

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

ÍISIS CAROLINE MOREIRA DE SOUZA

**INVESTIGAÇÃO ESTRUTURAL DE UMA REGIÃO DO CERRITO DO OURO, SÃO
SEPÉ – RS, E RELAÇÕES COM ANOMALIAS MAGNÉTICAS NW**

**Caçapava do Sul
2019**

ÍSIS CAROLINE MOREIRA DE SOUZA

**INVESTIGAÇÃO ESTRUTURAL DE UMA REGIÃO DO CERRITO DO OURO, SÃO
SEPÉ – RS, E RELAÇÕES COM ANOMALIAS MAGNÉTICAS NW**

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

**Caçapava do Sul
2019**

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).

M838i Moreira de Souza, Ísis Caroline
Investigação estrutural de uma região do Cerrito do Ouro, São Sepé - RS, e relações com anomalias magnéticas NW / Ísis Caroline Moreira de Souza.
97 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade Federal do Pampa, GEOLOGIA, 2019.
"Orientação: Tiago Rafael Gregory".

1. tectônica rúptil do ESrg. 2. lineamentos magnéticos. 3. lineamentos geomorfológicos. 4. sistemas de fraturas NW. 5. Arco de Rio Grande. I. Título.

ÍSIS CAROLINE MOREIRA DE SOUZA

**INVESTIGAÇÃO ESTRUTURAL DE UMA REGIÃO DO CERRITO DO OURO, SÃO
SEPÉ – RS, E RELAÇÕES COM ANOMALIAS MAGNÉTICAS NW**

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

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 9 de dezembro de 2019.

Banca examinadora:



Prof. Dr. Tiago Rafael Gregory
Orientador
UNIPAMPA



Prof. Dr. Cristiane Heredia Gomes
UNIPAMPA



Msc. Lenon Melo Ilha
UNIPAMPA

À minha querida vó bisa
Maria José Lopes Gonçalves (*in memoriam*).

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria muito de agradecer ao Professor Dr. Tiago Rafael Gregory pela orientação, dedicação e por tudo o que atenciosamente me ensinou durante esta importante etapa. Agradeço a meu colega de rocha Ravi Sampaio, pela parceria nos trabalhos de campo, assim como aos motoristas Mosquito, Beto e Gustavo. Agradeço aos habitantes da região do Cerrito do Ouro, pela colaboração em permitir nossa entrada na área de estudo. Agradeço aos membros da banca examinadora pelas dicas e sugestões de melhorias deste trabalho. Também sou muito grata a todos os funcionários e professores da Universidade Federal do Pampa – Campus Caçapava do Sul, que direta ou indiretamente contribuíram com a minha formação acadêmica.

Agradeço as minhas amigas Juliana, Ana Artine, Ana Paula, Camila, Fernanda, Tati, Tamy e a todos os meus colegas e amigos que encontrei nesta longa caminhada de UNIPAMPA, especialmente aqueles que foram testemunhas do campo de Topografia em 2013, onde tudo começou. Agradeço aos meus familiares de Minas Gerais, por todo o suporte e apoio, principalmente meu velho pai, Geraldo. Também sou grata a Antônio e Édila.

Por fim, agradeço à Caçapava do Sul, Capital Gaúcha da Geodiversidade, e ao Rio Grande do Sul, pelas belíssimas e inesquecíveis paisagens naturais que para sempre estarão em meu coração.

Muito obrigada!

"Há coisas à nossa volta e bem a nossos pés que nunca vimos, porque na realidade nunca olhamos."

Alexander Graham Bell

RESUMO

O Escudo Sul-rio-grandense (ESrg) é composto por assembleias petrotectônicas caracterizadas e estudadas sob a perspectiva da geoquímica, geologia estrutural, estratigrafia e metalogênese. Porém, são poucos os trabalhos que abordam direta ou indiretamente a relação entre a tectônica rúptil do ESrg e dados magnéticos em uma escala de maior detalhe. Uma região do distrito de Cerrito do Ouro, São Sepé – RS, é caracterizada por ocorrências de sistemas de fraturas possivelmente relacionadas à evolução do Arco de Rio Grande, uma flexura positiva da crosta, de direção NW que soergue as unidades do ESrg e da Bacia do Paraná. Neste contexto, o presente trabalho se propôs a investigar esses sistemas de fraturas e verificar suas relações com anomalias magnéticas de Amplitude do Sinal Analítico (ASA), também de direção NW, previamente identificadas na área de estudo. A primeira parte do trabalho se constituiu na revisão bibliográfica e integração de dados de sensoriamento remoto a fim de reconhecer e catalogar lineamentos geomorfológicos nas escalas 1:250.000, 1:100.000, 1:50.000 e 1:25.000. Posteriormente, realizou-se trabalhos de campo em perfis aproximadamente perpendiculares às anomalias magnéticas investigadas, utilizando técnicas básicas de mapeamento geológico-estrutural. A partir do sensoriamento remoto, pôde-se verificar a predominância de lineamentos geomorfológicos de direção NE-SW, seguindo-se os de direção NW-SE. Lineamentos de direção E-W e N-S mostraram-se mais frequentes do que era esperado através da revisão bibliográfica. Com relação aos dados de campo, nos locais de anomalia magnética, o sistema de fraturamento claramente predominante é de direção NW-SE e, fora da mesma, este fraturamento se torna menos frequente. As relações de corte possibilitam identificar fraturas NE-SW de cisalhamento mais antigas que as NW-SE de abertura, um fraturamento transcorrente E-W mais recente que os anteriores e, como as estruturas mais recentes, os sistemas de fraturas N-S e reativações NE-SW. Assim sendo, afirma-se que existe uma correlação entre os alinhamentos magnéticos e morfológicos, e que o comportamento das estruturas rúpteis vistas em campo se reflete na geofísica. As anomalias magnéticas NW, na área de estudo, representam zonas de fissuras NW, preenchidas por diques possivelmente alimentadores do vulcanismo Serra Geral, sendo deslocadas por sistemas de fraturas transcorrentes E-W mais recentes e provavelmente relacionados à abertura do Oceano Atlântico. Os sistemas de fraturas NE-SW são associados a um evento mais antigo àquele

responsável pela geração das estruturas NW-SE, e foram reativados posteriormente. A integração dos resultados de campo, bibliografia e sensoriamento remoto permitiram obter um maior detalhamento sobre a tectônica rúptil na área de estudo, assim como uma maior compreensão sobre o significado das anomalias magnéticas NW no ESrg e a sua relação com a evolução do Arco de Rio Grande.

Palavras-chave: tectônica rúptil do ESrg; lineamentos magnéticos; lineamentos geomorfológicos; sistemas de fraturas NW, Arco de Rio Grande

ABSTRACT

The Sul-rio-grandense Shield (ESrg) is composed of petrotectonic assemblies characterized and studied from the perspective of geochemistry, structural geology, stratigraphy and metalogenesis. However, few studies directly or indirectly address the relationship between the brittle tectonics of the ESrg and magnetic data on a scale of detail. A region of Cerrito do Ouro district, São Sepé – RS, is characterized by occurrences of fracture systems possibly related to the evolution of the Rio Grande Arch, a positive flexure of the crust, directed NW that lifts the units of the ESrg and the Paraná Basin. In this context, the present study aimed to investigate these fracture systems and verify their relationships with magnetic anomalies of Analytical Signal Amplitude (ASA) of NW direction, identified in the study area previously. The first part of the work consisted of the bibliographic review and integration of remote sensing data in order to recognize and catalogue geomorphological lineaments on the scales 1:250,000, 1:100,000, 1:50,000 and 1:25,000. Subsequently, fieldwork carried out in profiles approximately perpendicular to the magnetic anomalies investigated, using basic geological-structural mapping techniques. From remote sensing, it was possible to verify the predominance of NE-SW direction geomorphological lineaments, followed by those directed NW-SE. Direction lineaments E-W and N-S were more frequent than expected through the review bibliographical. With regard to field data, at magnetic anomaly sites, the clearly predominant fracturing system is NW-SE direction and, outside it, this fracture becomes less frequent. Cutting relationships make it possible to identify NE-SW fractures of shear older than the opening NW-SE, a transcurrent E-W fracture more recent than the previous ones, and, like the most recent structures, N-S fracture systems and reactivations NE-SW. Therefore, it claims that there is a correlation between magnetic and morphological alignments, and that the behaviour of the brittle structures seen in the field reflects in geophysics. The NW magnetic anomalies, in study area, represent areas of NW fissures, filled by dikes possibly feeders of Serra Geral volcanism, being displaced by more recent E-W fracture systems and probably related to the opening of the Atlantic Ocean. NE-SW fracture systems are associated with an older event to those responsible for generating the NW-SE structures, and reactivated later. The integration of field results, bibliography and remote sensing allowed obtaining detail on the brittle tectonics in the study area,

as well as a greater understanding of the meaning of the NW magnetic anomalies in the ESrg and its relationship with the evolution of the Rio Grande Arch.

Keywords: ESrg brittle tectonics, magnetic lineaments, geomorphological lineaments, NW fracture systems, Rio Grande Arch

Sumário

1. INTRODUÇÃO	14
1.1 Objetivos gerais	15
1.2 Objetivos específicos	15
1.3 Justificativa	16
2. ÁREA DE ESTUDO	17
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
3.1 Geologia estrutural	19
3.1.1 Análise estrutural.....	19
3.1.2 Deformação e stress	20
3.2 Estruturas rúpteis.....	22
3.2.1 Fraturas.....	22
3.2.2 Modos de propagação de fraturas.....	24
3.2.3 Falhas	25
3.2.4 Terminologia das estruturas rúpteis	26
3.3 Anomalias magnéticas.....	29
4. TRABALHOS ANTERIORMENTE PUBLICADOS	30
4.1. Contexto geológico regional	30
4.1.1 A Província Mantiqueira	30
4.1.2 O Escudo Sul-rio-grandense (ESrg).....	30
4.1.3 O Cinturão Dom Feliciano (CDF)	32
4.1.4 O Terreno São Gabriel.....	33
4.1.5 A Bacia do Camaquã	34
4.2 Lineamentos geomorfológicos e magnéticos.....	35
4.3 Ocorrências minerais na área de estudo	41
5. MATERIAIS E MÉTODOS	43
6. RESULTADOS	47
6.1 Sensoriamento remoto.....	47
6.2 Lineamentos geomorfológicos	48
6.2.1 Lineamentos regionais	49
6.2.2 Lineamentos locais.....	50
6.3 Lineamentos magnéticos	54
6.4 Dados litológicos e estruturais de campo	57
6.4.1 Geologia local	58

6.4.2 Geologia estrutural	62
6.4.3 Pós campo	75
7. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	82
7.1 Sensoriamento remoto.....	82
7.2 Dados de campo.....	83
7.2.1 Estruturas NE-SW.....	83
7.2.2 Estruturas NW-SE.....	84
7.2.3 Estruturas E-W e N-S.....	85
7.2.4 Relações de corte e paleotensores.....	86
7.3 Integração dos resultados de campo e de sensoriamento remoto	87
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS	90
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	91

1. INTRODUÇÃO

O Escudo Sul-rio-grandense (ESrg) compreende complexas assembleias petrotectônicas geradas durante os ciclos orogênicos Transamazônico (2,26 – 2,0 Ga) e Brasileiro (900 – 550 Ma) segundo Chemale Jr. (2000) e Hartmann *et al.* (2007). Caracterizam-se as unidades do ESrg em termos de petrografia, geotectônica, estratigrafia, geocronologia e metalogênese. Porém, são poucos os trabalhos que abordaram de alguma forma a geologia estrutural rúptil, citando-se Ribeiro *et al.* (1966), Picada (1968), Ribeiro (1980) e, mais recentemente, Travassos (2014), que faz uma interpretação estrutural do ESrg com dados de aeromagnetometria. A tectônica rúptil foi um dos últimos eventos a afetar as unidades do ESrg, sobrepondo-se aos eventos do final do Neoproterozoico. Segundo Tessari e Picada (1966), a tectônica rígida apresentou-se bastante intensa e é representada por um complexo e denso padrão de falhamentos, áreas cataclasadas, brechadas e milonitizadas e grande parte dos limites estratigráficos definem-se através de falhamentos.

Na área de estudo, localizada na região do Cerrito do Ouro, São Sepé – RS, existe um sistema de fraturas de direção NW e NE que se intersectam e afetam as unidades do Grupo Maricá (GM) e do Supercomplexo Vacacaí (SV), na porção norte do Terreno São Gabriel (PHILIPP *et al.* 2016). Essas fraturas estão muito próximas a anomalias magnéticas de Amplitude do Sinal Analítico (ASA) de direção NW, investigadas em um projeto de pesquisa no qual este trabalho está vinculado, intitulado "Investigação de lineamentos magnéticos no Rio Grande do Sul", coordenado pelo Professor Dr. Tiago Rafael Gregory e registrado no sistema de projetos de pesquisa da Universidade Federal do Pampa – Unipampa, Campus Caçapava do Sul. O GM é definido por Pelosi & Fragoso-César (2003) e Pelosi (2005) como o conjunto de três unidades litoestratigráficas: (i) Formação Passo da Promessa; (ii) Formação São Rafael; e (iii) Formação Arroio América. O SV caracteriza-se por vários complexos de rochas vulcanossedimentares deformadas e metamorfozadas em fácies xisto-verde a anfibolito inferior, sendo representadas na área de estudo pelo Complexo Bossoroca (CHEMALE Jr. 2000).

Portanto, o presente trabalho tem por linha geral um estudo, em escala de semi-detalle, sobre anomalias magnéticas e suas relações com os lineamentos geomorfológicos e sistemas de fraturas que afetam as litologias na área de estudo.

1.1 Objetivos gerais

Os objetivos gerais compreendem a investigação geológica e estrutural de uma região do Cerrito do Ouro, São Sepé – RS, com enfoque aos sistemas de fraturas de direção NW, nos quais lineamentos magnéticos de mesma direção são identificados.

1.2 Objetivos específicos

Fazem parte dos objetivos específicos deste trabalho:

- O uso de técnicas de sensoriamento remoto a fim de reconhecer e catalogar lineamentos geomorfológicos em escalas 1:250.000, 1:100.000, 1:50.000 e 1:25.000;
- A caracterização das estruturas rúpteis em campo; e
- Relacionar as relações de corte e densidade das estruturas rúpteis com as anomalias magnéticas de Amplitude do Sinal Analítico (ASA) presentes na área de estudo.

1.3 Justificativa

O ESrg é pouco estudado sob a perspectiva da tectônica rúptil, principalmente no que diz respeito às estruturas NW. Além disso, trabalhos relacionando lineamentos morfológicos e lineamentos magnéticos em escalas de maior detalhe são escassos, apesar de já existirem trabalhos que relacionem dados aerogeofísicos e litológicos (e.g. GASTAL & FERREIRA, 2013; HARTMANN *et al.* 2016; FERREIRA, 2016; COSTA, 2016; PINTO, 2017; MACEDO, 2018).

Uma problemática também pouco investigada é a evolução do Arco de Rio Grande, uma anticlese de direção NW que soergue as unidades do ESrg e Bacia do Paraná (ASMUS & BAISCH, 1983; ALMEIDA *et al.* 2000), a qual pode ter alguma associação com as anomalias magnéticas de Amplitude do Sinal Analítico (ASA) investigadas, também de direção NW, e as fraturas que afetam a região do Cerrito do Ouro, São Sepé – RS.

Embora o foco deste trabalho não seja a prospecção mineral, a existência de ocorrências minerais associadas a sistemas de fraturas na área de estudo (CAMOZZATO *et al.* 2014; BORSSATTO, 2018) é um fator importante a ser mencionado devido à temática do trabalho e sua possível aplicabilidade a essa disciplina da geociências.

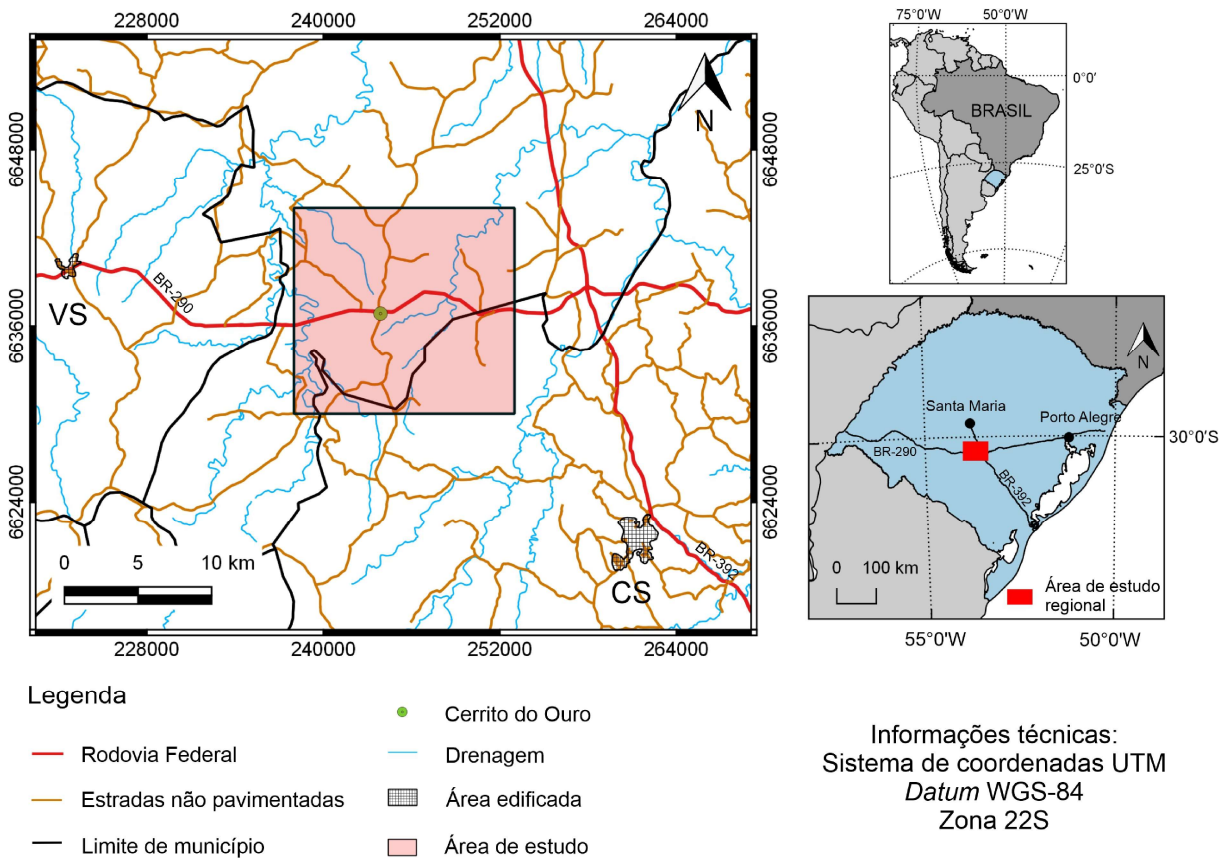
Aliado a isso, a área de estudo está localizada numa região de fácil acesso e próxima à cidade de Caçapava do Sul – RS, facilitando a logística dos trabalhos de campo e otimizando os custos do projeto.

2. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está situada na carta topográfica Passo do Salsinho (Folha SH.22-Y-A-I-4; MI – 2982/04), na região do Cerrito do Ouro, porção sul do município de São Sepé, centro-sul do Rio Grande do Sul. A distância com relação à Caçapava do Sul é de, aproximadamente, 35 km e o acesso se dá principalmente pela BR-290, a 260 km de Porto Alegre (Figura 1 e Figura 2).

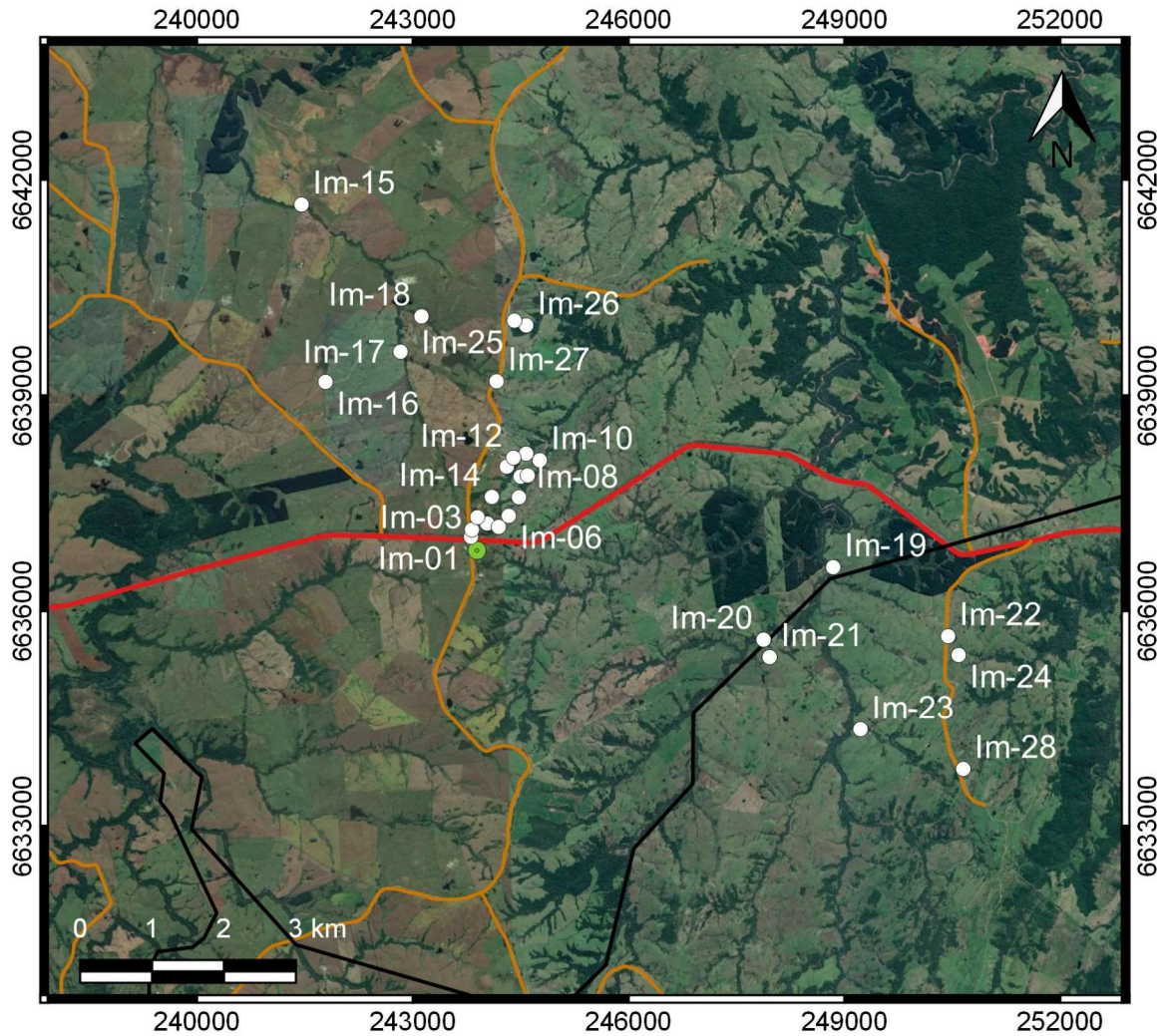
A região se caracteriza por coxilhas e relevos suaves, com médias de altitudes variando entre 100 e 250 metros e é identificada pouca disponibilidade de afloramentos. A região é cortada por uma rede de drenagens da Bacia Hidrográfica dos Rios Vacacaí e Vacacaí-Mirim (CPRM, 2005). A vegetação é típica do bioma Pampa, com campos abertos de plantação de soja, predominantemente, e mato fechado nas margens das drenagens.

Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo. Cidades próximas: VS – Vila Nova do Sul; CS – Caçapava do Sul.



Fonte: base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul (HASENACK, WEBER, 2010).

Figura 2 – Mapa de detalhe da área de estudo, com os pontos obtidos em campo.



Legenda

- Rodovia Federal
- Estradas não pavimentadas
- Limite de município
- Cerrito do Ouro
- Pontos de campo

Informações técnicas:
 Sistema de coordenadas UTM
 Datum WGS-84
 Zona 22S

Fonte: Google Earth e base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul (HASENACK, WEBER, 2010)

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Geologia estrutural

A definição mais simples de uma estrutura geológica é segundo Van der Pluijm & Marshak (2004), uma característica geométrica das rochas na qual a forma e distribuição podem ser descritas. Davis & Reynolds (1996) conceituam três categorias de estruturas fundamentais: contatos litológicos e estruturas primárias, geradas durante a formação da rocha, e estruturas secundárias, resultado do *stress* e deformação sofridos pelas rochas após a formação das mesmas. Van der Pluijm & Marshak (2004) consideram juntas, veios e certos tipos de falhas como manifestações de deformação principalmente rúptil, enquanto a clivagem, a foliação e o dobramento são, em grande parte, manifestações de processos de deformação dúctil.

A geologia estrutural é uma ferramenta utilizada para o estudo e interpretação da geometria, da distribuição e da formação das estruturas deformacionais observáveis e mapeáveis em diversas escalas. O entendimento dessas estruturas vai depender do reconhecimento prévio das estruturas consideradas primárias, formadas por processos sedimentares e magmáticos, ou ainda, das estruturas metamórficas. Utiliza-se recursos como Sensoriamento Remoto, Modelos Digitais de Elevação, dados geofísicos e experimentais, entre outros, para a interpretação dos dados estruturais obtidos em campo (FOSSSEN, 2012).

3.1.1 Análise estrutural

Uma vez que os dados de campo são corretamente coletados, eles devem ser analisados para assim ter o conhecimento da história deformacional daquela área no qual se está trabalhando. Segundo Van der Pluijm & Marshak (2004), a análise estrutural envolve as atividades definidas a seguir:

- a. A análise descritiva consiste na caracterização da forma e aparência de estruturas geológicas;
- b. A análise cinemática estuda os padrões de movimentação que as rochas ou parte delas tiveram desde um estado não deformado para um estado deformado;
- c. A análise da deformação desenvolve modelos matemáticos que quantificam a deformação na rocha;

- d. A análise dinâmica procura entender a relação entre *stress* e deformação;
- e. A análise mecânica estuda os processos que desenvolvem estruturas numa escala que vai desde átomos até grãos.

Van der Pluijm & Marshak (2004) e Fossen (2012) incluem a análise tectônica, que é o estudo da relação entre as estruturas e os processos tectônicos globais, integrando conhecimentos de geologia estrutural, petrologia, estratigrafia e outras áreas das geociências. Para Fossen (2012), os mesmos conceitos de análise descritiva de Van der Pluijm & Marshak (2004) são denominados como análise geométrica e, segundo as palavras daquele autor, “é a abordagem descritiva clássica da Geologia Estrutural, na qual se baseia a maioria dos métodos analíticos” (FOSSSEN, 2012, p. 45). Twiss & Moores (2007) também falam sobre modelos geométricos que representam a interpretação tridimensional da distribuição e orientação das estruturas, enquanto que os modelos cinemáticos descrevem uma história específica da deformação. Os modelos mecânicos baseiam-se nas leis básicas de Mecânica e nas propriedades físicas das rochas em questão. Conforme Van der Pluijm & Marshak (2004), para os resultados de uma análise estrutural serem interpretáveis, a escala da análise deve ser levada em conta.

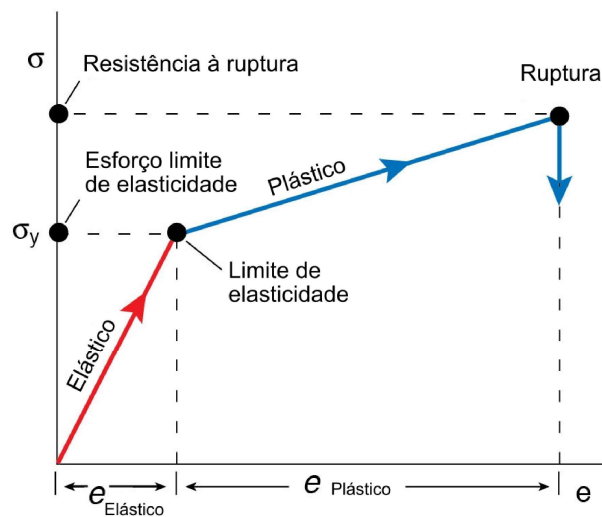
3.1.2 Deformação e stress

Saklani (2008) define *stress* (σ) como uma força por unidade de área que atua na superfície de um sólido e matematicamente possuindo componentes normais e componentes de cisalhamento, com referência a três eixos perpendiculares entre si. O termo deformação refere-se a uma completa transformação de uma geometria inicial para uma geometria final de um corpo de rocha. São mudanças estruturais que ocorrem na localização original, na orientação, na forma e no volume, através de translação, rotação e deformação interna (*strain, distortion*, DAVIS & REYNOLDS, 1996; VAN DER PLUIJM & MARSHAK, 2004; FOSSSEN, 2012). A deformação de um corpo ocorre em resposta ao *stress* e depende das propriedades reológicas do corpo. Quando um certo limite de *stress* é excedido, a rocha irá deformar-se ductilmente ou ruptilmente (DAVIS & REYNOLDS, 1996; FOSSSEN, 2012).

Um aspecto a ser considerado é a acumulação de esforço (σ , *stress*) ao longo do tempo, chamado de taxa de deformação (VAN DER PLUIJM & MARSHAK, 2004; FOSSSEN, 2012). Segundo Fossen (2012), as rochas podem deformar-se

elasticamente através do alongamento das ligações químicas, tornando recuperável à forma original após cessado o esforço. Por outro lado, quando o esforço é removido de uma rocha sob deformação plástica, esta não recupera a sua forma original devido à acumulação de tensão ao longo do tempo acima do limite de elasticidade do material. A deformação deixa de ser elástica quando o limite de elasticidade é superado. Se o esforço continua a aumentar, o limite de ruptura é atingido e a rocha se fratura. A rocha irá deformar-se por fraturamento quando sua resistência à ruptura for excedida, como mostrado na Figura 3 (FOSSSEN, 2012).

Figura 3 – Relação entre *stress* (σ) e deformação (e). No regime dúctil, as rochas podem ser deformadas elasticamente e/ou plasticamente, até o ponto onde ocorre o fraturamento (deformação rúptil).



Fonte: extraído e traduzido de Fossen (2010).

Conforme Davis & Reynolds (1996), os mecanismos de deformação são processos que permitem que as rochas se deformem em escalas microscópica a atômica, sendo as estruturas geradas chamadas de microestruturas. Segundo aqueles autores, os principais mecanismos são organizados em 5 categorias principais: (1) microfraturamento, cataclase e deslizamento friccional; (2) geminação mecânica (*mechanical twinning*) e torção (*kinking*); (3) deformação por difusão (*diffusion creep*); (4) deformação por dissolução (*dissolution creep*); e (5) deformação por deslocamento (*dislocation creep*). O conhecimento dos mecanismos de deformação é essencial para entender as estruturas geológicas fundamentais, tais como juntas e fraturas, falhas, dobras, clivagem, foliação e lineação, e zonas de cisalhamento (DAVIS & REYNOLDS, 1996).

No próximo tópico da presente revisão bibliográfica será dado ênfase às estruturas geradas no regime rúptil, pois esta é a principal abordagem do trabalho nas rochas a serem estudadas.

3.2 Estruturas rúpteis

O regime rúptil ou regime friccional é aquele em que mecanismos de deformação rúptil, tais como deslizamento friccional, rotação e fratura de grãos, são favorecidos pelas condições físicas do meio. Durante a deformação rúptil, os grãos são moídos e reorganizados, e a deformação torna-se mais localizada (FOSSSEN, 2012). A deformação rúptil ocorre somente após as tensões excederem um valor crítico, ou seja, logo após as rochas já terem sofrido algum comportamento elástico e/ou plástico, ocorrendo principalmente na crosta superior em até 10 quilômetros de profundidade, gerando uma “miríade” de estruturas geológicas (VAN DER PLUIJM & MARSHAK, 2004).

Segundo Davis & Reynolds (1996), as estruturas rúpteis são de importância geológica indiscutível, pois favorecem a circulação de fluidos, tais como água subterrânea, contaminantes e poluentes, soluções mineralizadoras hidrotermais, águas geotérmicas, petróleo e gás natural. Em muitos depósitos, partes das mineralizações são localizadas em áreas próximas ou dentro de fraturas.

3.2.1 Fraturas

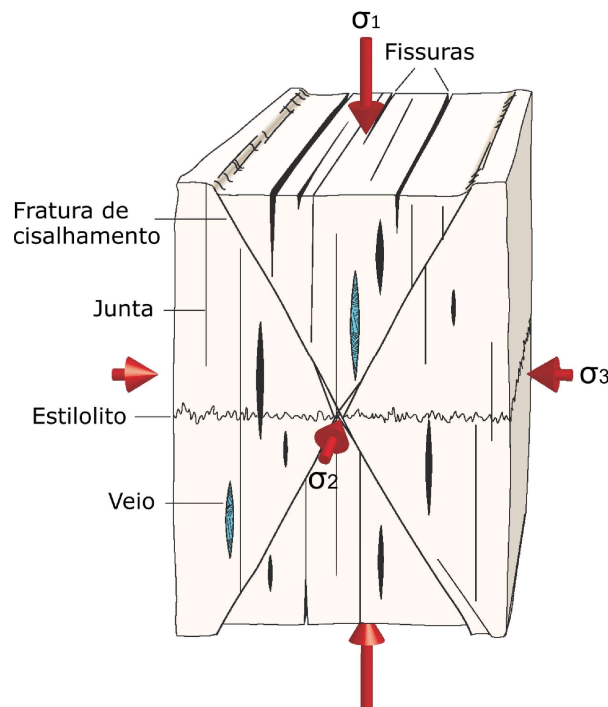
O termo fratura pode ser definido como uma superfície ao longo da qual a rocha e os minerais se romperam. Sendo assim, são superfícies onde o material teve perda de continuidade ou coesão (VAN DER PLUIJM & MARSHAK, 2004; TWISS E MOORES, 2007). Fossen (2012) ainda define fratura como uma descontinuidade plana ou sub-plana, delgada em uma direção em comparação às outras duas e formada por esforços externos, podendo ser tectônicos, ou esforços internos, como térmicos ou residuais. As fraturas formam-se principalmente no regime rúptil, com os esforços concentrando-se nas suas extremidades, favorecendo o seu crescimento (FOSSSEN, 2012). A pressão de fluidos nas fraturas e poros também favorece a reativação e propagação das mesmas.

O estudo das fraturas compreende quatro categorias gerais de observações: a distribuição e geometria do sistema de fratura; as características da superfície das

fraturas; o tempo relativo da formação de diferentes fraturas; e a relação geométrica das fraturas com outras estruturas (TWISS & MOORES, 2007).

As fraturas podem ser classificadas em fraturas extensionais (juntas, fissuras e veios), fraturas de cisalhamento (superfícies de cisalhamento) e, ainda, fraturas de fechamento ou de contração (estilolito, FOSSEN, 2012), conforme a Figura 4.

Figura 4 – Principais tipos de fraturas e sua orientação com relação aos esforços principais σ_1 , σ_2 e σ_3 que representam, respectivamente, a direção dos esforços maior, intermediário e menor.



Fonte: extraído e traduzido de Fossen (2010).

Fraturas extensionais se formam ortogonais a σ_3 (Figura 4) e possuem extensão perpendicular à suas paredes. São classificadas em juntas, fissuras, veios e diques. Juntas são estruturas rúpteis que são formadas em resposta a ações como soterramento e compactação, aquecimento e expansão, soerguimento, resfriamento e contração, e carga tectônica, causando encurtamento ou alongamento dos corpos rochosos (DAVIS & REYNOLDS, 1996). As juntas geralmente se tornam locais onde os minerais são precipitados na forma de veios (DAVIS & REYNOLDS, 1996). Fissuras são fraturas preenchidas por ar ou fluidos, enquanto que diques são fraturas preenchidas por magma, ou até mesmo sedimento (FOSSEN, 2012).

Uma fratura de cisalhamento é formada oblíqua a σ_1 e σ_3 (Figura 4), na qual houve um deslocamento paralelo à superfície da mesma. O termo é utilizado para deslocamentos milimétricos a decimétricos, enquanto que o termo *falha* é utilizado

para descontinuidades de rejeito maiores (FOSSEN, 2012). Uma fratura de cisalhamento pode representar um evento no qual a superfície de fratura e o deslocamento ao longo dela se formaram ao mesmo tempo, ou ainda pode representar uma reativação e deslizamento ao longo da superfície de uma junta formada sob diferentes condições de tensão (DAVIS & REYNOLDS, 1996). As fraturas de cisalhamento não podem se expandir, a não ser que se formem pequenas fraturas extensionais nas extremidades das fraturas de cisalhamento, enfraquecendo a rocha (FOSSEN, 2012).

Os estilólitos são estruturas de compactação, ortogonais a σ_1 com superfícies muito irregulares em vez de planas (FOSSEN, 2012) e são superfícies de dissolução associadas a contrações ou deformações de cisalhamento (MCCLAY, 1987). São estruturas comumente associadas a juntas e veios, encontradas em muitos tipos de rochas, incluindo arenitos e carbonatos de grãos finos (MCCLAY, 1987).

3.2.2 Modos de propagação de fraturas

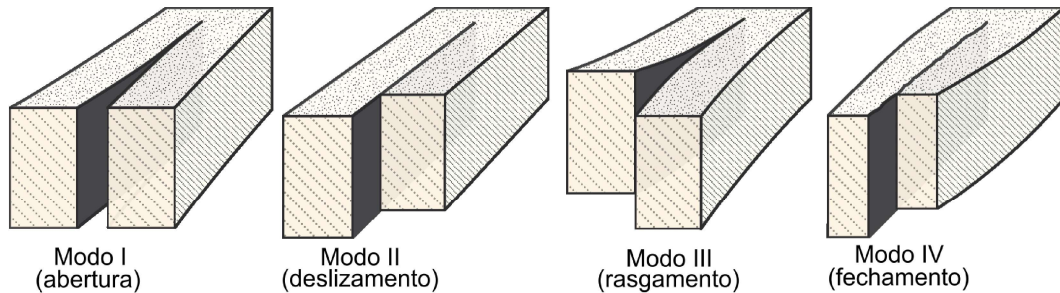
Com relação à Mecânica de Fraturas, elas podem ser classificadas em três diferentes modos de propagação, de acordo com Fossen (2012), Twiss & Moores (2007), Van der Pluijm & Marshak (2004) e Davis & Reynolds (1996):

- MODO I: são consideradas fraturas de extensão, com o movimento relativo perpendicular às paredes da fratura, à medida que se propagam. Juntas são fraturas de modo I;
- MODO II: a propagação do Modo II é caracterizada como movimentos relativos paralelos à superfície de fratura e perpendicular à borda da fratura;
- MODO III: a propagação do modo III ocorre quando o movimento de deslizamento é paralelo tanto à superfície de fratura como à ponta de propagação da fratura.

As fraturas de modo II e III são ambas fraturas de cisalhamento, pois são marcadas por deslizamentos paralelos à superfície de fratura. Uma fratura que contém componentes de deslizamento paralelas (Modo II ou Modo III) e perpendiculares (Modo I) à superfície são consideradas fraturas extensionais oblíquas (TWISS & MOORES, 2007) ou fraturas híbridas (FOSSEN, 2012).

Além dos três modos de propagação descritos acima, Fossen (2012) ainda inclui um Modo IV (modo de fechamento), que pode ser exemplificado pelos estilolitos, de acordo com a Figura 5 abaixo.

Figura 5 – Modos de propagação de fraturas.

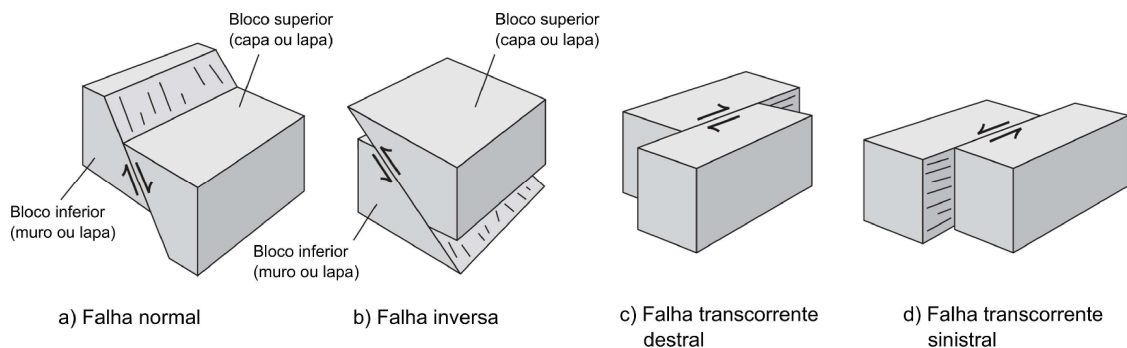


Fonte: modificado de Fossen (2010).

3.2.3 Falhas

Uma falha é qualquer superfície ou faixa estreita onde é visível um deslizamento causado por cisalhamento. É uma definição muito semelhante à de fraturas de cisalhamento. Porém, neste caso, o rejeito é da ordem de 1 metro ou mais. As falhas são muito mais complexas, formam zonas espessas que podem acomodar grande quantidade de deformação na crosta superior, com muitas estruturas subsidiárias, tais como fraturas e bandas de deformação em rochas sedimentares (FOSSSEN, 2012). Com relação à geometria e à cinemática, são basicamente de três tipos (Figura 6): normais, inversas e transcorrentes.

Figura 6 – Geometria e cinemática das falhas.

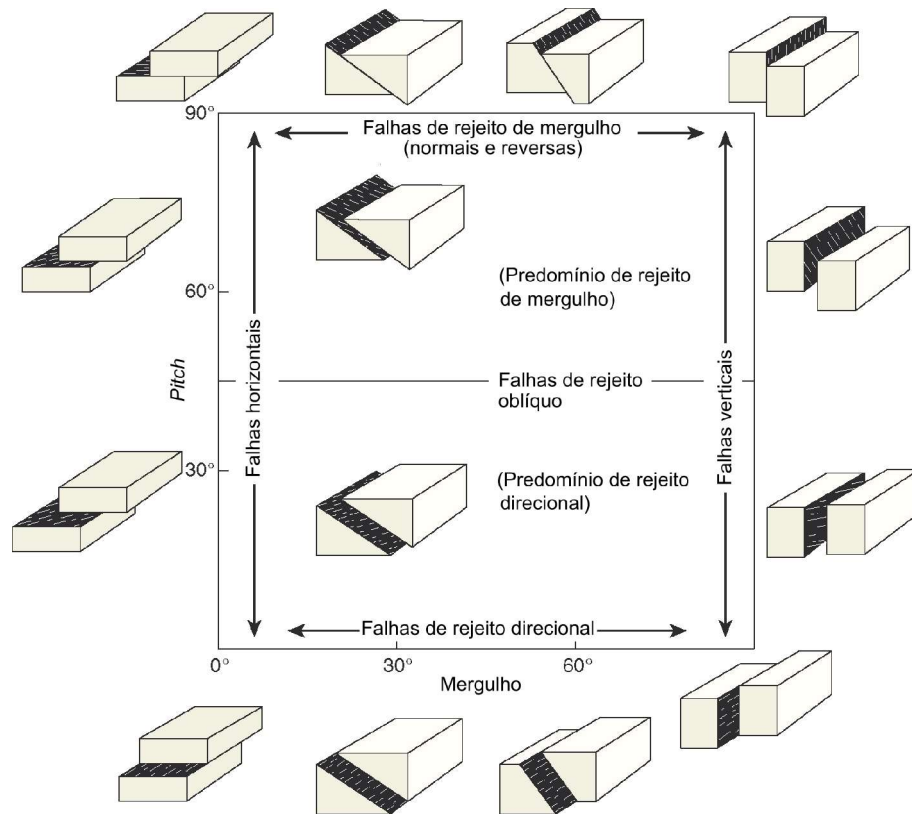


Fonte: modificado de Van der Pluijm & Marshak (2004).

Elas também podem ser classificadas com relação ao mergulho do plano de falha e o *pitch* (obliquidade), que é o ângulo entre a direção de rejeito e a direção do

plano de falha, como mostra a Figura 7 (FOSSEN 2012). Quando os movimentos de falha alteram suficientemente a rocha original, ela passa a ser uma rocha de falha, que varia de acordo com a litologia, profundidade, temperatura, pressão dos fluidos e da cinemática presentes durante o movimento da falha (FOSSEN, 2012).

Figura 7 – Classificação das falhas com base no mergulho do plano de falha e o *pitch*.



Fonte: extraído e traduzido de Fossen (2010).

