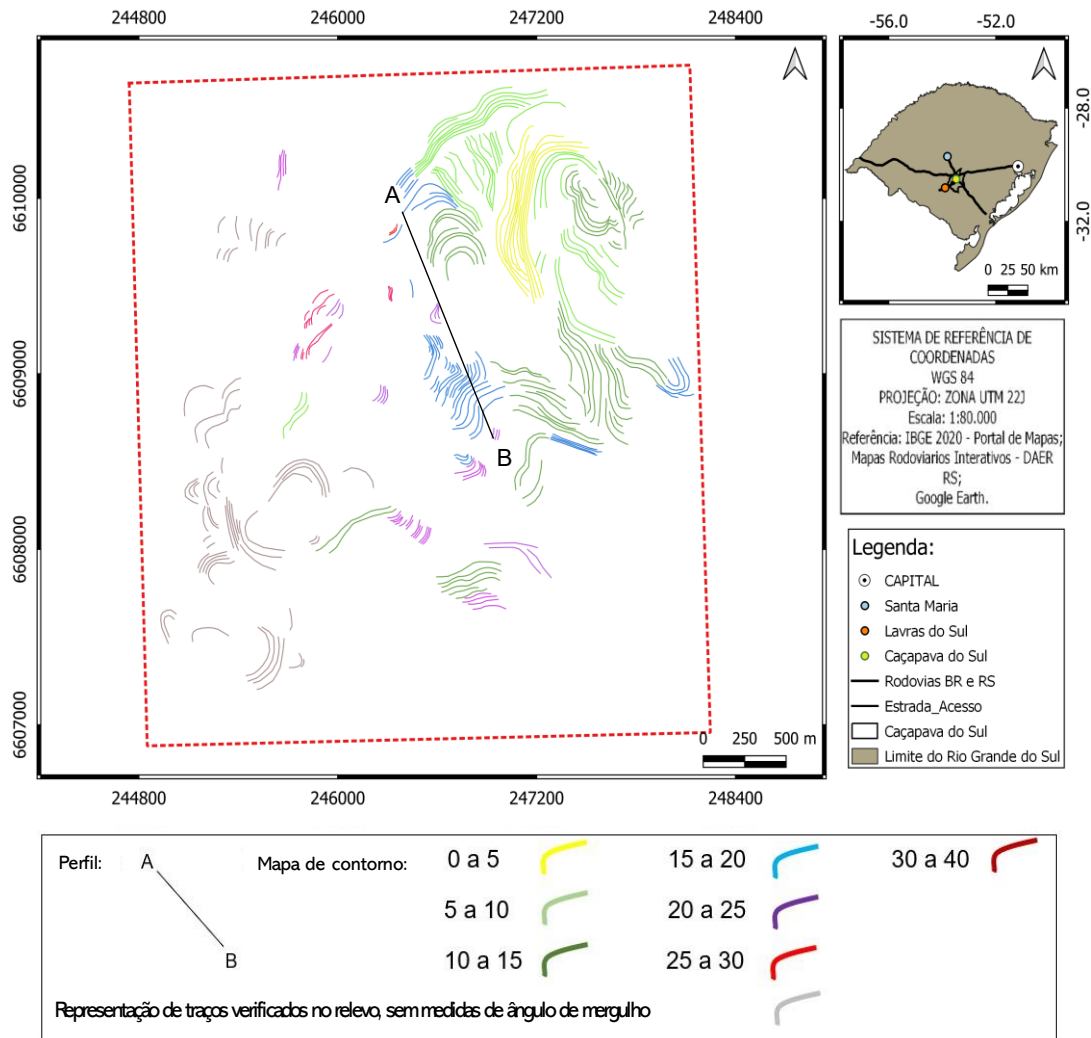
Posteriormente à conclusão dos trabalhos de campo foram confeccionados mapas geológicos e estruturais, estereogramas, diagramas de rosetas e diagramas de contorno das estruturas presentes em campo.

Na figura 31 é representado o mapa de contorno da direção dos planos de acamamento sedimentar com respectivos intervalos dos ângulos de mergulho, divididos em cores, de todas as estruturas medidas em campo. As medidas realizadas para elaboração do mapa seguiram os parâmetros das estruturas de acamamento sedimentar sobrepondo-as às imagens do *Google Earth*, que reportam as feições do terreno, principalmente os afloramentos.