3.2.4 Terminologia das estruturas rúpteis

Existe uma diferença na definição de fraturas e juntas de acordo com a bibliografia consultada. Para Davis & Reynolds (1996, p. 210), certas fraturas não podem ser qualificadas como juntas ou fraturas convencionais de cisalhamento, pois a densidade do fraturamento é muito maior do que o razoável para juntas comuns e fraturas por cisalhamento, e a regularidade de orientação e espaçamento é ausente. Neste caso, as rochas estariam catacladasas ou “quebradas” (*shattered*), e não “juntadas” (*jointed*). Essas estruturas são simplesmente chamadas de fraturas e ocorrem em zonas de falha. Fossen (2012) diferencia os termos *junta* e *fratura* como sendo duas coisas diferentes. Segundo aquele autor, existem estruturas rúpteis denominadas fraturas e elas são classificadas em fraturas de cisalhamento,

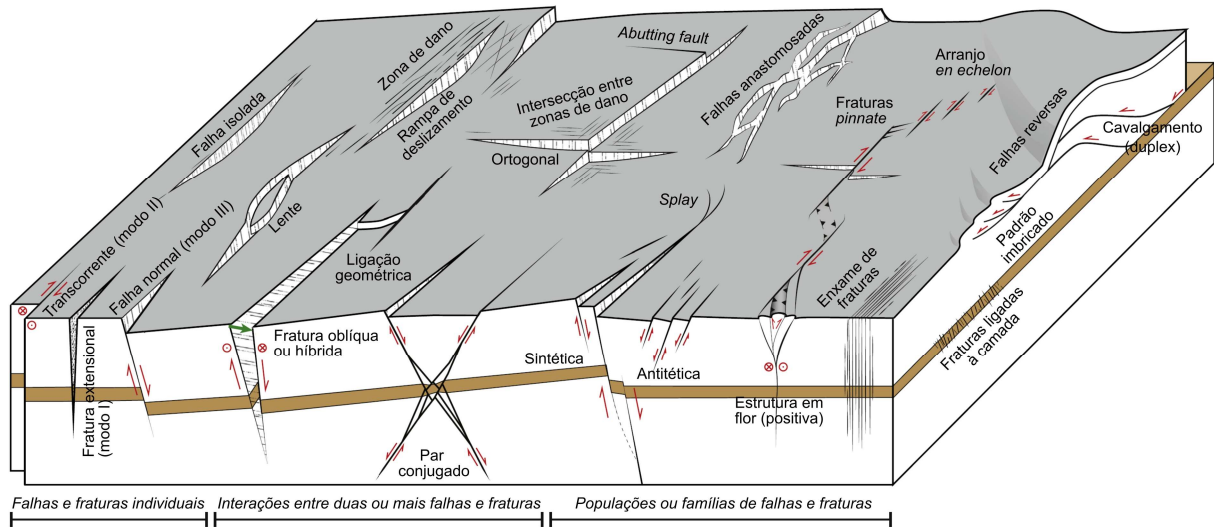
extensionais e de fechamento. Para Fossen (2012), o termo junta é uma fratura extensional qualquer que, caso houver preenchimentos, recebe outras denominações, tais como fissuras, veios e diques. Twiss & Moores (2007) recomendam que, quando em dúvida sobre qual termo de classificação é mais apropriado, deve ser utilizado simplesmente o termo *fratura*, com modificações apropriadas.

Segundo Peacock *et al.* (2016), o aumento crescente dos estudos de estruturas rúpteis nas últimas décadas levaram a introdução de novas terminologias e o simples termo *fratura* tornou-se confuso e mal utilizado. Neste sentido, aqueles autores sumarizam em um glossário as fraturas e falhas com enfoque em como os diferentes tipos de estruturas se relacionam entre si, ao formar famílias e populações (Figura 8). Os termos são organizados com relação à geologia, à geometria, à topologia, à cinemática e/ou mecânica, com o intento de mostrar as diferentes expressões com usos particulares em cada passo de uma análise. Este glossário destaca as estruturas de forma (i) individual; (ii) quando há interação entre duas ou mais estruturas; e (iii) populações e famílias de estruturas. A seguir, será dada uma síntese geral de alguns dos termos abordados por Peacock *et al.* (2016), exemplificados na Figura 8.

As fraturas e falhas individuais são classificadas em Modos I, II e III. A combinação entre duas ou mais estruturas formam falhas e fraturas híbridas, *abutting fault* (falha confinada, relacionada a outra falha), rampas de deslizamento, zonas de dano que podem ou não se interseccionar, e pares conjugados de fraturas ou falhas.

As interações entre famílias e populações de falhas e fraturas estão associadas a estruturas de maior escala. Falhas anastomosadas, sintéticas e antitéticas são presentes, por exemplo, em regimes extensionais, enquanto que estruturas em flor, é uma característica de regimes transpressivos e transtrativos. Falhas reversas ou inversas, padrões imbricados e cavalgamento são típicas de regimes compressivos. Outras estruturas que estão relacionadas a estruturas de maior escala são arranjos do tipo *en echelon*, *pinnate* e *splay*.

Figura 8 – Ilustração dos diversos tipos de falhas e fraturas e suas interações. Os termos de difícil tradução foram mantidos em seus idiomas originais.



Fonte: extraído e traduzido de Peacock *et al.* (2016).

A história geológica das fraturas pode ser de difícil interpretação. Como são planos de fraqueza nas rochas, estão sempre sujeitas à eventos de reativação posteriores. Assim, algumas de suas características observadas podem tornar completamente ambíguas as evidências relacionadas ao modo e tempo relativo da formação da fratura (TWISS & MOORES, 2007).

3.3 Anomalias magnéticas

A magnetometria é um método potencial que tem como objetivo identificar perturbações do campo magnético da Terra causadas por feições de subsuperfície com susceptibilidades magnéticas distintas, definindo, assim, uma anomalia magnética. Diques e intrusões de maciços básicos, embasamento de rochas metamórficas e corpos de minério de magnetita são fontes causativas comuns de anomalias magnéticas. Os levantamentos magnéticos podem ser realizados em terra, no mar e no ar, sendo o levantamento aéreo o de menor custo e o mais utilizado (LOWRIE *et al.* 2007; KEAREY *et al.* 2009).

Após a aquisição dos dados, é necessário se fazer correções de variação diurna e geomagnética para minimizar interferências externas que podem influenciar no resultado final. Após essa etapa, há o nivelamento de perfis, redução dos dados para um *grid* a partir de técnicas de interpolação, cálculos de derivadas, transformada de Fourier e outras funções. Aplica-se filtros de realces tais como derivadas direcionais, redução ao polo, continuação para cima, Inclinação do Sinal Analítico do Gradiente Horizontal e Amplitude do Sinal Analítico, entre outros (TELFORD *et al.* 1990; KEAREY *et al.* 2009).

A Amplitude do Sinal Analítico (ASA) é uma técnica de realce de anomalias magnéticas (NABIGHIAN, 1972,1974; ROEST *et al.* 1992) que apresenta resultados satisfatórios para fontes pouco profundas. O valor absoluto do sinal analítico define-se como a raiz quadrada da soma quadrada da vertical (z) e as duas derivadas horizontais (x e y) do campo magnético, conforme equação (1):

$$ASA = \sqrt{\left(\frac{\partial M}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial M}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial M}{\partial z}\right)^2} \quad (1)$$

Onde, M é a amplitude da anomalia magnética.

Este sinal exhibe máximos sobre os contrastes de magnetização, isto é, nas bordas da fonte causativa, independentemente do campo magnético ambiente e das direções de magnetização da fonte. A localização desses máximos determina, assim, os contornos das fontes magnéticas. A partir da forma da amplitude do sinal analítico é possível estimar a profundidade da fonte magnética (ROEST *et al.* 1992).

4. TRABALHOS ANTERIORMENTE PUBLICADOS

4.1. Contexto geológico regional

A área de estudo está inserida na porção norte do Terreno São Gabriel, um terreno neoproterozoico parcialmente coberto por sequências da Bacia do Camaquã. O Terreno São Gabriel faz parte do Cinturão Dom Feliciano (HARTMANN *et al.* 2007), uma unidade do Escudo Sul-rio-grandense (ESrg) que compreende o Setor Meridional da Província Mantiqueira (HEILBRON *et al.* 2004). Abaixo será feita uma revisão sobre as características geológicas e geotectônicas do ESrg, o Cinturão Dom Feliciano, o Terreno São Gabriel e a Bacia do Camaquã.

4.1.1 A Província Mantiqueira

A Província Mantiqueira localiza-se ao longo da costa Atlântica e estende-se desde a latitude 15°S até o Uruguai (ALMEIDA *et al.* 1977; 1981). É um sistema orogênico gerado no Neoproterozoico e que pode ser subdividido em setores Setentrional, Central e Meridional (HEILBRON *et al.* 2004). No sul do Brasil e Uruguai, o Setor Meridional é representado pelos orógenos São Gabriel e Dom Feliciano (HEILBRON *et al.* 2004) que, juntos, formam o Cinturão Dom Feliciano conforme a definição de Hartmann *et al.* (2007) e Philipp *et al.* (2016). As unidades dos escudos do sul do Brasil e Uruguai (Figura 9) foram fortemente afetadas pelo Ciclo Brasileiro (1000 a 470 Ma), resultando em terrenos de rochas granito-migmatítico-gnáissicas, metavulcanossedimentares supracrustais e sequências vulcanossedimentares tardi-a pós-colisionais (CHEMALE Jr. *et al.* 1995). Neste contexto, insere-se o Cinturão Dom Feliciano definido por Hartmann *et al.* (2007) e Philipp *et al.* (2016), que equivale aos orógenos São Gabriel e Dom Feliciano descritos por Heilbron *et al.* (2004).

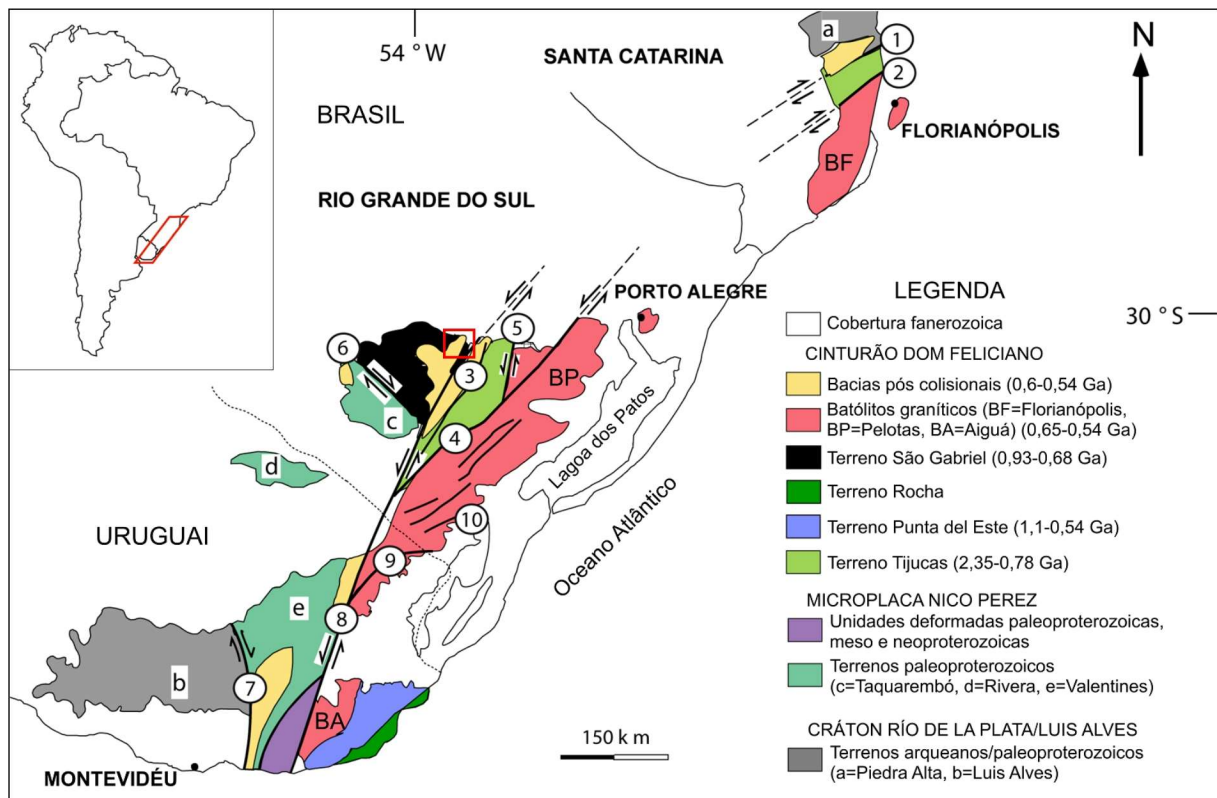
4.1.2 O Escudo Sul-rio-grandense (ESrg)

O ESrg é uma unidade geomorfológica composta por assembleias petroectônicas geradas principalmente no Paleoproterozoico e no Neoproterozoico (CHEMALE Jr. 2000). Divide-se em 4 unidades com características geológicas, estruturais, geoquímicas e geotectônicas distintas, de acordo com a Figura 9: Terreno Taquembó, Terreno São Gabriel, Terreno Tijucas e Batólito Pelotas, conforme Hartmann *et al.* (2007). Sobre essas unidades, depositam-se as sequências

vulcanossedimentares da Bacia do Camaquã, uma bacia tardi- a pós-colisional (PAIM *et al.* 2014). É delimitado a leste pela Planície Costeira e a norte, sul e oeste pela Bacia do Paraná.

As rochas paleoproterozoicas são representadas pelo Complexo Granulítico Santa Maria Chico no Terreno Taquarembó, o Complexo Encantadas no Terreno Tijucas, e septos do embasamento no Batólito Pelotas, segundo Hartmann *et al.* (2007). O Neoproterozoico é representado por rochas do chamado Cinturão Dom Feliciano, um orógeno que se estende desde o Sul do Brasil até o Uruguai, formado pela colisão dos crátons Kalahari, Congo e Rio de La Plata (PHILIPP *et al.* 2016). O Neoproterozoico também está presente em rochas brasileiras no Terreno Taquarembó (HARTMANN *et al.* 2007; CHEMALE Jr. 2000).

Figura 9 – Mapa geológico dos escudos do sul do Brasil e do Uruguai, setor meridional da Província Mantiqueira. Zonas de cisalhamento dúcteis: 1 – Itajai-Perimbó, 2 – Major Gercino, 3 – Caçapava do Sul, 4 – Dorsal de Canguçu, 5 – Passo do Marinheiro, 6 – Ibaré, 7 – Sarandí del Yí, 8 – Sierra Ballena, 9 – Cerro Amaro, 10 – Arroio Grande. A área de estudo está assinalada pelo retângulo vermelho.



Fonte: extraído de Philipp *et al.* (2016).

O ESrg também pode ser dividido em 3 blocos geofísicos (FERNANDES *et al.* 1995a), delimitados por descontinuidades magnéticas e gravimétricas, denominados a seguir:

- i) Bloco geofísico leste, que corresponde às rochas do Batólito Pelotas (HARTMANN *et al.* 2007);
- ii) Bloco geofísico central, subdividido em bloco geofísico central-leste e bloco geofísico central-oeste pela Sutura de Caçapava, uma anomalia magnética. Esta divisão corresponde, respectivamente, às rochas do Terreno Tijucas (HARTMANN *et al.* 2007) e do Terreno São Gabriel (HARTMANN *et al.* 2007);
- iii) Bloco geofísico oeste que, segundo Fernandes *et al.* (1995a), corresponde ao Cráton Rio de La Plata ou ao Terreno Taquarembó (HARTMANN *et al.* 2007).

A Sutura de São Gabriel delimita o bloco geofísico oeste do Cinturão Dom Feliciano, ao qual pertencem os blocos central e leste, segundo Fernandes *et al.* (1995a).

4.1.3 O Cinturão Dom Feliciano (CDF)

O Cinturão Dom Feliciano (CDF, Figura 10) é o segmento sul da Província Mantiqueira (HEILBRON *et al.* 2004). No Rio Grande do Sul, corresponde aos terrenos São Gabriel, Tijucas e o Batólito Pelotas, conforme Hartmann *et al.* (2007). Foi construído durante o Ciclo Brasileiro, no decorrer de três eventos tectônicos principais (HARTMANN *et al.* 1999, 2000 *apud* HARTMANN *et al.* 2007; PHILIPP *et al.* 2016):

- i) O início da subducção que desenvolve um arco intra-oceânico, durante o evento tectônico neoproterozoico mais antigo do sul do Brasil: o Evento Passinho (0,89 – 0,86 Ga);
- ii) O desenvolvimento de um arco magmático durante a Orogênese São Gabriel (0,77 – 0,68 Ga), marcada pela formação dos Complexos Cambaí e Palma/Bossoroca;
- iii) Metamorfismo e fusão dos antigos remanescentes crustais no Batólito Pelotas e ampla intrusão de granitos sin-, tardi- e pós-colisionais, durante o Evento Dom Feliciano (0,65 – 0,54 Ga).

Conforme Fernandes *et al.* (1995b), as associações petrotectônicas de todo o Cinturão Dom Feliciano “podem ser consideradas geneticamente relacionadas a um evento de estruturação de uma colagem orogênica com seus sucessivos estágios evolutivos”. O Cinturão Dom Feliciano começou a sua formação com a abertura do Oceano Charrua na porção sudoeste do Gondwana, a 950-900 Ma. O fechamento deste oceano e a colisão com os arcos magmáticos, ocorrida entre 770 e 680 Ma, foi

sucedida pelo fechamento do Oceano Adamastor e a colisão entre a microplaca Nico Perez/Cráton Rio de La Plata e o Cráton Kalahari, no final do Neoproterozoico (PHILIPP *et al.* 2016).

4.1.4 O Terreno São Gabriel

O Terreno São Gabriel, segundo Phillip *et al.* (2016), forma a porção oeste do Cinturão Dom Feliciano e tem uma forma alongada na direção N20-30°E. Conforme Hartmann *et al.* (2007), constitui-se em um prisma acrescionário formado no Neoproterozoico, com associações petrotectônicas de ambientes de margem passiva e de retro-arco (*back-arc*), ofiolitos, arcos magmáticos vulcanossedimentares e plutônicos. Chemale Jr. *et al.* (1995) e Chemale Jr. (2000) denominam este terreno como Cinturão Vila Nova e Heilbron *et al.* (2004) o denomina Orógeno São Gabriel. É limitado ao sul pelo Lineamento Ibaré (CHEMALE Jr. 2000) ou Zona de Cisalhamento Ibaré (PHILIPP *et al.* 2016) e a leste por um sistema de falhas NNE-SSW (CHEMALE Jr. 2000), ou Zona de Cisalhamento Caçapava do Sul (ZCCS, PHILLIPP *et al.* 2016) ou ainda Sutura de Caçapava (FERNANDES *et al.* 1995a). A norte e oeste está delimitado por sequências da Bacia do Paraná. As unidades do Terreno São Gabriel são afetadas por zonas de cisalhamento dúcteis de orientação em geral NE, que foram reativadas várias vezes desde o Neoproterozoico até o Mesozoico (CHEMALE Jr. 2000) e, ao aproximarem-se do Lineamento Ibaré, rotacionam-se para NW (CHEMALE Jr. 2000; PHILIPP *et al.* 2016).

As unidades do Terreno São Gabriel podem ser agrupadas em três associações petrotectônicas principais (PHILIPP *et al.* 2016):

- i) Prisma Acrescionário de Palma: formado por 5 complexos ofiolíticos (Palma, Passo do Ivo, Cerro Mantiqueira, Cambaizinho e Arroio Lajeado), caracterizados como corpos alongados paralelos às estruturas regionais;
- ii) Associações de Arco Relacionadas. i) Arco Passinho (ortognaisses do Complexo Imbicuí); e ii) Arco São Gabriel: rochas metavulcânicas e meta-vulcanos-sedimentares do Complexo Bossoroca; rochas metassedimentares do Complexo Cambaizinho; rochas metassedimentares, metavulcanoclásticas, metabasaltos, xistos e anfibolitos do Complexo Passo Feio; ortognaisses e metagranitos (gnaisse tonalítico, trondhjemítico e diorítico; metatonalitos intrusivos, metagranodioritos e metadioritos) do

Complexo Cambaí, granitos e dioritos tardi- a pós-colisionais da Suíte Lagoa da Meia Lua e rochas máficas a ultramáficas de Mata Grande;

- iii) Associação Plutono Vulcano-sedimentar do Seival, que formou-se entre 0,61 e 0,54 Ga, representando os estágios tardios e pós-orogênicos da Orogênese Dom Feliciano (CHEMALE Jr. 2000).

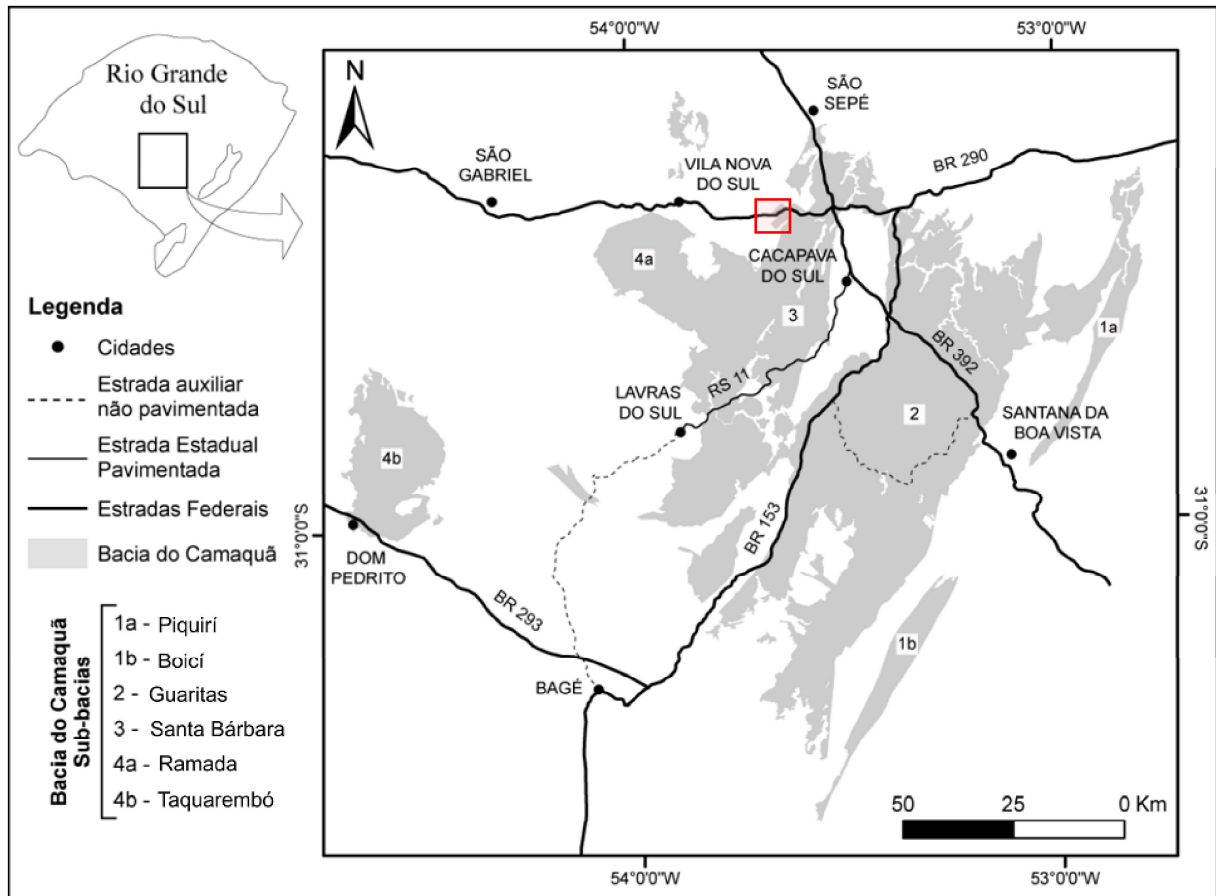
4.1.5 A Bacia do Camaquã

A Bacia do Camaquã encontra-se na porção centro-sul do Rio Grande do Sul, sobre as estruturas do embasamento pré-cambriano, e consiste de rochas sedimentares e vulcanogênicas, geradas entre o fim do Neoproterozoico e o Eopaleozoico (JANIKIAN *et al.* 2003; PELOSI & FRAGOSO-CESAR, 2003). A Bacia do Camaquã é comumente associada a um sistema de bacias tardi- a pós-orogênicas (PAIM *et al.* 2000; PAIM *et al.* 2014) e é uma das bacias molássicas mais bem preservadas do mundo, com pouca deformação ou metamorfismo (PAIM *et al.* 2014). Sua evolução está relacionada com as fases finais de arrefecimento tectônico da Orogenia Brasileira (650-500 Ma) no Rio Grande do Sul, caracterizada por uma diminuição da intensidade de deformação, de caráter rúptil-dúctil nas porções inferiores, e caráter rúptil nas porções superiores da bacia (PAIM *et al.* 2000).

As sucessões da Bacia do Camaquã são englobadas no Supergrupo Camaquã (FRAGOSO-CESAR *et al.* 2003 *apud* JANIKIAN *et al.* 2003) e afloram em sub-bacias denominadas: Boicí-Piquiri, Guaritas, Santa Bárbara, Ramada e Taquarembó (PAIM *et al.* 2000; PAIM *et al.* 2014), conforme a Figura 10. Também podem ser subdivididas em três sub-bacias: Camaquã Ocidental, Camaquã Central e Camaquã Oriental, sendo separadas pelos altos de Caçapava do Sul e da Serra das Encantadas e parcialmente recobertas por unidades da Bacia do Paraná (FRAGOSO-CÉSAR *et al.* 2000).

Paim *et al.* (1995) e Borba (2006) explanam sobre a complexidade do contexto geotectônico no qual a Bacia do Camaquã teria sido gerada e evoluída. Segundo aqueles autores, os eventos tectônicos expuseram as sequências de forma relativamente isolada e a ausência significativa de informações sobre a subsuperfície e conteúdo fossilífero, por exemplo, resultaram em uma divergência no que se refere como a Bacia do Camaquã teria evoluído e como os esforços tectônicos atuaram.

Figura 10 – Mapa de localização da Bacia do Camaquã e suas sub-bacias. A área de estudo está destacada no retângulo vermelho.



Fonte: extraído e modificado de Bicca (2013).

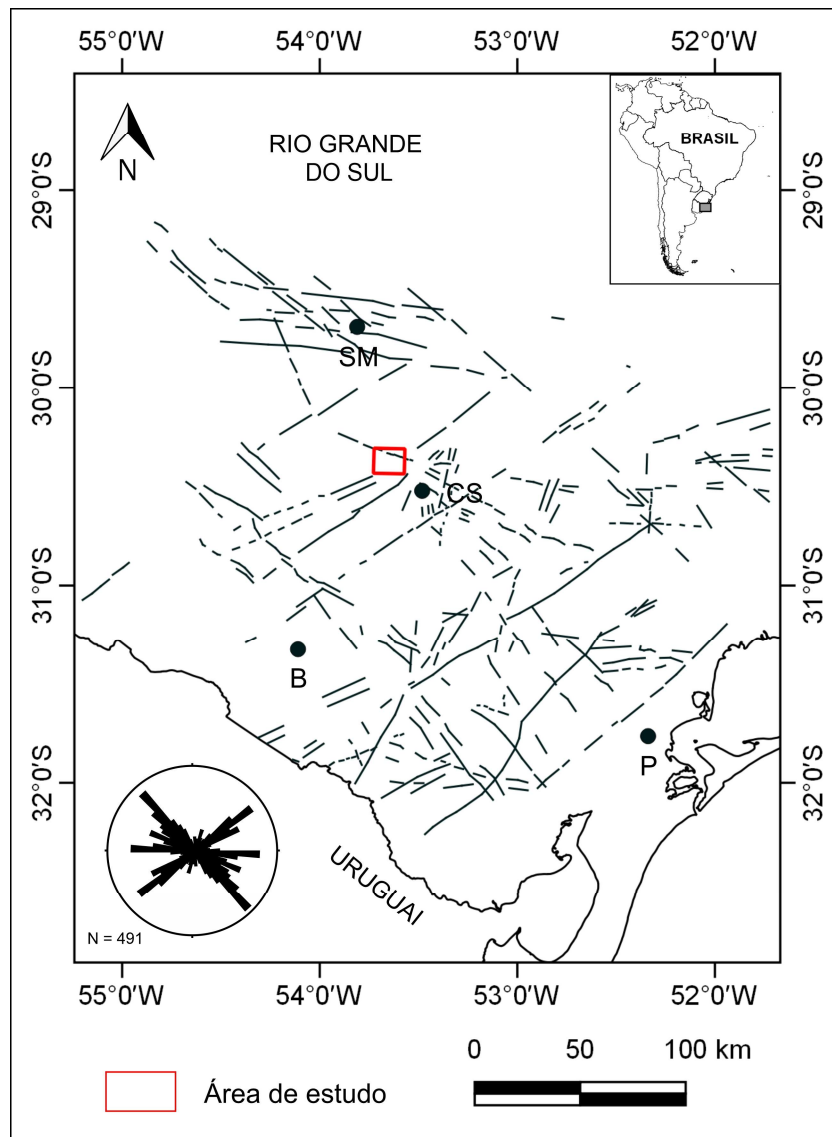
4.2 Lineamentos geomorfológicos e magnéticos

Publicações que têm como foco a caracterização das estruturas rúpteis regionais do ESrg são relativamente escassas. Algumas das mais antigas que abordam esse tema direta ou indiretamente são as de Ribeiro *et al.* (1966), Tessari & Picada (1966), Picada (1968), Ribeiro (1980) e Jost *et al.* (1984). Posteriormente, vieram trabalhos com dados aerogeofísicos de Fernandes *et al.* (1995a), e dados aeromagnetométricos de Costa (1997 *apud* HARTMANN *et al.* 2007) e Travassos (2014). Estes trabalhos tiveram como objetivo compartimentalizar o ESrg com base em estruturas profundas que apresentam algum sinal geofísico.

Conforme Ribeiro (1980), os lineamentos regionais do ESrg (Figura 11) estão orientados predominantemente nas direções NE-50° e NW-50°, e dispõem-se em uma faixa com largura entre 5 a 20 km. Essas fraturas formam redes ortogonais cujos pontos de intersecção estão separados por aproximadamente 75 km. É referido

também uma segunda rede ortogonal, moderada, de fraturas N-S e E-W, posteriores às NE e NW. Ribeiro (1980) considera que as estruturas NE-50° e NW-50° são contemporâneas, mais antigas que os granitos do pré-cambriano e atingem o Manto Superior. Ainda segundo aquele autor, a direção mais proeminente é NE-50°, sendo a direção NW-50° continuamente intrudida por granitos e diabásios no pré-Cambriano, e diabásios, rochas alcalinas e kimberlitoídes ultramáficos no Mesozoico. Almeida *et al.* (1977; 1981) e Almeida *et al.* (2000) sugerem que essas intrusões mesozoicas estariam relacionadas à reativação da Plataforma Sulamericana e a abertura do Oceano Atlântico, que vieram a dar origem aos arcos estruturais de Rio Grande e Ponta Grossa.

Figura 11 – Lineamentos regionais do ESrg, segundo Ribeiro (1980). Cidades principais: SM – Santa Maria, CS – Caçapava do Sul, B – Bagé, P – Pelotas.



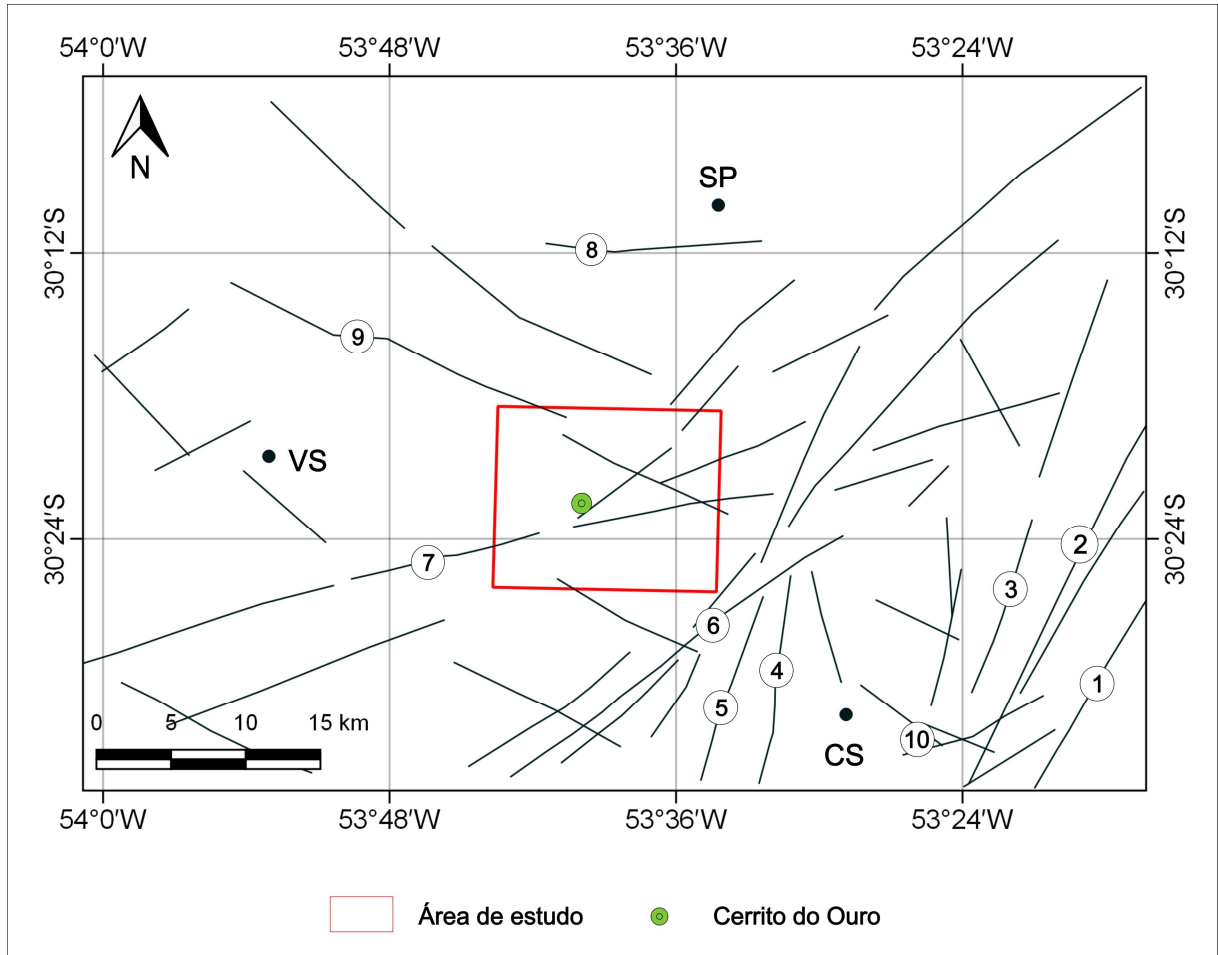
Fonte: modificado de Ribeiro (1980).

Na Quadrícula de Caçapava do Sul, Ribeiro *et al.* (1966) separam os falhamentos conforme dois sistemas principais: Sistema de Falhas Irapuá (SFI), de direção NE, e Sistema de Falhas Cerro da Vigia (SFCV), de direção NW. O SFI controla as ocorrências minerais de Cu e são zonas de falha de grande extensão. São contadas 12 zonas de falhas no total, sendo as da Angélica e Santa Bárbara algumas das mais conhecidas. Cada uma dessas zonas de falha é composta por várias falhas individuais de tensão subsidiárias, a ângulos entre 35° a 45° da falha principal. O SFCV é representado por fraturas tensionais NW, sem grande amplitude de rochas afetadas e muitas vezes são definidas em planos de falha onde as rochas são moderadamente brechadas ao longo de estreitas faixas. Muitas destas fraturas NW são preenchidas por diques de diabásio.

Padrões de falhamentos E-W e alguns falhamentos de direção NW de idade pós-Maricá e pré-vulcânicas são identificados na Quadrícula de Caçapava do Sul. Porém, segundo Ribeiro *et al.* (1966), não se pode afirmar se essas estruturas fazem parte de um contexto regional devido às suas relações serem imperfeitamente conhecidas.

Na porção norte do Terreno São Gabriel, onde se localiza a área de estudo, os lineamentos tectônicos (Figura 12) mais expressivos correspondem a zonas de falha de direção N15-30°E, que delimitam o alto de Caçapava do Sul. Outra direção importante é N60-70°E, marcada pela zona de falha Cerro da Cria, que controla o posicionamento dos granitos tardios Ramada e Cerro da Cria (GASTAL & FERREIRA, 2013). Alinhamentos de direção N40-60°W são discretos. Os lineamentos NW-SE seccionam as direções N40-50°E e aquelas N25-30°E a leste do alto de Caçapava do Sul (RIBEIRO, 1970 *apud* GASTAL & FERREIRA, 2013), sendo interrompidos pelo sistema N15-20°E a oeste.

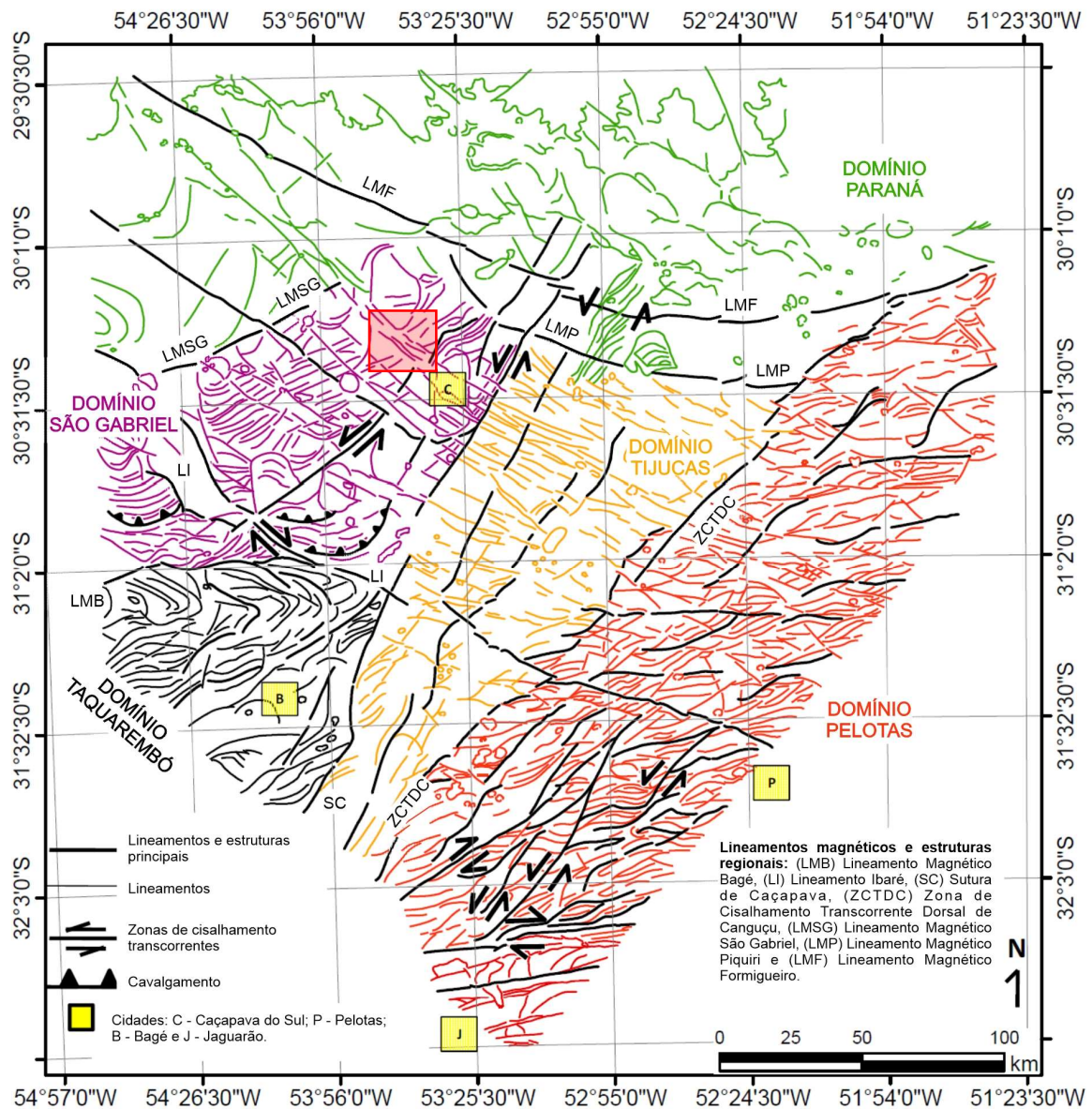
Figura 12 – Zonas de falha na porção norte do Terreno São Gabriel, conforme Ribeiro *et al.* (1966); Ribeiro, (1970 e 1978) *apud* Gastal & Fernandes, (2013): 1 – Angélica (ou Lopes), 2 – Cerro do Caboclo, 3 – Mato Grande, 4 – Segredo, 5 – Santa Bárbara, 6 – Cerro dos Cabritos, 7 – Cerro da Cria, 8 – Rio São Sepé, 9 – Arroio do Engenho, e 10 – Santa Tereza. Cidades: SP – São Sepé, VS – Vila Nova do Sul, CS – Caçapava do Sul.



Fonte: modificado de Gastal & Ferreira (2013).

Segundo Travassos (2014), o ESrg apresenta 5 domínios magnéticos (Figura 13), definidos através da interpretação estrutural dos dados aeromagnéticos obtidos através do Projeto Aerogeofísico do Escudo do Rio Grande do Sul, realizado pela LASA Prospecções S.A. a pedido da CPRM: Domínio Taquarembó, Domínio São Gabriel (onde insere-se a área de estudo), Domínio Tijucas, Domínio Pelotas e Domínio Paraná. Cada domínio é delimitado por lineamentos magnéticos regionais, podendo ou não coincidir com as estruturas regionais rúpteis ou dúcteis que delimitam as unidades geotectônicas do ESrg segundo Hartmann *et al.* (2007) e Philipp *et al.* (2016).

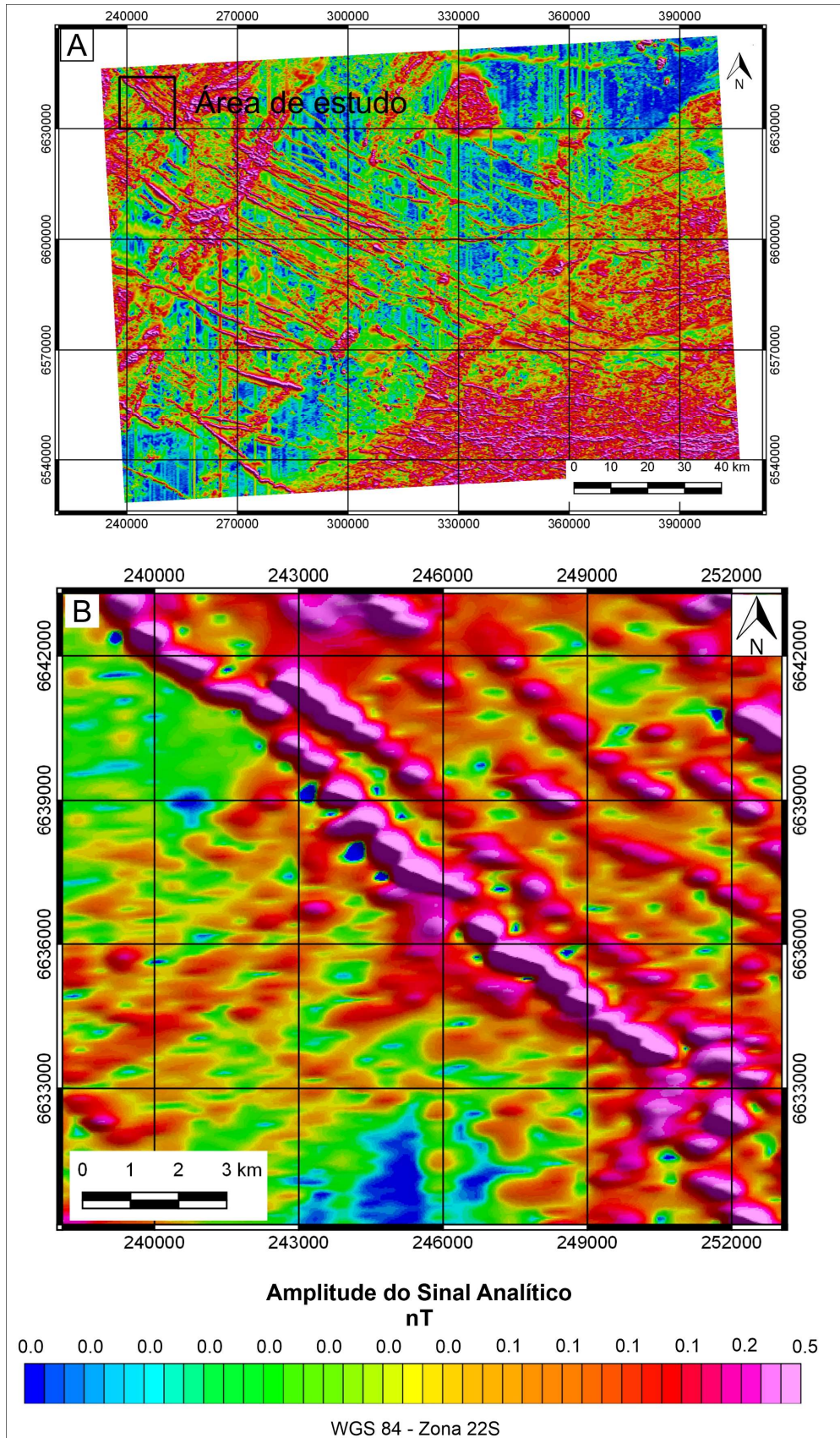
Figura 13 – Domínios magnéticos do Rio Grande do Sul, segundo Travassos (2014). A área de estudo está assinalada pelo polígono vermelho.