Nota-se ao longo do perfil NNW-SSE uma mudança no ângulo de mergulho do ponto A ao B. Essa mudança é representada por um acamamento sedimentar de alto ângulo no ponto A, que ao decorrer desse perfil ocorre a suavização do mergulho entre 0° a 10°. Posteriormente, quanto mais próximo do ponto B, o ângulo do mergulho volta a representar o mesmo do ponto A.

Quando analisado nas duas extremidades do perfil, nota-se ângulos de mergulhos mais elevados, entre 30° a 40°. Já quando analisado na porção central do perfil, mostra-se ângulos de mergulho mais baixos, entre 0° a 15°. Dessa maneira, percebe-se que ao longo do perfil ocorre uma mudança que condiz ao efeito de uma estrutura dobrada, com seu eixo na direção perpendicular ao perfil, na direção ENE-WSW.

Figura 31 – Mapas de contornos do traço da direção dos planos de acamamento sedimentar (S0), com respectivos intervalos dos ângulos de mergulho divididos em cores. Sobreposta as imagens do *Google Earth*. Área de estudo em tracejado em vermelho.



Fonte: autor. *Google Earth*.

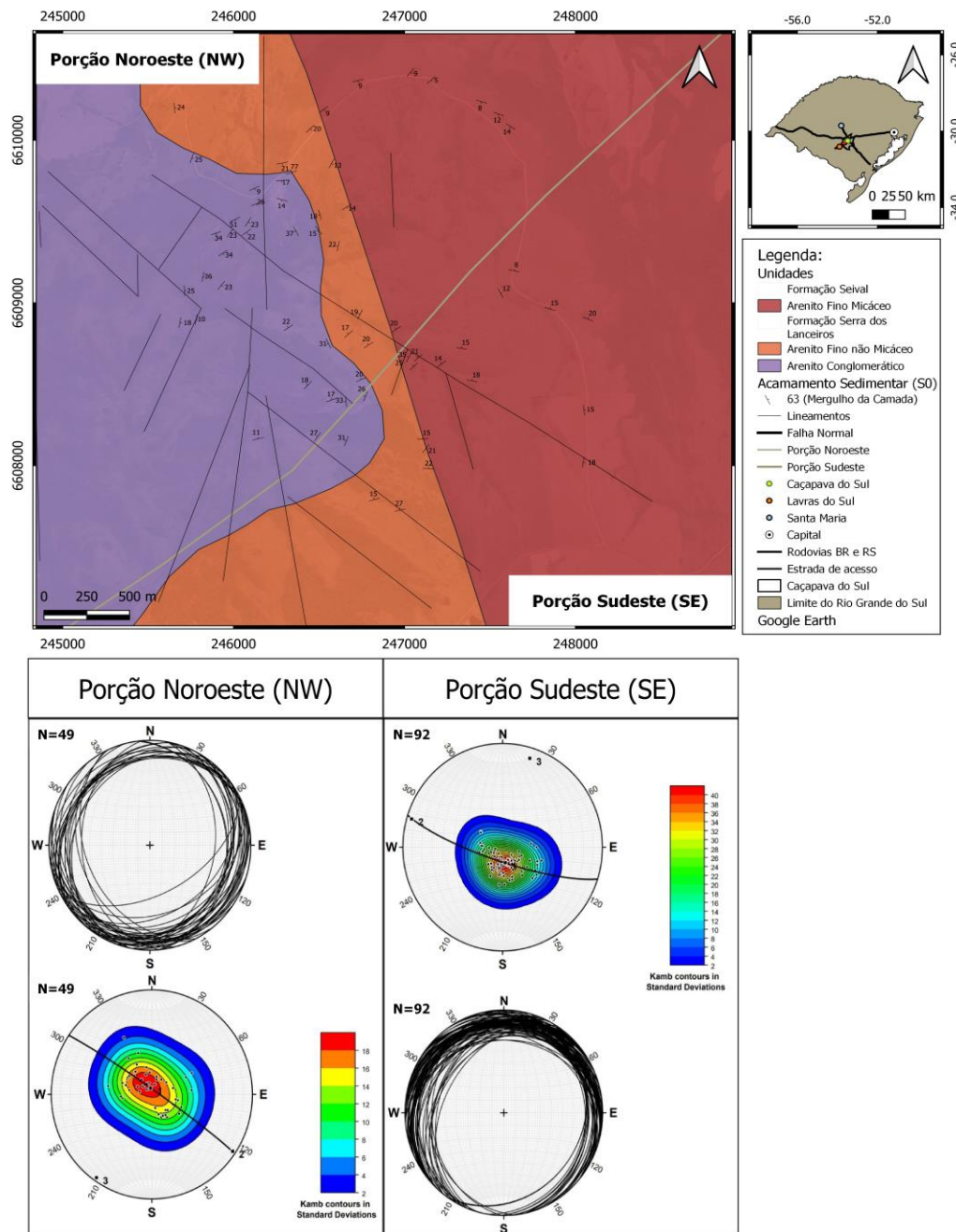
Foram confeccionados estereogramas no *software* Stereonet 11 a partir dos dados do acamamento sedimentar. Desta forma, foi possível gerar projeções estereográficas dos dados de três maneiras: por meio de diagramas dos traços ciclográficos, polos de planos e diagramas de contorno.

Nesta ação, foi proposta uma divisão da área em duas porções: a porção Sudeste (SE) e a porção Noroeste (NW), com intuito de melhor representar as duas estruturas (Figura 32).

Corroborando com a disposição espacial das estruturas, na porção Sudeste (SE) as estruturas com planos de mergulho ora na direção NW ora para SE, dispostas com concavidade voltada para baixo, remetendo uma dobra anticlinal. O eixo da dobra

está na direção NE-SW e apresenta uma leve inclinação para NE. Já na porção Noroeste (NW) a disposição das estruturas indica concordância com uma dobra sinclinal, com concavidade voltada para cima. O eixo dessa dobra está na direção NE-SW e apresenta uma leve inclinação para SW (Figura 32), corroborando com o que descreve Fambrini et al. (2006).

Figura 32 – Projeções estereográficas dos dados dos acamamentos sedimentares (traços ciclográficos, polos dos planos e diagrama de contorno do acamamento sedimentar) para a porção Noroeste (NW), com dobra sinclinal, e para a porção Sudeste (SE), com dobra anticlinal.

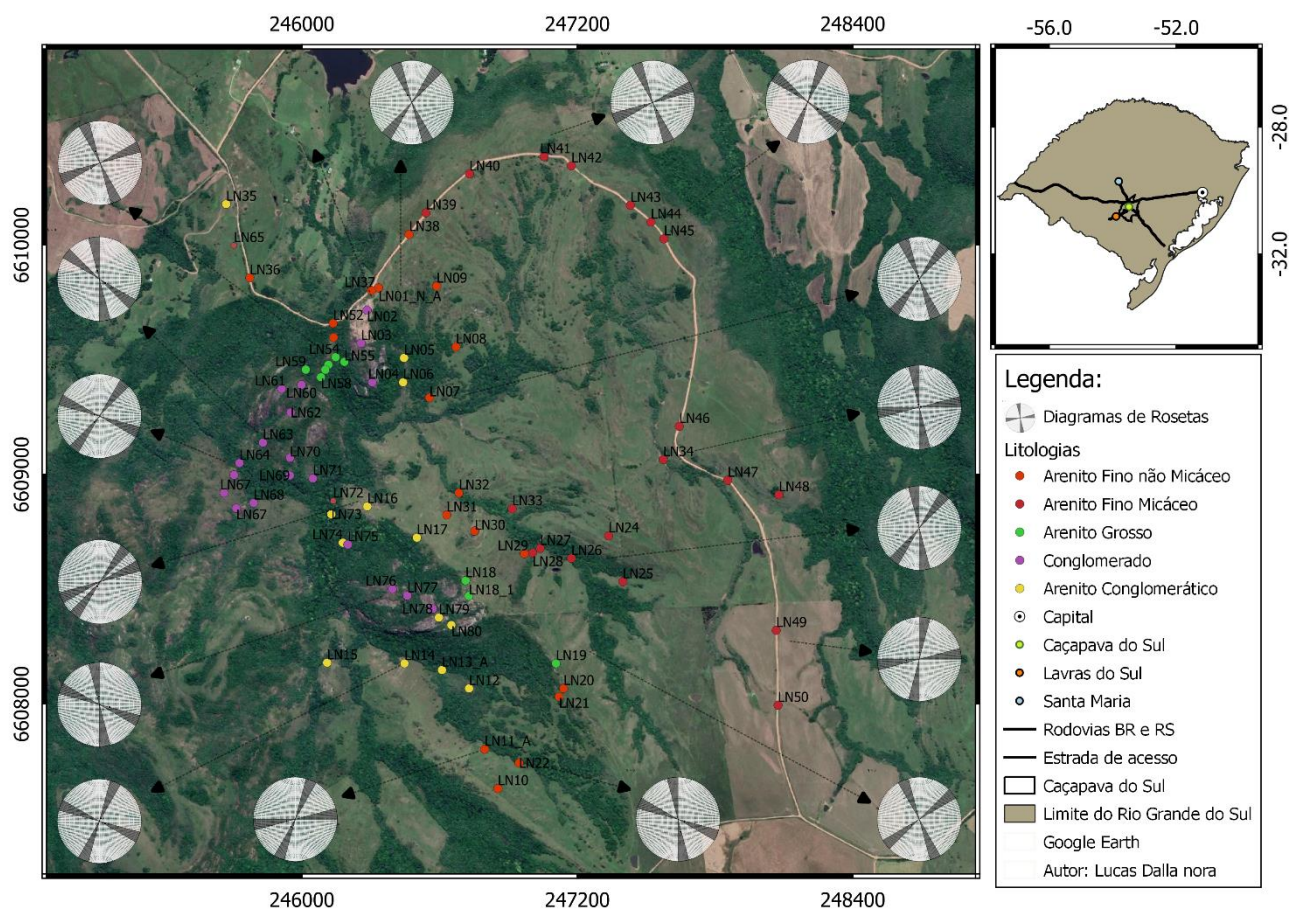


Fonte: autor.

Na figura 33 apresenta-se os diagramas das principais direções de fraturas obtidas nos afloramentos analisados em campo. Ao observar a frequência das fraturas, foi possível notar quatro direções preferenciais: as de direção NW-SE e NE-SW, seguidas das fraturas N-S e E-W.

É possível notar nos diagramas de rosetas um padrão de fraturamento característico de um modelo quase quadriculado (em alto ângulo entre as duas direções principais), onde esses apresentam uma certa variação nas direções preferenciais ao decorrer dos pontos analisados. Além disso, eles corroboram de maneira igual ou semelhante com as direções traçadas nos lineamentos nas diferentes escalas (1:250.000; 1:100.000 e 1:50.000) e semelhantes com as direções das zonas de falha NW-SE identificadas em campo.

Figura 33 – Diagramas de roseta das principais direções de fraturas.



Fonte autor. Google Earth.

9.4 Discussão dos Resultados e Conclusões