Fonte: Travassos (2014).

Neste contexto, o projeto de pesquisa no qual este trabalho está vinculado, intitulado “Investigação de lineamentos magnéticos no Rio Grande do Sul”, visa a caracterização de anomalias magnéticas, do tipo ASA (Figura 14), de direção NW detectadas pelo Projeto Aerogeofísico Escudo do Rio Grande do Sul. Segundo Gregory *et al.* (2019), estas anomalias estariam relacionadas às estruturas de direção NW que cortam as rochas do ESrg, preenchidas por diques associados ao vulcanismo da Formação Serra Geral da Bacia do Paraná e ao Arco de Rio Grande. As anomalias magnéticas ASA investigadas neste presente trabalho foram processadas por Faé *et al.* (2017).

Figura 14 – Em A, anomalias magnéticas de Amplitude do Sinal Analítico (ASA) do projeto de pesquisa "Investigação de lineamentos magnéticos do Rio Grande do Sul". Em B, detalhe da área de estudo do presente TCC.



Fonte: extraído de Gregory & Guadagnin (2017).

4.3 Ocorrências minerais na área de estudo

A área de estudo está localizada nas proximidades da mina desativada Cerrito do Ouro, no município de São Sepé. Conforme trabalhos anteriormente publicados, compreende rochas metamórficas do Complexo Bossoroca (MACHADO *et al.* 1990; WILDNER, 1990; SOARES, 2001; SOARES *et al.* 2004; GUBERT *et al.* 2016), inclusas no Supercomplexo Vacacaí (CHEMALE JR. 2000) e rochas sedimentares do Grupo Maricá (PELOSI & FRAGOSO-CESAR, 2003; PELOSI, 2005) ou Alogrupo Maricá (PAIM *et al.* 2014), que formam a unidade mais antiga da Bacia do Camaquã.

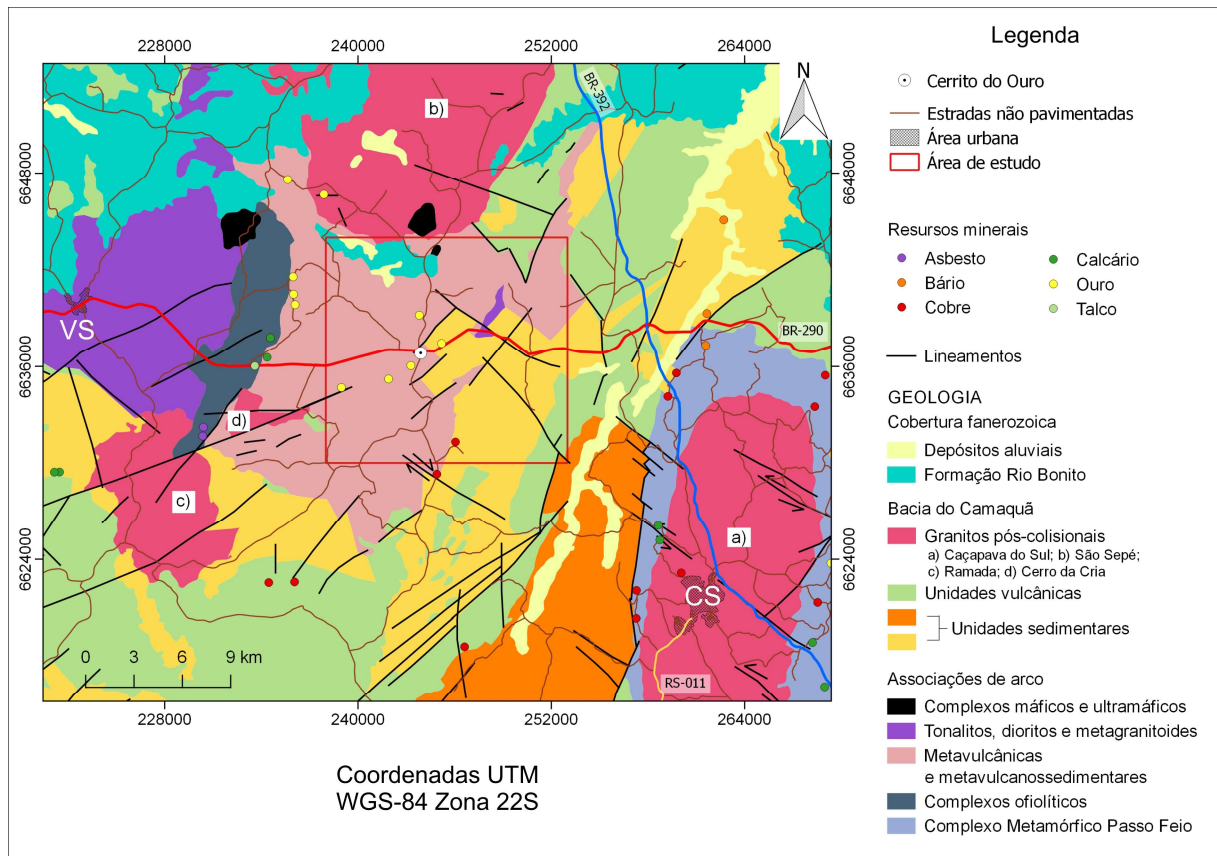
A área de estudo é caracterizada por ocorrências de ouro associadas a veios de quartzo com pirita, calcopirita, galena e teluretos subordinados, encaixados na Sequência Campestre do Complexo Bossoroca, e controlados por um sistema de falhas NNE (REMUS *et al.* 1999; PINTO *et al.* 2013; CAMOZZATO *et al.* 2014). As mineralizações nas proximidades da Mina Cerrito do Ouro podem ter associação com a evolução tectônica da área, conforme Borssatto (2018). Aquele autor conclui, a partir de estudos geofísicos por métodos elétricos, que o encontro entre famílias de fraturas de direções NW, NE e N-S pode ter sido o condutor do fluido hidrotermal que ascendeu e depositou as mineralizações de Au na rocha encaixante. Na área da Mina Cerrito do Ouro há controvérsias no que diz respeito à continuidade de uma importante zona de falha que corta o Granito Cerro da Cria e a Sequência Campestre, conforme foi discutido por Castro (2016). Esta zona de falha é denominada Falha Transcorrente Cerro da Cria (GUBERT *et al.* 2016) e pode ter sido um dos condutores da mineralização na região do Cerrito do Ouro.

Na região conhecida como Passo da Juliana, a noroeste da Mina Cerrito do Ouro, ocorrências de sulfetos estão relacionadas a veios de quartzo de direção N30°W (SILVA *et al.* 2018), “cuja gênese está associada à migração de soluções aquosas ricas em sílica e elementos químicos como Sn, As e Mo, responsáveis pela mineralização de sulfeto, ouro e cassiterita” (SILVA *et al.* 2018). Mattos *et al.* (2004) afirmam que após a intrusão do Granito São Sepé, a SW do granito e encaixantes, houve hidrotermalismo com fluidos oriundos de níveis crustais rasos, aproximadamente na mesma área que foi estudada por Silva *et al.* (2018). Esse processo hidrotermal concentrou-se em zonas filonianas compostas por veios de quartzo e “a remobilização, a concentração e a precipitação de ouro estão diretamente

relacionadas ao sistema hidrotermal convectivo no granito São Sepé com as encaixantes, por estas serem potencialmente auríferas” (MATTOS *et al.* 2004).

Com base nos estudos de Mattos *et al.* (2004), Borssatto (2018), e Silva *et al.* (2018), pode-se considerar a possibilidade de que as mineralizações de Au na área de estudo sejam fortemente controladas por zonas de falhas ou fraturas, tanto de direção NE, como de direção NW. Os fluidos mineralizadores teriam a sua origem relacionada às fases finais da intrusão dos granitos pós-colisionais, lixiviando o ouro da rocha encaixante e aproveitando as fraturas e zonas de falhas pré-existentes para precipitar a mineralização junto aos veios de quartzo.

Figura 15 – Mapa geológico da área de estudo e entorno, porção norte do Terreno São Gabriel, com as principais unidades e recursos minerais que ocorrem na região. CS – Caçapava do Sul, VS – Vila Nova do Sul.

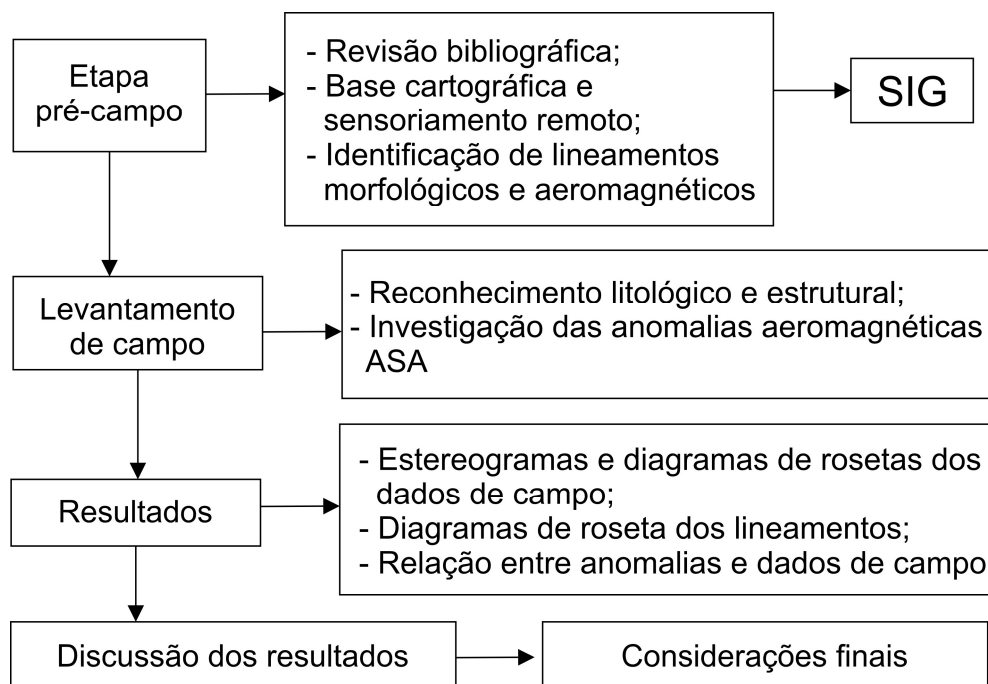


Fonte: modificado de Wildner *et al.* (2007) e base cartográfica vetorial do Rio Grande do Sul (HASENACK, WEBER, 2010).

5. MATERIAIS E MÉTODOS

Sucintamente, este trabalho foi desenvolvido com base nas seguintes etapas, conforme o fluxograma da Figura 16: i) revisão bibliográfica sobre a área de estudo e a temática do trabalho; ii) sensoriamento remoto e geração de um banco de dados em SIG; iii) levantamento de dados de campo; e iv) análise dos dados de campo e sensoriamento remoto.

Figura 16 – Fluxograma



Fonte: autora.

i) Levantamento bibliográfico

Inicialmente, esta etapa consistiu no levantamento da bibliografia já publicada na área de estudo com o propósito de se obter um conhecimento prévio sobre o local. Inclui a revisão de artigos publicados em periódicos, dissertações, entre outros, sobre a geologia regional e local, a tectônica rúptil e as anomalias magnéticas presentes na área de estudo. Também foi feita uma revisão sobre a temática do trabalho, que neste caso, é o estudo de fraturas e anomalias magnéticas investigadas anteriormente.

ii) Sensoriamento remoto e Sistema de Informações Geográficas (SIG)

As técnicas de sensoriamento remoto possibilitam visualizar as características morfológicas da área, tais como drenagens e lineamentos, gerar mapas e planejar os

trabalhos de campo. Nas etapas iniciais deste estudo, foram realizadas análises em imagem de satélite do Google Earth e modelos de terreno sombreado, obtidos a partir de imagens ALOS PALSAR (*Advanced Land Observing Satellite; Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar*; resolução de 12,5 metros). A iluminação solar do relevo sombreado utilizada é de 045°, 090°, 315° e 360°, para melhor destacar, respectivamente, os alinhamentos NW-SE, N-S, NE-SW e E-W na escala 1:250.000 na área regional, e 1:100.000, 1:50.000 e 1:25.000 na área de estudo. Considerando que a área de estudo tem como característica um relevo suave, uma imagem de satélite de maior resolução (12,5 m por pixel) é mais interessante no que se refere à identificação mais precisa de lineamentos.

Foram interpretados também lineamentos magnéticos em escalas de 1:100.000 e 1:50.000. É importante ressaltar que a escala da imagem *raster* das anomalias é 1:50.000, devido ao levantamento aéreo do Projeto Aerogeofísico Escudo do Rio Grande do Sul ter sido originalmente com linhas de voo com 500 metros de espaçamento.

Todos os dados de imagens de satélite do Google Earth e ALOS PALSAR, a imagem *raster* das anomalias magnéticas ASA e demais arquivos em *shapefile* disponibilizados em *sites* específicos de geoprocessamento, foram compilados e integrados em uma plataforma SIG, utilizando o *software* livre QGIS, versão 2.14.19 Essen.

iii) Etapa campo

Os trabalhos de campo foram feitos em 4 dias, nos meses de abril e junho deste ano, contabilizando 28 pontos no total. Consistiu em aplicar técnicas básicas de mapeamento geológico e estrutural, baseando-se na observação e descrição das rochas e estruturas características da área. Utilizou-se materiais de campo, tais como cadernetas, mapas topográficos, geológicos e magnéticos, lupa de mão, marreta, GPS (*Global Position System*) e bússola tipo Brunton, parte deles disponibilizados pela UNIPAMPA.

A região é caracterizada por relevos suaves e é importante ressaltar a pouca disponibilidade de afloramentos (Figura 17). Assim sendo, os trabalhos de campo foram realizados ao longo de perfis aproximadamente perpendiculares às anomalias magnéticas e ao longo das drenagens, devido a melhores exposições de rocha, e, assim, melhor caracterizar a variação da litologia e atitude das estruturas à medida

em que se aproxima do pico do sinal magnético. Cada ponto visitado recebeu uma sigla IM (Ísis Moreira) na denominação e as suas coordenadas foram obtidas com o *datum* WGS-84, Zona 22J, pelo sistema de coordenadas UTM (Universal Transversa de Mercator).

Figura 17 – A principal característica geomorfológica da área de estudo é o relevo quase plano, com coxilhas suaves.



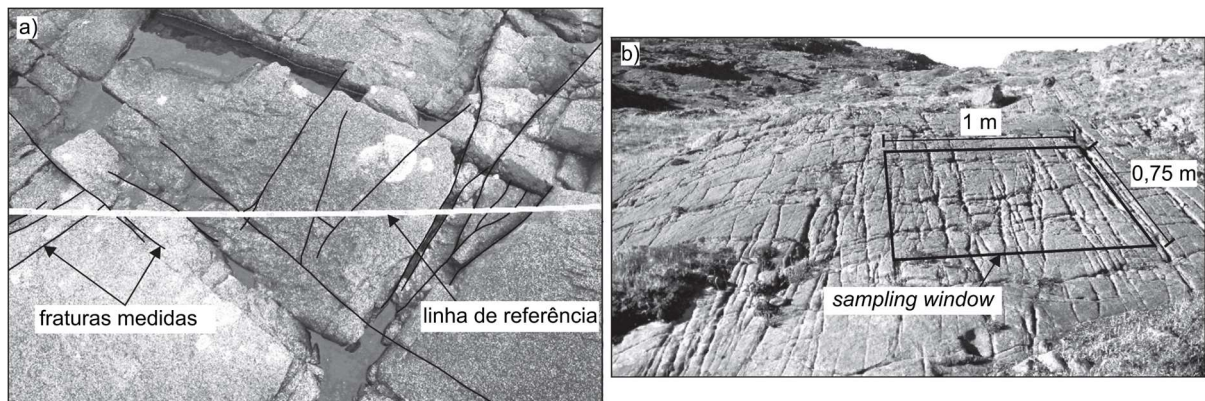
Fonte: autora.

Os afloramentos foram descritos em termos de petrografia e estruturas presentes, e amostras foram retiradas para descrição petrográfica em afloramentos menos alterados. Durante a aquisição das medidas estruturais de fraturas e outras estruturas, optou-se pela notação *dip direction*, no qual a direção é coletada a partir da direção do mergulho (*dip*).

Conforme Davis & Reynolds (1996), as fraturas extensionais e de cisalhamento fazem parte de uma assembleia regional que possui milhões de membros. Desta forma, é necessário identificar configurações dominantes de fraturas através da análise estatística das orientações e propriedades físicas dentro de um dado sistema. Para tal, uma das metodologias mais utilizadas, conforme é exemplificado na Figura 18, é a *scanline survey* ou *sampling window* (e.g. PRIEST & HUDSON, 1976, 1981; GILLESPIE *et al.* 1993; ORTEGA *et al.* 2006; ZEEB *et al.* 2013; WATKINS *et al.* 2015; TORABI *et al.* 2018), que consiste, basicamente, em medir o espaçamento e a densidade do fraturamento ao longo de perfis lineares (unidimensional) ou “janelas” pré-definidas (bidimensional). Neste trabalho, a metodologia da *scanline* foi adaptada definindo-se uma área do afloramento com as melhores exposições de fraturas e deste modo determinou-se a densidade de fraturamento ao longo de um perfil linear, medido com uma trena, ortogonal às fraturas. Conta-se a quantidade de fraturas de

uma determinada orientação ao longo deste perfil e assim, obtém-se o espaçamento médio. Porém, como em cada ponto o comprimento da linha é variável, fez-se necessário, posteriormente, normalizar as medidas para um valor referencial em comum.

Figura 18 – Exemplo de *scanline survey* (a) e *sampling window* (b).



Fonte: modificado de Watkins *et al.* (2015).

iv) Pós campo e análise dos resultados

Com os lineamentos geomorfomógicos catalogados a partir de sensoriamento remoto e da revisão bibliográfica foi possível extrair as direções de azimute utilizando a ferramenta *AzimuthFinder* (QUEIROZ *et al.* 2014), desenvolvida para o ArcGIS. A partir desta ferramenta, obtém-se um arquivo formato *.txt* no qual é possível gerar os diagramas de rosetas em *softwares* gráficos específicos de geologia estrutural.

Com os dados estruturais de campo, foram elaborados estereogramas e diagramas de rosetas de frequência absoluta de cada direção preferencial das famílias de fraturas utilizando o *software* Stereonet 10. A projeção estereográfica de referência é a rede de Schmidt de igual área. As imagens foram editadas e processadas no *software* Inkscape.

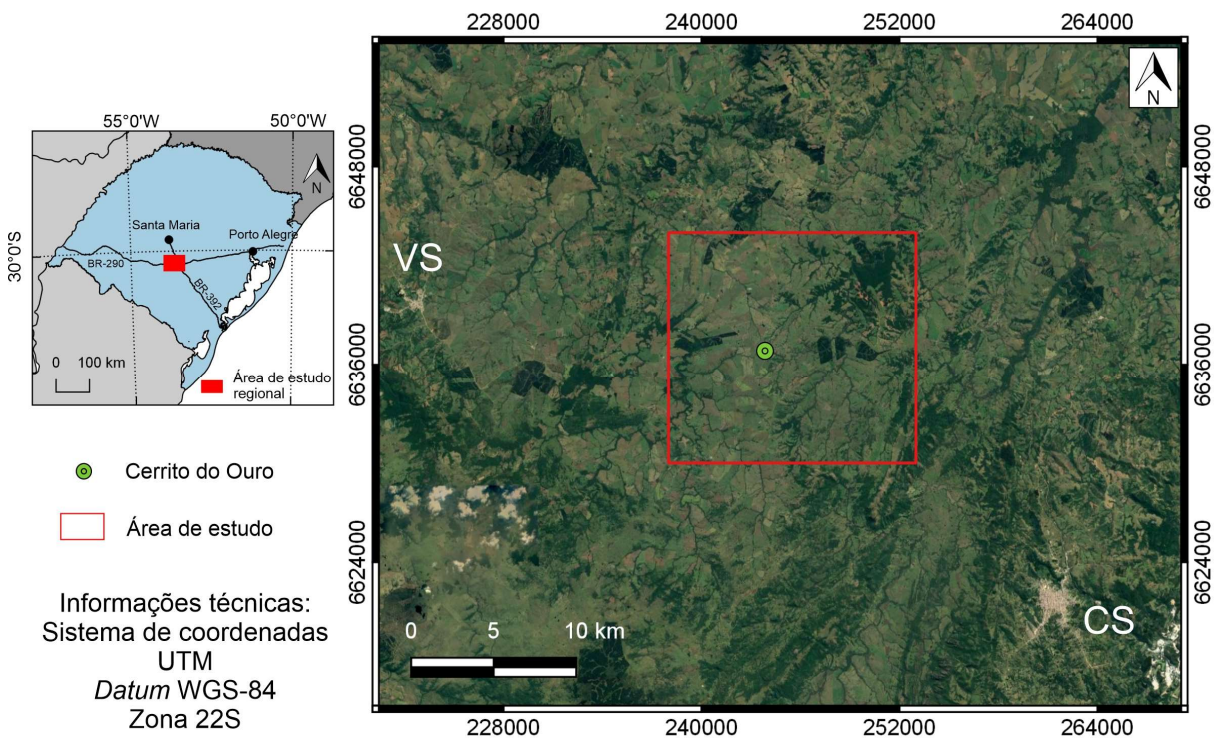
As amostras de campo foram descritas com lupa de mão e lupa de mesa do Laboratório de Mineralogia e Petrografia da Universidade Federal do Pampa – Campus Caçapava do Sul.

6. RESULTADOS

6.1 Sensoriamento remoto

Nas etapas iniciais de pré-campo deste estudo, verificou-se as imagens de satélite do *software* Google Earth Pro, a fim de se planejar os trabalhos de campo e reconhecer acessos e zonas mais prováveis de ocorrências de afloramentos. A partir do complemento para o *software* QGIS *QuickMapServices*, é possível obter as imagens de satélite do Google Earth (Figura 19) já georreferenciadas no *datum* WGS-84.

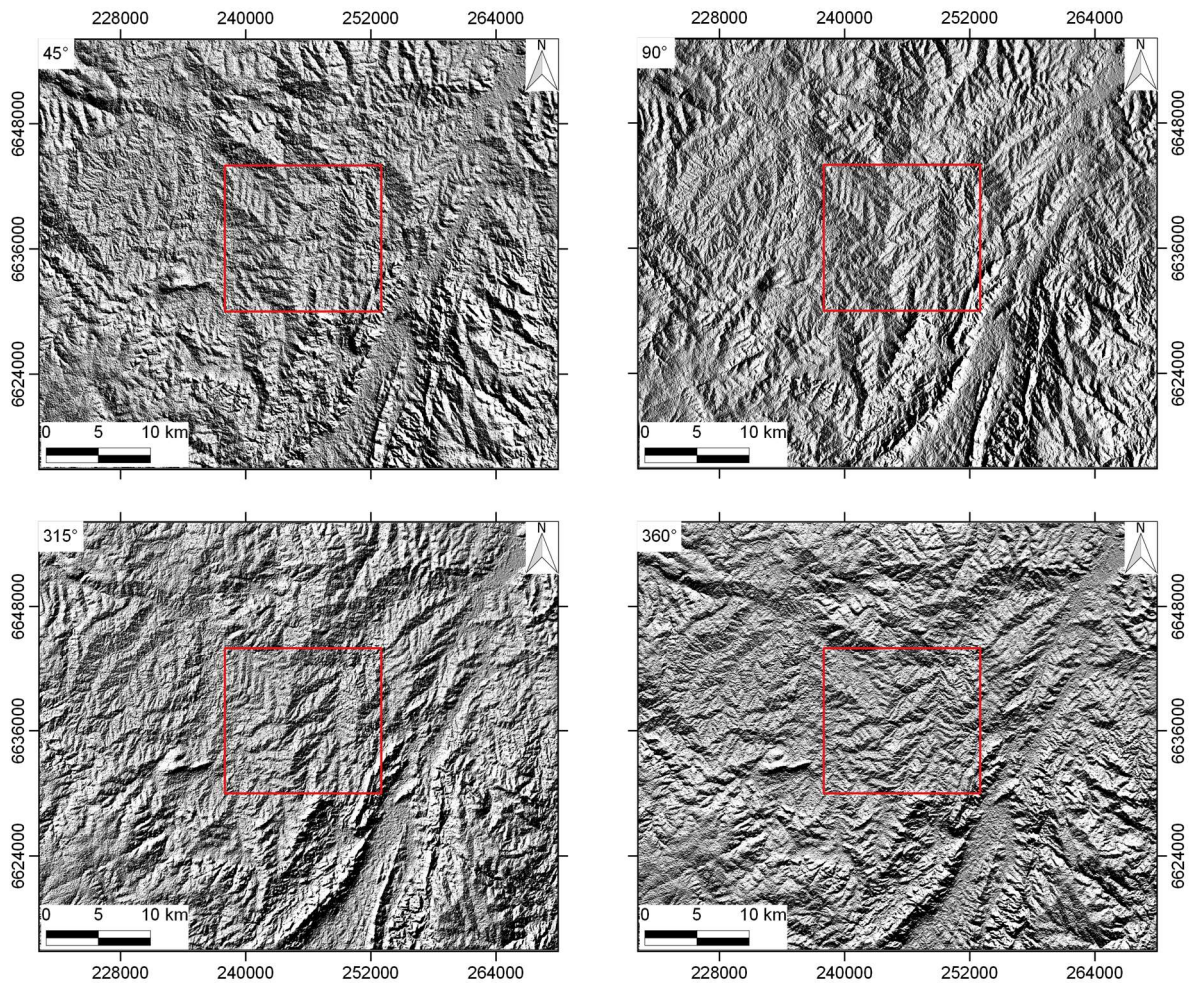
Figura 19 – Mapa de localização e imagem de satélite da área de estudo e entorno, obtidas a partir do complemento *QuickMapServices*, do QGIS. Áreas urbanas: VS – Vila Nova do Sul, CS – Caçapava do Sul.



Fonte: complemento *QuickMapServices* do *software* QGIS.

A partir das imagens ALOS PALSAR, gratuitamente disponibilizadas em <https://www.asf.alaska.edu/>, foi possível obter modelos de relevo sombreado (Figura 20), nas direções de azimute solar 045°, 315°, 360° e 090°, para assim destacar as estruturas NW-SE, NE-SW, E-W e N-S, respectivamente. Assim foi possível reconhecer os lineamentos geomorfológicos nas escalas 1:250.000, 1:100.000, 1:50.000 e 1:25.000.

Figura 20 – Modelos de relevo sombreado da área de estudo e entorno. Exagero vertical em 3x e inclinação solar em 045°, 090°, 315° e 360°. A direção do azimute solar está indicada na porção superior esquerda de cada imagem. A área de estudo está destacada pelo polígono vermelho.



Fonte: Alaska Satellite Facility.

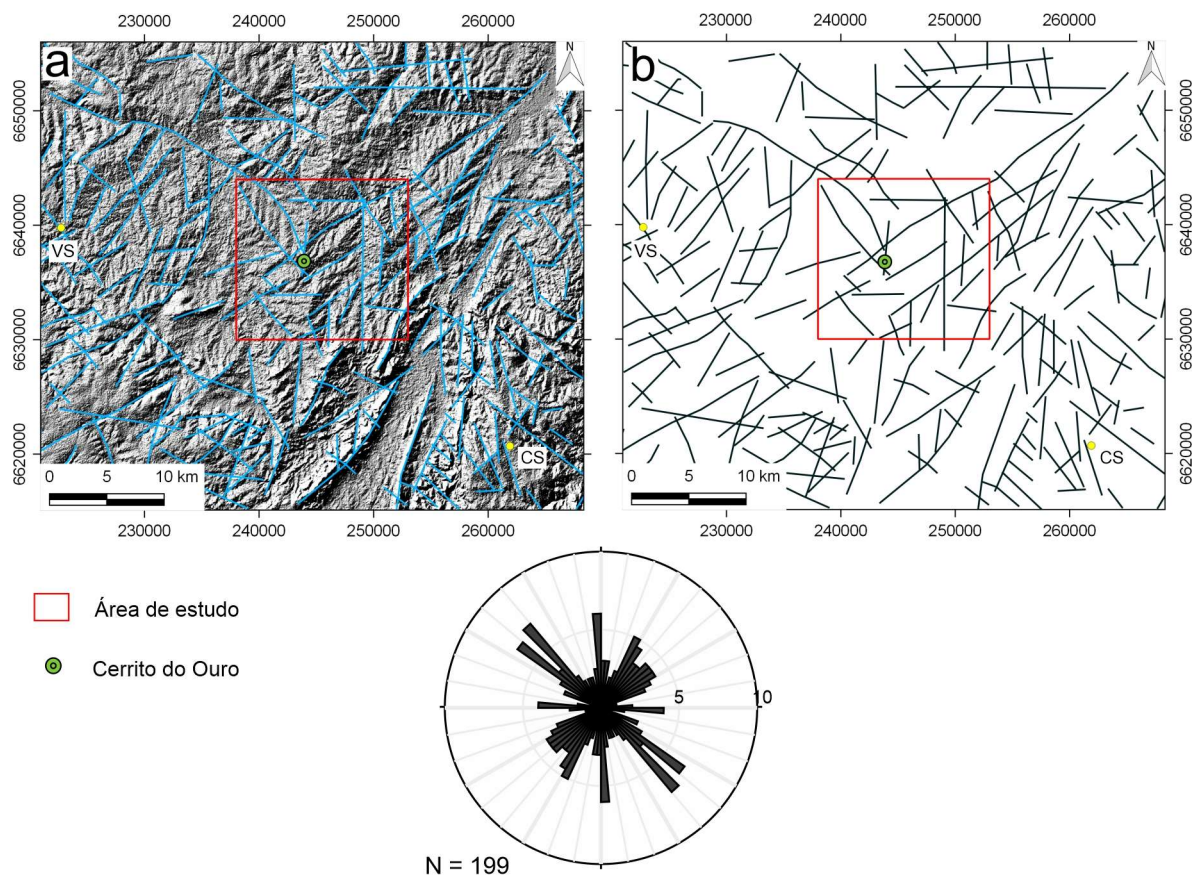
6.2 Lineamentos geomorfológicos

Lineamentos são feições retilíneas e mapeáveis, presumivelmente refletindo algum fenômeno de subsuperfície (O'LEAREY *et al.* 1976). O conceito de lineamento geomorfológico utilizada neste trabalho, conforme Hobbs (1904; 1912) *apud* O'Learey *et al.* (1976), é qualquer feição na paisagem derivada de cristas de morros alinhadas, linhas de drenagem e linhas de formações rochosas, incluindo vales e linhas visíveis de fraturas ou zonas de falha.

6.2.1 Lineamentos regionais

Primeiramente, fez-se uma análise em uma escala regional (1:250.000) na área de estudo e entorno (Figura 21). Nesta escala foram identificadas ocorrências de lineamentos com um *trend* predominantemente NE-SW, e em seguida, os de *trend* NW-SE. Foi visualizado também lineamentos E-W e N-S, porém em menor quantidade com relação aos NE-SW e NW-SE.

Figura 21 – As imagens *a* e *b* apresentam os lineamentos geomorfológicos em escala 1:250.000. Em *a*, a imagem apresenta o modelo sombreado com azimuth solar 315°. Diagrama de roseta apresenta intervalos de 5° e frequência absoluta máxima de 10%. Cidades próximas: VS – Vila Nova do Sul, CS – Caçapava do Sul.



Fonte: autora, a partir de imagens Alos Palsar e diagrama de roseta gerado pelo *software* Stereonet 10.

Os lineamentos NE-SW apresentam uma maior variação de direções, desde N030°E a N060°E. Há um grande lineamento N045°E que atravessa a área de estudo (retângulo vermelho). Há também um outro lineamento N060°E que pode ser a falha do Cerro da Cria (GASTAL & FERREIRA, 2013; Figura 12), mas não é tão ressaltado. Há outros lineamentos NNE que delimitam o Granito Caçapava e não abrange a área de estudo e que podem ser as falhas do Segredo, de Santa Bárbara e do Cerro dos

Cabritos (GASTAL & FERREIRA, 2013; Figura 12), de direção N030-045°E. Os lineamentos NE-SW são maiores e contínuos.

Os lineamentos NW-SE têm predomínio de duas direções: N030°W e N045°W. Há um grande lineamento N045°W que atravessa a área de estudo (retângulo vermelho) e intersecta o lineamento N045°E e que pode ser a Falha do Arroio do Engenho (GASTAL & FERREIRA, 2013; Figura 12). Os lineamentos NW também são contínuos, porém são menos representativos.

Os lineamentos N-S variam de N010°W a N010°E e tendem a ser mais extensos que os de E-W, que são mais compartimentalizados. Há dois lineamentos N-S que atravessam a área de estudo (retângulo vermelho).

Os lineamentos E-W são os menos representativos na escala 1:250.000 e os que foram identificados são fragmentados. Há 2 lineamentos E-W na área de estudo (retângulo vermelho).

Nesta escala, os lineamentos NE e NW tendem a ser mais prolongados, sendo os de NE mais importantes e os E-W, menos representativos. Existe uma intersecção dos lineamentos NE-SW, NW-SE e N-S nas proximidades da localidade do Cerrito do Ouro.

6.2.2 Lineamentos locais

Na área de estudo, analisou-se os lineamentos em escalas de 1:100.000, 1:50.000 e 1:25.000. Pôde-se observar a predominância de lineamentos NE-SW em relação aos NW-SE e uma maior representatividade de lineamentos E-W e N-S à medida em que a escala vai ficando mais de detalhe.

6.2.2.1 Escala 1:100.000

Na escala de 1:100.000 (Figura 22) foi possível observar uma maior representatividade de duas direções NE-SW: N030°E e, em seguida, N045°E. As direções NE-SW e NW-SE são as mais representativas na área de estudo.

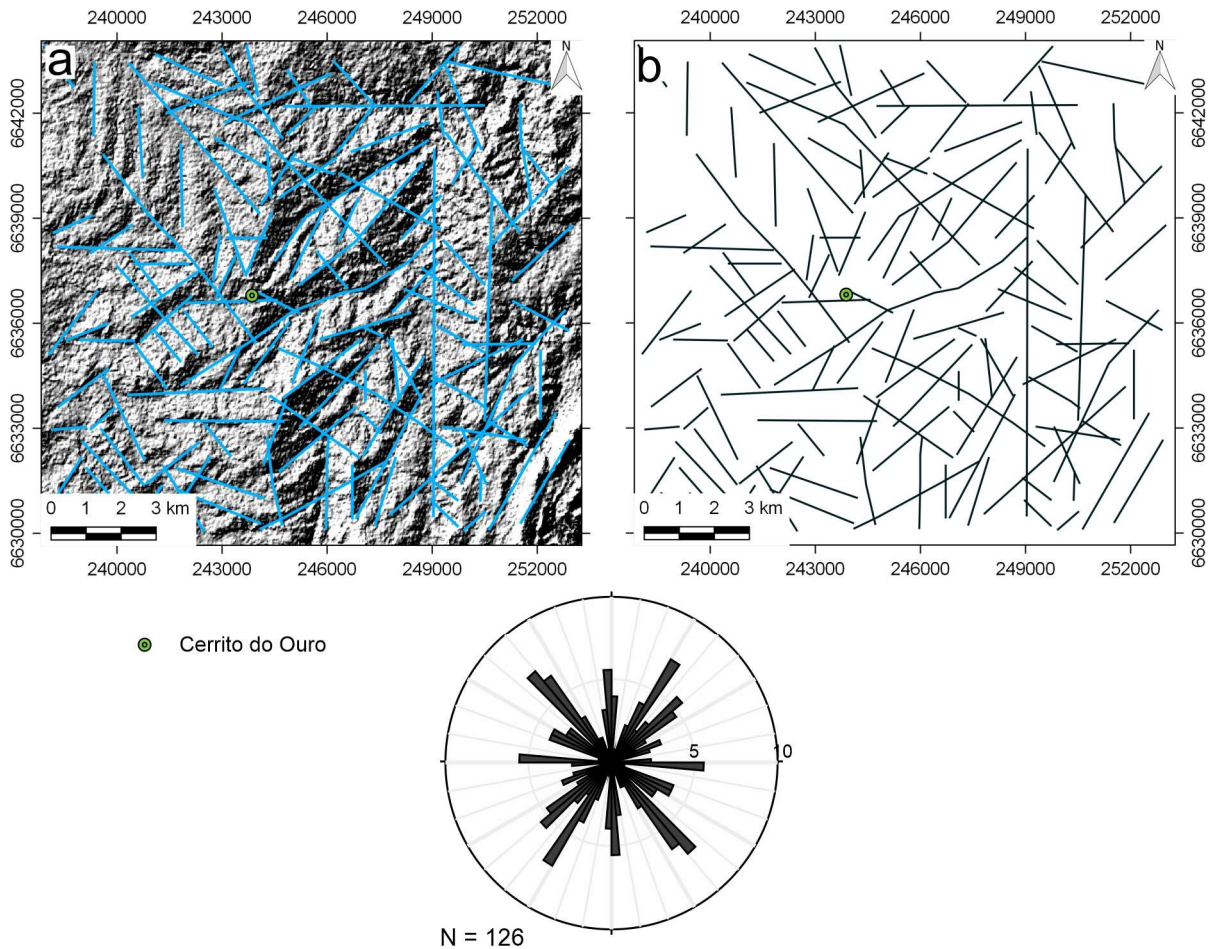
Quanto à direção NW-SE, pode-se observar lineamentos N040°W e N060°W como os mais predominantes. Observa-se também um maior prolongamento das direções NW. Os lineamentos NW são mais prolongados do que os NE, nesta escala.

Lineamentos N-S e E-W apresentam frequências semelhantes nesta escala e é possível observar um longo lineamento de direção N-S atravessando a área de

estudo numa porção mais a leste. Outro lineamento importante, de direção E-W, corta a área de estudo na porção norte.

Portanto, as direções NE-SW e NW-SE são as mais representativas na área de estudo. Lineamentos E-W e N-S apresentam frequências semelhantes.

Figura 22 – As imagens *a* e *b* apresentam os lineamentos geomorfológicos em escala 1:100.000. Em *a*, a imagem apresenta o modelo sombreado com azimuth solar 315°. Diagrama de roseta apresenta intervalos de 5° e frequência absoluta máxima de 10%.



Fonte: autora, a partir de imagens Alos Palsar e diagrama de roseta gerado pelo *software* Stereonet 10.

6.2.2.2 Escala 1:50.000

Nesta escala, os lineamentos que anteriormente eram mais contínuos já começam a ficar mais segmentados.

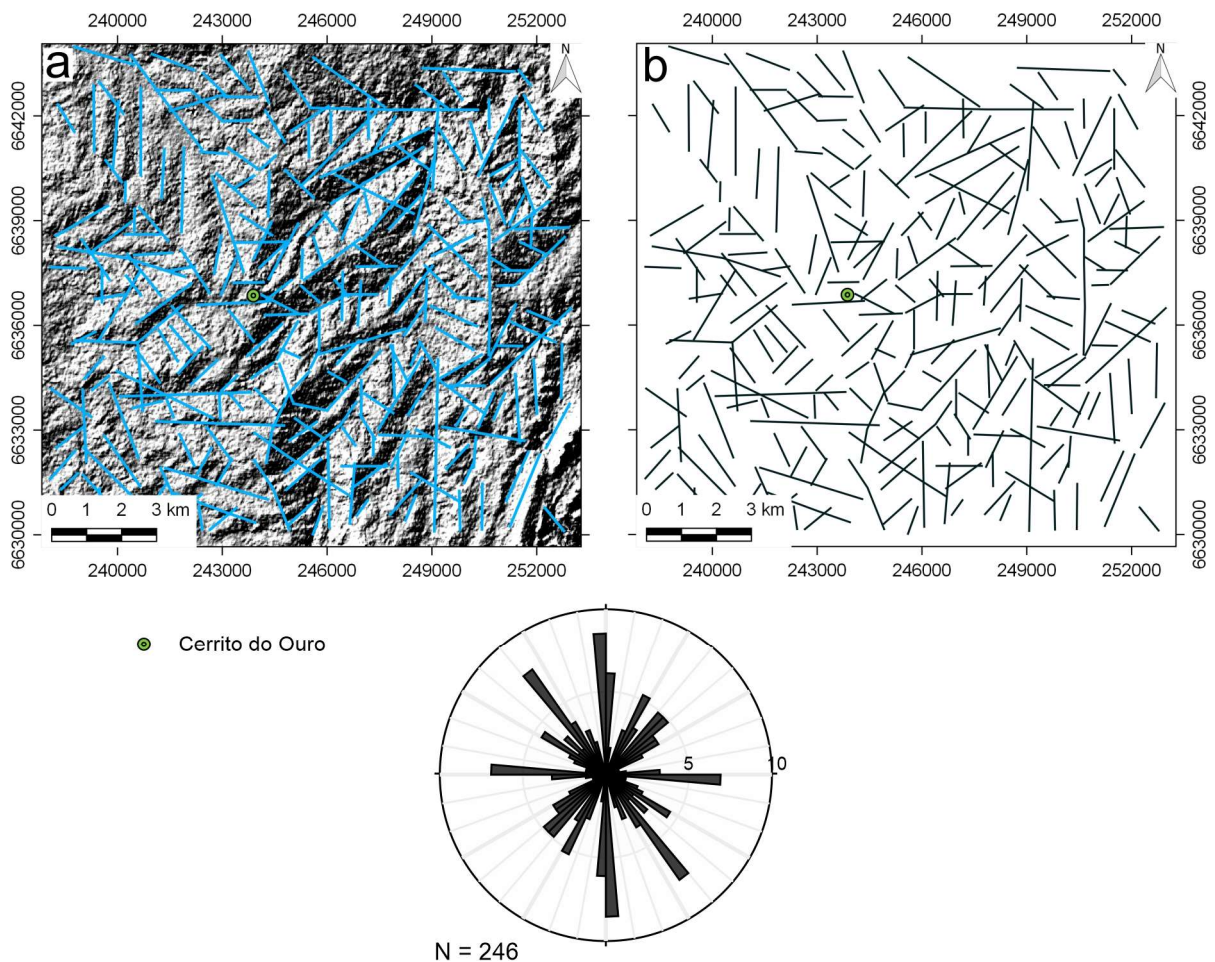
Em 1:50.000, Figura 23, é possível observar que os lineamentos NE-SW variam suas direções num espectro N030°E a N060°E e são mais fragmentados. Com relação aos lineamentos NW-SE, existem duas direções importantes: uma direção N040°W

predominante e, em seguida, uma direção N060°W. Os lineamentos NW-SE também encontram-se mais descontínuos nesta escala.

Observa-se uma maior frequência de lineamentos com *trend* N-S em relação aos de *trend* E-W nesta escala. Também percebe-se, aparentemente, uma importância maior desses lineamentos em relação à escala 1:100.000.

Os lineamentos NE-SW e NW-SE predominam com relação às outras direções, nesta escala, e são mais fragmentados do que nas escalas anteriores. Os lineamentos N-S são os mais prolongados e os E-W são os menos frequentes.

Figura 23 – As imagens *a* e *b* apresentam os lineamentos geomorfológicos em escala 1:50.000. Em *a*, a imagem apresenta o modelo sombreado com azimute solar 315°. Diagrama de roseta apresenta intervalos de 5° e frequência absoluta máxima de 10%.