O objetivo desse trabalho foi realizar um mapeamento geológico estrutural de estruturas de deformação dútil na região do Platô do Seival, no município de Caçapava do Sul – RS.

Analisou-se as imagens do relevo sombreado para delimitar os lineamentos geomorfológicos em três escalas de análise (1:250.000; 1:100.000 e 1:50.000). Em seguida realizou-se trabalhos de campo para verificar não somente a possibilidade do movimento de blocos em falhas, mas também a geometria de outras estruturas e aspectos geológicos, como a atitude do acamamento sedimentar, as zonas de fraturas, as litologias e a geomorfologia, visando determinar a relação dos aspectos estruturais nas diferentes escalas de abordagem.

Com base nos dados obtidos do sensoriamento remoto verificou-se a existência de quatro direções preferenciais dos lineamentos geomorfológicos. As direções de maior predomínio são as direções NW-SE e NE-SW, com maior frequência e continuidade espacial em escala regional, seguidas das direções N-S e E-W. Quando analisados em escala de mais detalhe, ocorre um aumento na frequência da direção N-S na área de estudo. É importante salientar que se confirmou em campo o predomínio maior de fraturas na direção N-S.

As direções N-S e E-W retratam uma percepção mais notória do que é descrito na bibliografia. Além disso, comprovou-se o maior predomínio nas direções NW-SE e NE-SW, corroborando serem as estruturas mais antigas a afetar o escudo Sul-rio-grandense, como descreve Ribeiro (1980).

Quanto maior for o grau de detalhamento da escala em análise (1:100.000 e 1:50.000), mais descontínuos são os lineamentos, representado pela diminuição do tamanho, principalmente nas direções NW-SE e NE-SW, de modo também a demonstrar o aumento na frequência dos lineamentos secundários (N-S e E-W). O indicativo no aumento da frequência das estruturas N-S na escala de 1:50.000 pode ser marcado pelo fato dessas estruturas serem mais recentes a afetarem o Escudo Sul-rio-grandense, conforme estudos anteriores (e.g. RIBEIRO, 1980).