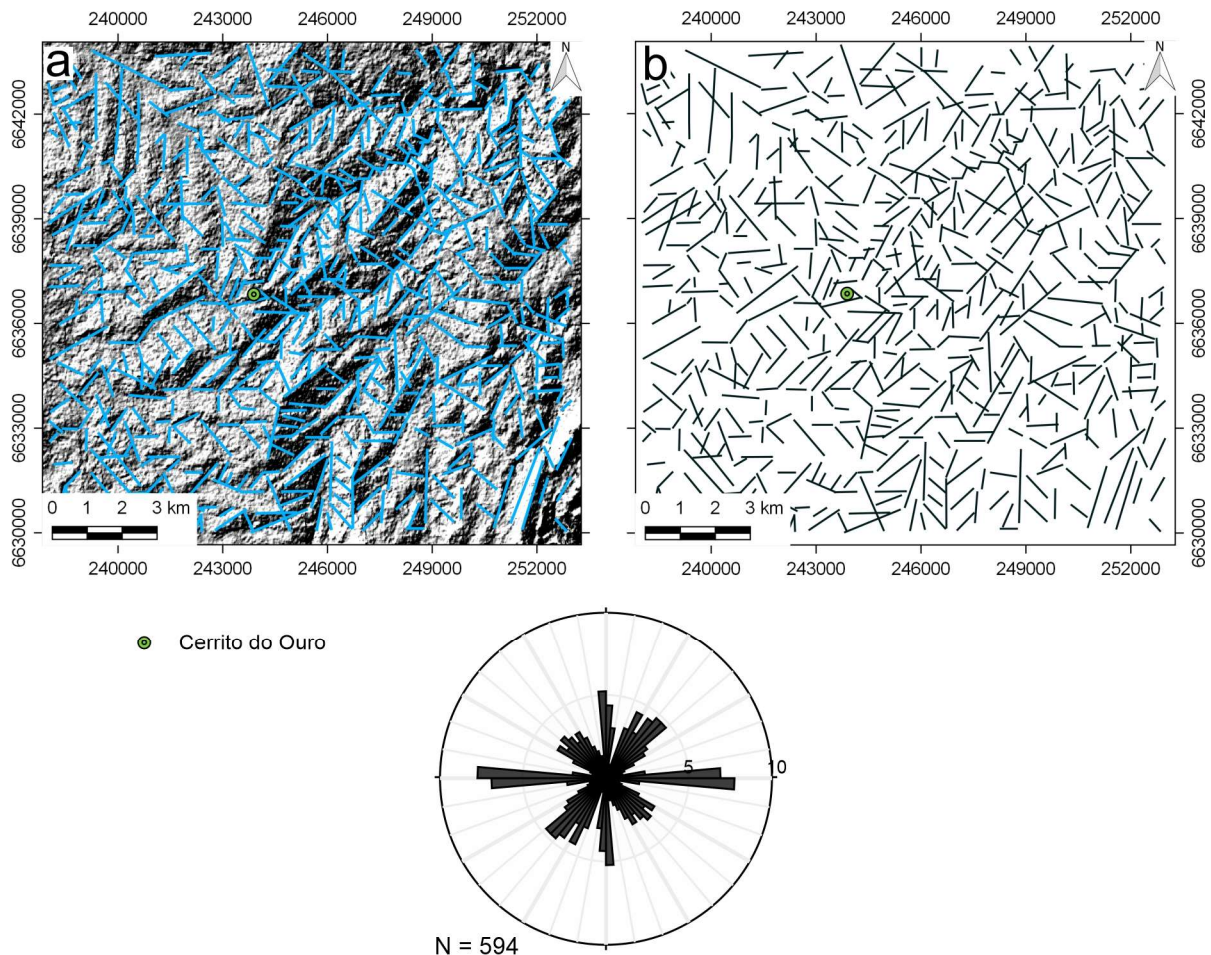
Fonte: autora, a partir de imagens Alos Palsar e diagrama de roseta gerado pelo *software* Stereonet 10.

6.2.2.3 Escala 1:25.000

Na escala 1:25.000 (Figura 24) os lineamentos NE-SW são os mais frequentes e concentram-se na direção N030-060°E, enquanto que os NW-SE concentram-se na direção N040-050°W.

Nesta escala de semi-detulhe, os lineamentos são bastante descontínuos e há uma maior frequência de lineamentos E-W e N-S, com relação às escalas 1:50.000, 1:100.000 e 1:250.000.

Figura 24 – As imagens *a* e *b* apresentam os lineamentos geomorfológicos em escala 1:50.000. Em *a*, a imagem apresenta o modelo sombreado com azimute solar 315°. Diagrama de roseta apresenta intervalos de 5° e frequência absoluta máxima de 10%.



Fonte: autora, a partir de imagens Alos Palsar e diagrama de roseta gerado pelo *software* Stereonet 10.

Após finalizada a análise por sensoriamento remoto, nota-se que quanto maior o detalhamento da escala, mais importantes tornam-se os lineamentos N-S e E-W. Não há mudança significativa na frequência dos lineamentos NE-SW e NW-SE, e a

sua frequência independe da escala. Em todas as escalas observadas, os lineamentos que predominam são os NE-SW, seguindo-se dos NW-SE. Os lineamentos N-S e E-W são os menos frequentes.

6.3 Lineamentos magnéticos

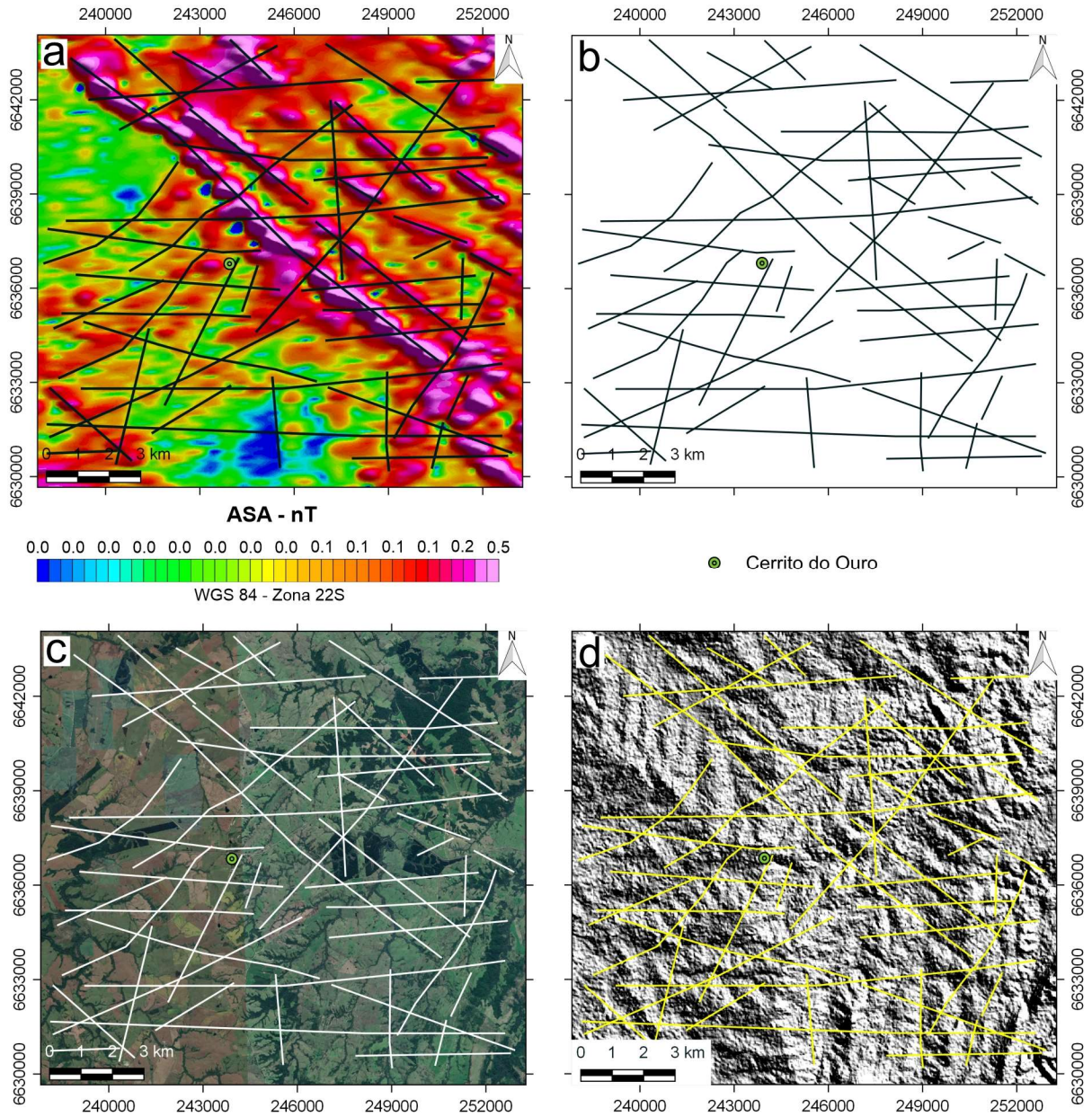
Uma anomalia magnética resulta do contraste na magnetização quando rochas com diferentes propriedades magnéticas são adjacentes umas às outras, como, por exemplo, quando um dique basáltico fortemente magnético invade uma rocha hospedeira menos magnética (LOWRIE *et al.* 2007).

Foram interpretados lineamentos magnéticos em escalas de 1:100.000 (Figura 24) e 1:50.000 (Figura 25), não sendo possível realizar em maior detalhe devido à escala de aquisição dos dados. Considerou-se lineamento magnético qualquer feição com a morfologia retilínea.

As anomalias magnéticas ASA estudadas neste presente trabalho são feições lineares de direção predominantemente NW. Pode-se observar nas anomalias magnéticas uma predominância de direção NW. Porém, pode ser visto também um deslocamento E-W afetando as anomalias NW. Há também, menos significativamente, interferências de direção NE-SW e N-S. Na escala 1:50.000 é possível visualizar uma maior predominância de deslocamentos E-W nas anomalias NW.

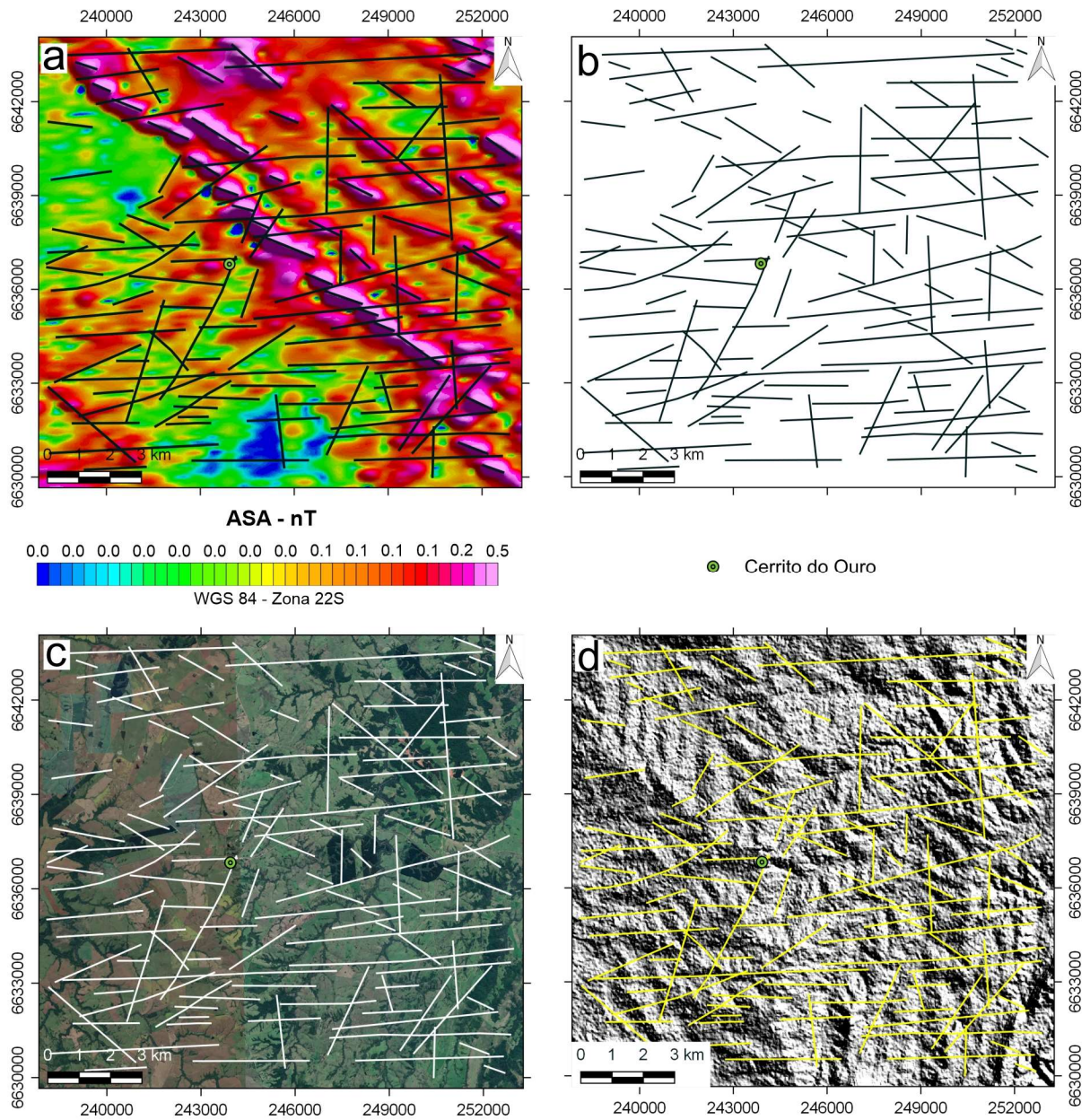
Ao sobrepor os lineamentos magnéticos e a imagem de satélite (Figuras 25 e 26), é possível notar que existe uma relação entre a morfologia do terreno e os lineamentos magnéticos. Percebe-se que morfologias retilíneas (vales e cristas) e lineamentos magnéticos estão coincidentes em várias localidades. Então, pode-se considerar que as anomalias estão refletindo um comportamento que pode ser visível através das imagens de satélite e relevo sombreado. Isto é mais evidente quando consideramos o lineamento magnético NW principal.

Figura 25 – Em *a*, imagem das anomalias magnéticas ASA. Em *b*, lineamentos magnéticos interpretados em escala 1:100.000. Em *c*, sobreposição dos lineamentos magnéticos interpretados com a imagem de satélite. Em *d*, sobreposição dos lineamentos magnéticos interpretados com o modelo de relevo sombreado com azimute solar de 045°.



Fonte: (a) Gregory & Guadagnin (2017), (b) autora, (c) Google Earth e (d) Alos Palsar.

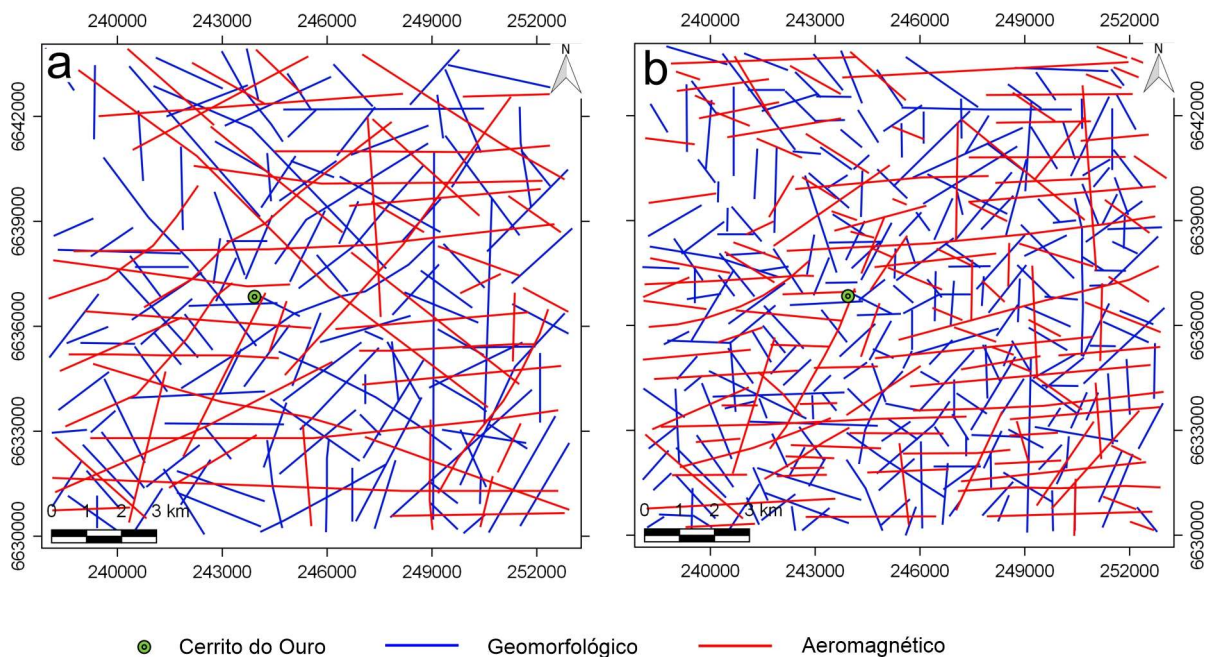
Figura 26 – Em *a*, imagem das anomalias magnéticas ASA. Em *b*, lineamentos magnéticos interpretados em escala 1:50.000. Em *c*, sobreposição dos lineamentos magnéticos interpretados com a imagem de satélite. Em *d*, sobreposição dos lineamentos magnéticos interpretados com o modelo de relevo sombreado com azimute solar de 045°.



Fonte: (a) Gregory & Guadagnin (2017), (b) autora, (c) Google Earth e (d) Alos Palsar.

A relação entre as anomalias e a morfologia torna-se mais perceptível ao sobrepor a imagem dos lineamentos geomorfológicos e magnéticos que foram traçados, conforme a Figura 27. Existe uma correlação entre os lineamentos geomorfológicos e magnéticos, tanto na escala 1:100.000 quanto para a escala 1:50.000. Isto é muito claro ao considerar-se a direção NW e os deslocamentos E-W das anomalias.

Figura 27 – Sobreposição dos lineamentos magnéticos e geomorfológicos. Em a, escala 1:100.000. Em b, escala 1:50.000.

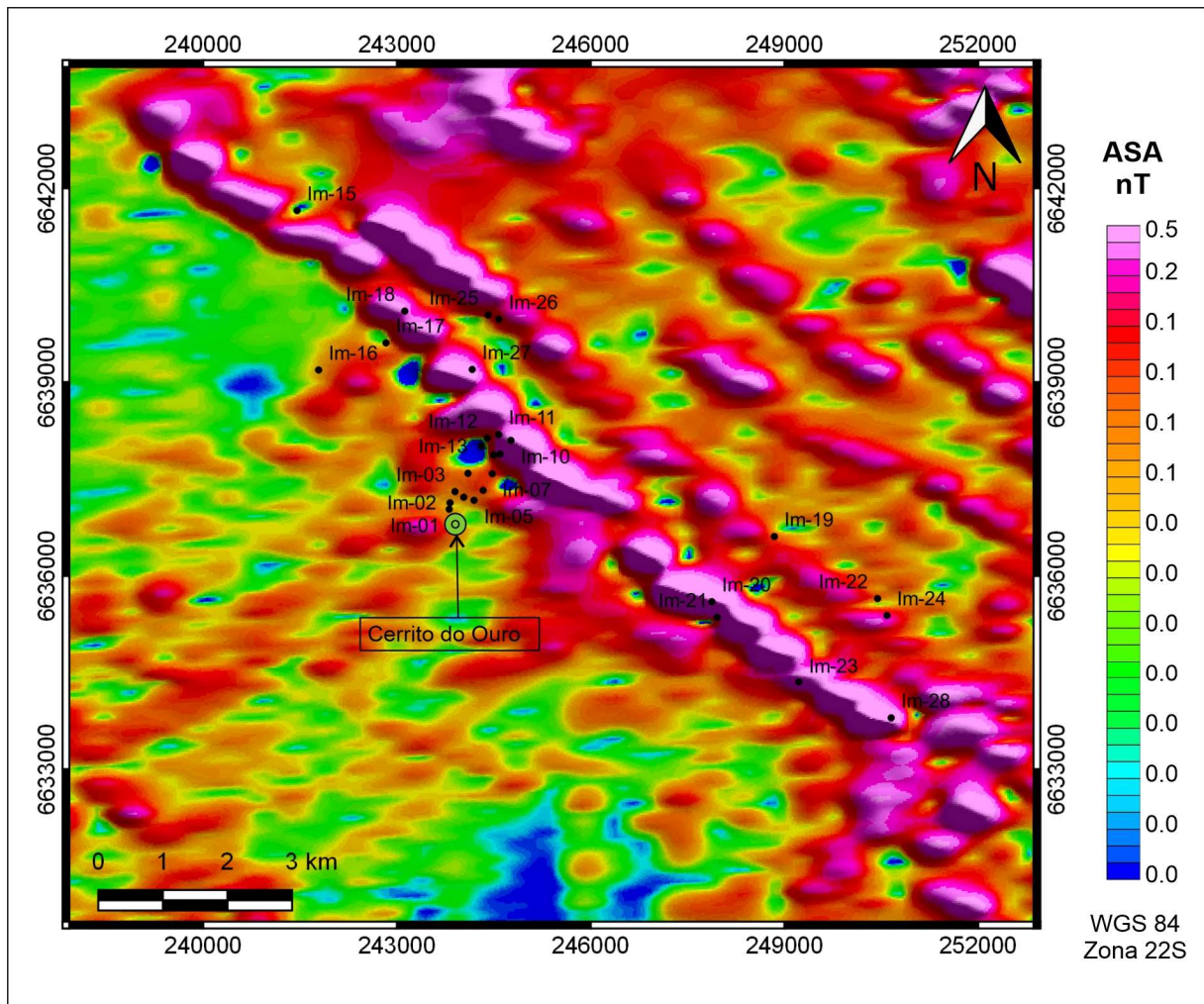


Fonte: autora.

6.4 Dados litológicos e estruturais de campo

Os trabalhos de campo realizados tiveram por objetivo caracterizar as estruturas que ocorrem nas proximidades da anomalia magnética principal e arredores. Portanto, os pontos têm um *trend* NW (Figura 28). A área de estudo caracteriza-se por relevos suaves e, assim sendo, a disponibilidade de afloramentos é escassa. Desta forma, os trabalhos de campo foram realizados preferencialmente ao longo das margens das drenagens e, no total, foram visitados 28 pontos, nos quais 19 apresentam dados estruturais relevantes. A seguir serão descritos os dados geológico-estruturais obtidos em campo.

Figura 28 – Mapa de pontos e anomalias magnéticas ASA.