É interessante observar que, de acordo com os dados de campo, foi identificado um baixo índice de fraturamento ao longo dos cinco dias de trabalho. No entanto, mesmo com esse baixo índice, foi possível constatar um aumento na quantidade de

fraturas próximas às regiões onde os lineamentos geomorfológicos foram traçados, principalmente onde foram identificadas zonas de fraturas, de direção NW-SE.

Baseado nos dados dos diagramas de rosetas das fraturas, foi possível notar o mesmo padrão das direções preferenciais dos lineamentos. Desta forma, as fraturas com maior predomínio e frequência são as de direção NW-SE, seguidas da direção NE-SW e, com menor frequência, as direções N-S e E-W.

Com base na análise da atitude do acamamento sedimentar (S₀) foi observada uma percepção de rotacionamento do mesmo em duas regiões distintas: Noroeste (NW) e a Sudeste (SE). Em ambas as regiões, são identificadas a existência de duas direções de mergulho, ora no sentido NW ora para SE. Na região Noroeste (NW), o padrão de mergulho sugere a ocorrência de uma dobra sinclinal, com o eixo da dobra orientado na direção NE-SW e caimento muito baixo para SW. Já na região Sudeste (SE), é possível observar a ocorrência de outro dobramento, que caracterizando uma dobra anticlinal, com o eixo na direção NE-SW e caimento muito baixo para NE.

Neste contexto, visualmente a geomorfologia da área comprova a ideia de uma dobra. Além do mais, a Bacia do Camaquã (BC), onde a área de estudo está delimitada, tem como características a presença de dobramentos suaves a moderados (e.g. PAIM et al., 2014). Os dobramentos de direção NE identificados teriam os eixos principais de esforços compressivos na direção NW-SE, em acordo com os tensores regionais que controlam as falhas sinistrais de direção NE que controlam a bacia (e.g. RIBEIRO, 1980).

Durante os trabalhos de campo foi possível identificar a presença de zonas de fraturas na direção NW-SE que afetam as rochas sedimentares da Formação Serra dos Lanceiros, especialmente os arenitos conglomeráticos e os arenitos finos não micáceos, indicando a existência de um padrão estrutural nessa região. As zonas de fraturas identificadas estão alinhadas com a direção predominante ao longo dos lineamentos traçados, principalmente aqueles com direção NW-SE. Esses sistemas de fraturas são paralelos a anomalias magnéticas de direção NW, estudadas por Gregory et al. (2019) e relacionadas ao Arco de Rio Grande.

Quando analisado por imagem de satélite, a região do estudo sugere uma percepção visual de ocorrência de movimentos transcorrentes. No entanto, durante o mapeamento geológico estrutural, não foram observados indícios no campo de falhas transcorrentes, como zonas de intenso fraturamento, deslocamento de marcadores e rotação do acamamento sedimentar. Foram identificados raros clastos fraturados, que

sugerem um movimento sinistral milimétrico, ao longo da direção da zona de fratura, mas são muito incipientes. Além do que, a geologia local corrobora com indicativos da ausência de falhas transcorrentes, uma vez que ambos os lados da zona de fraturas apresentam a mesma litologia.

A constatação sugere que os movimentos transcorrentes aparentes observados na imagem de satélite podem ser atribuídos a outros processos geológicos, como as dobras identificadas na área de estudo. Além disso, os clastos fraturados com movimento sinistral podem ser resultados de tensões locais, que não necessariamente estão associadas a uma falha transcorrente significativa na região.

É válido ressaltar que uma avaliação mais abrangente e precisa exigiria um estudo geológico mais extenso e detalhado, envolvendo uma área maior do Platô do Seival. Além disso, o uso de outras técnicas, como levantamentos sísmicos, poderia ser considerado para identificar possíveis indícios de movimentos transcorrentes da região, como descreve Zalán (1986).

10. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, R. P.; SANTOS, M. G. M.; FRAGOSO-CESAR, A. R. S.; JANIKIAN, L.; FAMFRINI, G. Recurring extensional and strike-slip tectonics after the Neoproterozoic collisional events in the southern Mantiqueira province. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 84, p. 347-376, 2012.

ALLMENDINGER, R. W., & CARDOZO, N. Stereonet 11. Program for Mac and Windows TM, 2021.

ASMUS, H. E.; BAISCH, Paulo R. Geological evolution of the Brazilian continental margin. **Episodes Journal of International Geoscience**, v. 6, n. 4, p. 3-9, 1983.

DAVIS, G. H.; REYNOLDS, S. J. **Structural geology of rocks and regions**. John Wiley & Sons, 2ª ed. 1996.

FAMBRINI, G. L.; ALMEIDA, R.; FRAGOSO CESAR, A. R. S. Estratigrafia e evolução paleogeográfica do Grupo Santa Bárbara (Ediacarano) na sub-bacia Camaquã Ocidental, Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 36, n. 3, p. 550-565, 2006.

FOSEN, H. Geologia estrutural. **São Paulo: Oficina dos textos**, p. 204-205, 2012.

FRAGOSO CESAR, A. R. S.; ALMEIDA, R. P. D.; FAMBRINI, G.L.; PELOSI, A. P. D. M. R.; JANIKIAN, L. A Bacia Camaquã: um sistema intracontinental anorogênico de rifts do Neoproterozóico III-Eopaleozóico no Rio Grande do Sul. **I Encontro sobre a Estratigrafia do Rio Grande do Sul: ESCUDO E BACIAS ILEA/UFRGS**. Porto Alegre, 2003.

GREGORY, T.R., GUADAGNIN, F., FAE, Y.A. & MACEDO, R.A.M. 2019. Significado de lineamentos magnéticos no Escudo Sul Rio-Grandense: Resultados preliminares. In: XVII SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, XI INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON TECTONIS, XI SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 2019, Bento Gonçalves. Anais... Bento Gonçalves, UFRGS, v. 1, p. 88.

HARTMANN, L. A.; CHEMALE JR, Farid; PHILIPP, R. P. Evolução geotectônica do rio Grande do Sul no pré-cambriano. **Iannuzzi R., Frantz JC (Eds.)**, v. 50, p. 97-123, 2007.

HEILBRON, M. et al. Província mantiqueira. **Geologia do continente sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**, p. 203-235, 2004.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. de. Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto. **Universidade de Brasília, Brasília**, 2012.

O'LEARY, D. W.; FRIEDMAN, J. D.; POHN, H. A. Lineament, linear, lineation: some proposed new standards for old terms. **Geological Society of America Bulletin**, v. 87, n. 10, p. 1463-1469, 1976.

PAIM, P. S. G.; CHEMALE JR.; WILDNER, W. Estágios evolutivos da Bacia do Camaquã (RS). Ciência e Natura In: **Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas UFSM Edição Especial**, v.36, p. 183-193, 2014.

PICADA, R. S. Os sistemas de falhas da parte central do escudo Sul-Riograndense: evolução dos conhecimentos e proposição de problemas: Anais XXII Cong. **Bras. Geologia**, p. 247-253, 1968.

PICADA, R. S. Ensaio sobre a tectônica do Escudo Sul-Rio-Grandense. Caracterização dos sistemas de falhas. In: **Congresso Brasileiro de Geologia**. 1971. p. 167-191.

RIBEIRO, M.; BOCCHI, P. R.; FIGUEIREDO, F. P. M. Geologia da quadrícula de Caçapava do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil. **Bulletin of the National Department of Mineral Production (DNPM)**, v. 127, p. 1-232, 1966.

RIBEIRO, M. **Geologia da Folha de Bom Jardim, Rio Grande do Sul-Brasil**. República Federativa do Brasil, Ministério das Minas e Energia, Departamento Nacional de Produção Mineral, Divisão de Geologia e Mineralogia, 1970.

RIBEIRO, M.; LICHTENBERG, E. Síntese da geologia do Escudo do Rio Grande do Sul. In: **Congresso Brasileiro de Geologia**. 1978. p. 2451-2463.

RIBEIRO, M. Geossuturas do escudo do Rio Grande do Sul. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA**. 1980. p. 2709-2178.

SOUZA, Í. C. M. et al. **Investigação estrutural de uma região do Cerrito do Ouro, São Sepé-RS, e relações com anomalias magnéticas NW**. 2019.

TREVISOL, A. **Caracterização estrutural do sistema de falhas Santa Barbara-Região de Caçapava do Sul-Lavras do Sul**. 2007.

VAN DER PLUIJM, B. A. & MARSHAK, S. **Earth Structure: an introduction to structural geology and tectonics**. 2ª ed. New York: W. W. Norton & Company, 2004.

ZALÁN, P. V. Identificação de falhas transcorrentes em seções sísmicas. **Revista brasileira de geociências**, v. 16, n. 3, p. 258-265, 1986.