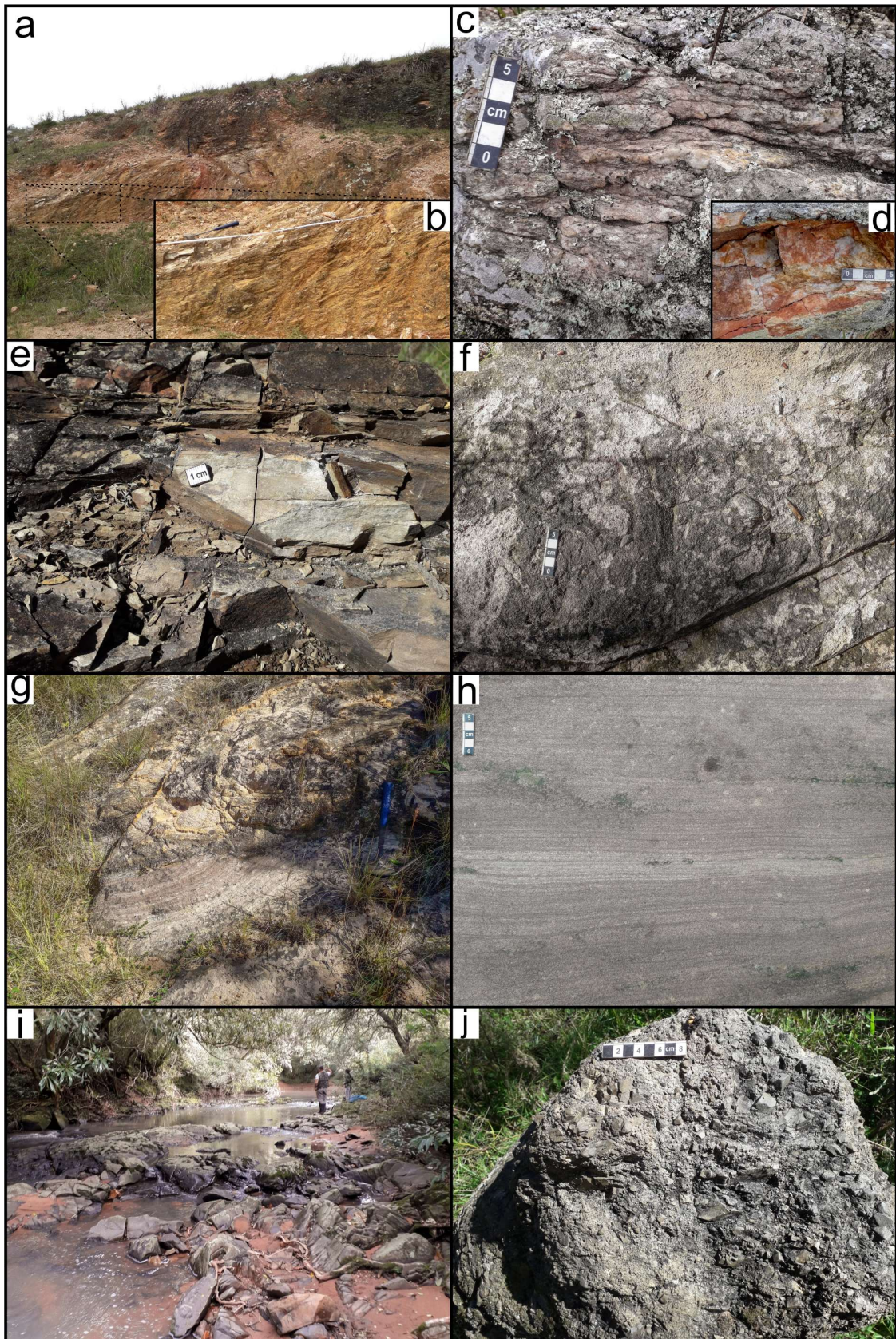
Fonte: modificado de Gregory & Guadagnin (2017).

6.4.1 Geologia local

Em campo, a geologia local caracteriza-se por rochas metamórficas (metavulcânica, metaultramáfica e metachert) pertencentes ao Supercomplexo Vacacaí (CHEMALE Jr. 2000) e arenitos pertencentes ao Grupo Maricá (PELOSI, 2005), além de um dique basáltico encaixado em um arenito. As rochas foram descritas em escalas de afloramento e de amostra de mão e, em vários pontos, encontravam-se bastante alteradas, tornando-se difícil a retirada de amostras.

Apesar do foco deste trabalho não ser a caracterização litológica da área, é importante trazer uma breve descrição de cada unidade encontrada (Figura 29).

Figura 29 – Exemplos dos litotipos encontrados em campo. Em *a* e *b* (detalhe) metaultramáfica, em *c* e *d* (detalhe) metachert. Em *e*, metavulcânica. Em *f*, arenito conglomerático. Em *g*, contato entre arenito grosso (estrutura maciça) e fino (estrutura cruzada). Em *h*, estratificação plano-paralela do arenito. Em *i*, aspecto de campo do dique máfico. Em *j*, rocha de falha/brecha sedimentar com clastos pelíticos.



Fonte: autora.

6.4.1.1 Metaultramáfica

Apenas em um ponto apareceu este tipo de rocha (IM-25). Ocorre em uma encosta e em lajeado (Figura 29a). A rocha estava bastante alterada. Sendo assim, não foram retiradas amostras. Em campo, esta rocha apresentou-se com coloração laranja-amarelado, nas porções mais alteradas, e coloração rosada, em porções menos alteradas. Na zona de falha, apresenta uma alteração avermelhada. Rocha com toque sedoso bastante evidente e com foliação bem definida. Dobras de crenulação bem marcadas com eixo paralelo às fraturas NW e lineação incipiente presente.

6.4.1.2 Metachert

Este litotipo ocorre somente no ponto IM-26 e ocorre em lajeados, blocos e matacões. A estrutura interna do metachert apresenta uma foliação (Figuras 29c e d). Possui muitos óxidos, uma textura aparentemente granoblástica e cavidades que parecem de dissolução de algum mineral. Esta rocha está logo acima, topograficamente, da metaultramáfica.

6.4.1.3 Metavulcânicas

É um dos litotipos que mais foram visualizados, no que diz respeito às metamórficas. Em alguns pontos (IM-04 e IM-05) ocorrem em forma de blocos e matacões. Este litotipo caracteriza-se por foliação bem marcada, textura muito fina e lineação incipiente. Algumas rochas metavulcânicas apresentam minerais opacos, podendo ser óxidos.

Nos pontos IM-15, IM-16 e IM-17 os afloramentos de rocha metavulcânica apresentam-se em forma de lajeados, nas margens das drenagens. No ponto IM-18, há um lajeado de filito. No ponto IM-27, a rocha metavulcânica, alterada e fraturada, apresenta-se em um afloramento tipo corte de estrada e é visível uma estrutura em flor, formada pelo arranjo das fraturas em uma zona de falha.

6.4.1.4 Sedimentares

As rochas sedimentares também são bastante frequentes e variam desde pelitos a arenitos conglomeráticos. Visualizou-se o arenito Maricá “cozido”.

Nos pontos IM-03 e IM-07, ocorrem lajeados de arenitos conglomeráticos de coloração esbranquiçada nas porções mais grossas e rosada em porções de areia média a fina. O arenito é mal selecionado, com clastos arredondados de granito, riolito e outros de difícil identificação. Os termos finos e grossos apresentam-se intercalados e os estratos apresentam-se basculados.

No ponto IM-19 há ocorrência de lajeados de arenito predominantemente fino a médio, de coloração rosa e amarelada. Em porções mais finas, há uma estratificação plano-paralela e, em porções um pouco mais grossas, ocorrem estratificações cruzadas. No ponto IM-21, os lajeados e matacões de arenito apresentam finas estratificações e o acamamento sedimentar (S_0) é visto com basculamento nos lajeados.

No ponto IM-22, ocorrem lajeados e matacões de uma intercalação mais evidente entre arenito com estruturas plano-paralelas e pelitos. Nos pontos IM-24 e IM-28, os arenitos são de granulometria grossa, estrutura maciça e ocorrem em lajeados e matacões no campo.

Nos pontos IM-10, IM-11 e IM-12, ocorrem lajeados do arenito Maricá “cozido”, caracterizado por rochas com coloração acinzentada e resistentes à marretadas. O acamamento sedimentar (S_0) está praticamente horizontalizado no IM-10 (Figura 30).

Figura 30 – Aspecto de campo do arenito “cozido”, com S_0 quase horizontal, no ponto IM-10.



Fonte: autora.

6.4.1.5 Rochas ígneas

A área de estudo não caracteriza-se por ocorrências de rochas ígneas. Porém, há ocorrências de rochas vulcânicas em forma de blocos rolados (IM-13) e lajeado de um dique basáltico (IM-20). Em amostra de mão, nota-se a ocorrência de uma textura porfírica, com uma matriz muito fina de cor cinza escuro, apresentando fenocristais prismáticos de tamanho não maior do que 1 mm e orientados aleatoriamente. Os fenocristais são de plagioclásio, predominantemente, e de piroxênio. A amostra referente ao dique reagiu com ácido clorídrico em uma fratura muito fina.

6.4.1.6 Rochas de falha e veios de quartzo

Nos pontos IM-06, IM-11 e também no ponto IM-19, ocorrem zonas cataclásticas marcadas por rochas de coloração escura e brechas sedimentares com fragmentos pelíticos, em forma de lajeados e blocos rolados. Nos pontos IM-08 e IM-09, visualizou-se blocos e matacões de quartzo leitoso orientados aparentemente a NE e com aproximadamente 10 metros de espessura.

6.4.2 Geologia estrutural

Regionalmente, a área de estudo caracteriza-se por ocorrências de acamamento sedimentar mergulhando ora para SE, ora para NW, o que poderia caracterizar dobras com eixo para NE. A foliação metamórfica mergulha preferencialmente para NW, rotacionando para N. O faturamento preferencial torna-se majoritariamente NW em porções onde a anomalia magnética ASA é identificada e, fora da mesma, este fraturamento perde importância. É possível verificar que as fraturas E-W estão cortando as outras em porções onde é verificado um deslocamento E-W na anomalia magnética NW. A seguir será feita uma descrição da geologia estrutural nos pontos com dados importantes.

Nos pontos IM-03 e IM-07 ocorrem rochas sedimentares com acamamento sedimentar mergulhando para SE. Ocorrem alguns lajeados métricos de arenito conglomerático pouco fraturado. Aplicou-se uma medida de densidade de fraturas no ponto IM-03, conforme a tabela 1.

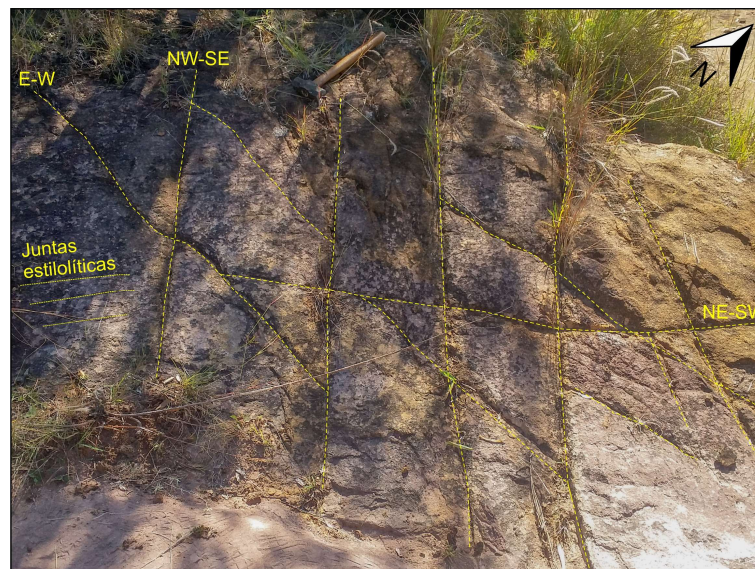
Tabela 1 – Densidade de fraturas no ponto IM-03.

Direção de fraturas	Quantidade por m ²
018°	7
035°	8
080°	3
315°	4
Total	22 fraturas por m ²

Fonte: autora.

O ponto IM-03 está localizado na entrada da mina Cerrito do Ouro, porém está fora da anomalia magnética. As famílias de fraturas mais frequentes, por ordem de densidade, são as NE-SW, NW-SE e E-W. As fraturas E-W são as mais fracas, enquanto que as fraturas NW-SE são mais significantes, apesar de serem menos marcadas que as NE, de maior frequência. No ponto IM-07, localizado na borda SW da anomalia magnética principal, as fraturas com direção NW são as mais predominantes e regulares (Figura 31).

Figura 31 – Lajeado de arenito no ponto IM-07. As fraturas principais são de direção NW. Este ponto localiza-se na borda SW da anomalia magnética principal.

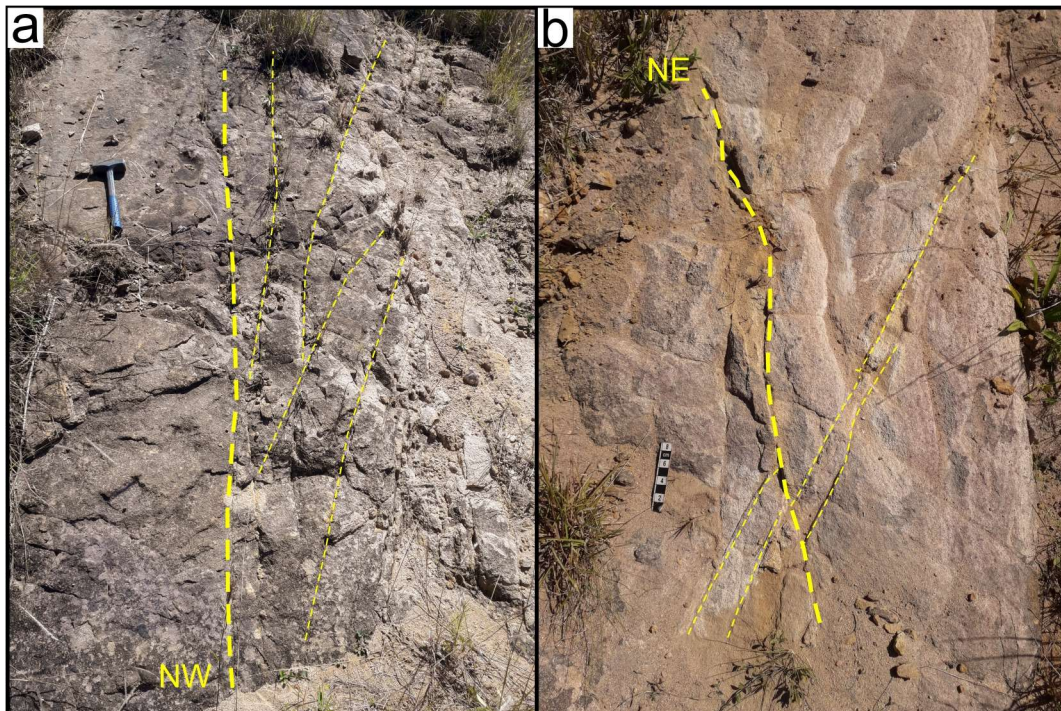


Fonte: autora.

Nesses pontos, algumas fraturas NW apresentam um espalhamento de fraturas secundárias para a direita (Figura 32a), o que pode caracterizar estruturas em *splay* ou *rabo de cavalo*. Existem fraturas NE que apresentam um material com coloração diferenciada, talvez produto do cisalhamento da matriz da rocha e alteração

diferencial. Elas se cortam em “X”, sugerindo um par conjugado (Figura 32b). Outras fraturas NW cortam clastos centimétricos e não deslocam os fragmentos.

Figura 32 – Tipos de fraturas que ocorrem nos arenitos dos pontos IM-03 e IM-07. Em a, fraturas NW em *splay*. Em b, conjugado de fraturas NE com alteração diferencial.



Fonte: autora.

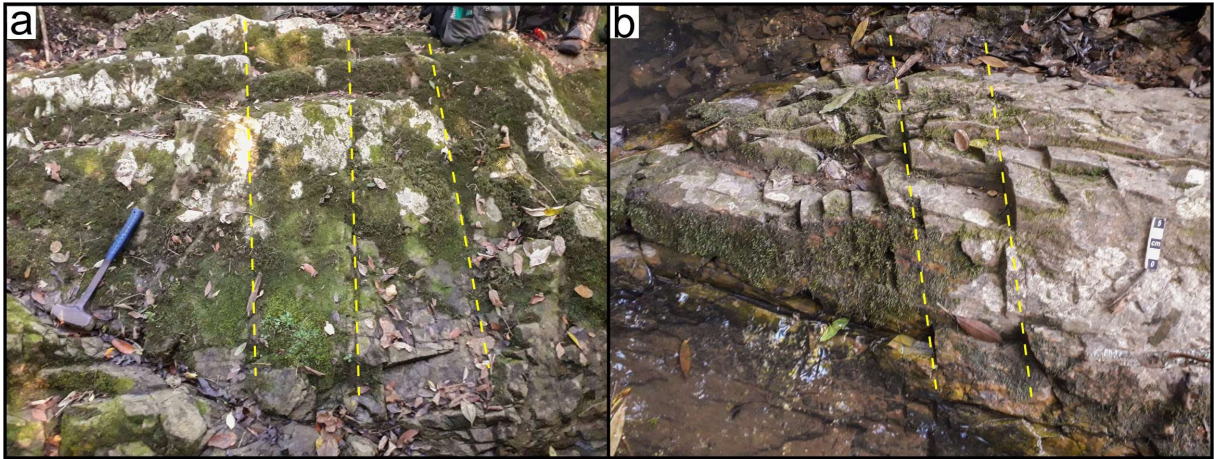
No ponto IM-11 (Figura 33a), a rocha encontra-se muito fraturada e cataclada e o acamamento sedimentar mergulha para NW. Enquanto que na drenagem do ponto IM-07 o mergulho do acamamento sedimentar é para SE, neste ponto mergulha para NW, sendo que no ponto IM-10 tem baixo ângulo de mergulho, o que pode, assim, caracterizar uma dobra com eixo NE.

Ainda neste ponto (IM-11), ocorre um fraturamento principal no sentido NE, quase regular. As fraturas NW também são um pouco regulares, com um espaçamento entre 25-30 cm ou 40-50 cm (Figura 33a) e verifica-se que estão cortando as NE. Este ponto está localizado exatamente no pico do sinal da anomalia magnética, numa zona de interferência de um lineamento E-W que corta a anomalia magnética NW e de um lineamento magnético NE de mais fraca intensidade de sinal. Este ponto é uma zona de falha NE.

No ponto IM-12 (Figura 33b), ocorre o arenito “cozido” basculado visto também em IM-10 e IM-11. Neste ponto, ocorre um fraturamento preferencial NW, caracterizando uma clivagem de fraturas. Este ponto está localizado na borda SW da

anomalia principal. Pode-se considerar este ponto também como uma zona de falha, no sentido NW. A drenagem estaria encaixada nessa zona de falha.

Figura 33 – Padrão de faturamento NW, ressaltados pelo tracejado em amarelo. Em *a*, fraturas NW no ponto IM-11. Em *b*, clivagem de fraturas NW do ponto IM-12.



Fonte: autora.

O ponto IM-15 encontra-se um pouco afastado da borda NW da anomalia magnética, onde percebe-se um deslocamento dela por um lineamento de direção E-W. Ocorre um lajeado de rocha metavulcânica fraturada e foram identificadas 5 famílias de fraturas preferenciais: E-W, NNW-SSE, WNW-ESE, NE-SW e N-S. As relações de corte entre as fraturas não são evidentes. Porém, aparentemente, as fraturas de direção NNW-SSE estão cortando as demais. Há uma fratura N-S, preenchida por quartzo em algumas porções, cortando todo o afloramento.

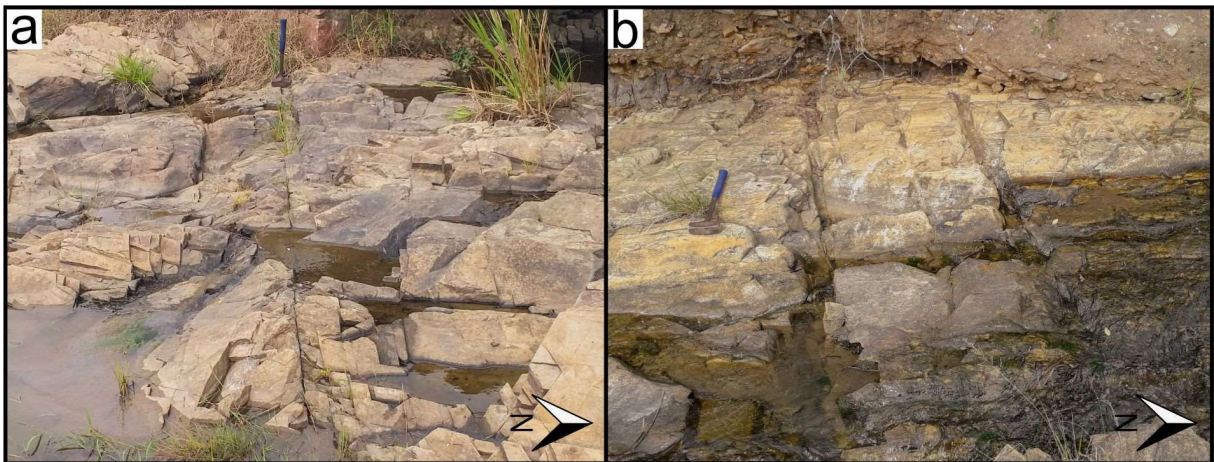
Nos pontos IM-16, IM-17 e IM-18, ocorrem lajeados de rocha metavulcânica alterada. A rocha assemelha-se a um filito e tem uma foliação penetrativa e finamente espaçada.

O ponto IM-16 encontra-se fora da anomalia magnética de direção NW. Porém, parece estar próximo ao prolongamento de lineamentos E-W que cortam e deslocam as anomalias NW. Neste ponto, as principais famílias de fraturas são: NNE-SSW, E-W, NNW-SSE e NW-SE. A densidade das fraturas NW diminui, embora a das NE continua alta. As fraturas NNE-SSW formam uma clivagem com espaçamento de aproximadamente 5 centímetros. As relações de corte não são muito bem explícitas. Porém, aparentemente, as NW-SE e NNW-SSE são posteriores às NNE-SSW. Existe uma fratura E-W que é bem marcada e está cortando todo o afloramento (Figura 34a).

O ponto IM-17 encontra-se na borda SW da anomalia NW, próximo de um longo sistema de lineamentos E-W que cortam e deslocam as anomalias, como visto no ponto IM-16.

Neste afloramento, as principais famílias encontradas, por ordem de densidade, são NW-SE, E-W, NNE-SSW e NE-SW. As fraturas E-W (Figura 34b) são bastante proeminentes e cortam todo o afloramento, enquanto que as fraturas NW são as mais frequentes e com o menor espaçamento, de aproximadamente 10 centímetros.

Figura 34 – Fraturas E-W cortando todas as outras direções. Em *a*, a marreta está sob a fratura E-W. Em *b*, as fraturas E-W são as mais espaçadas e bem marcadas.

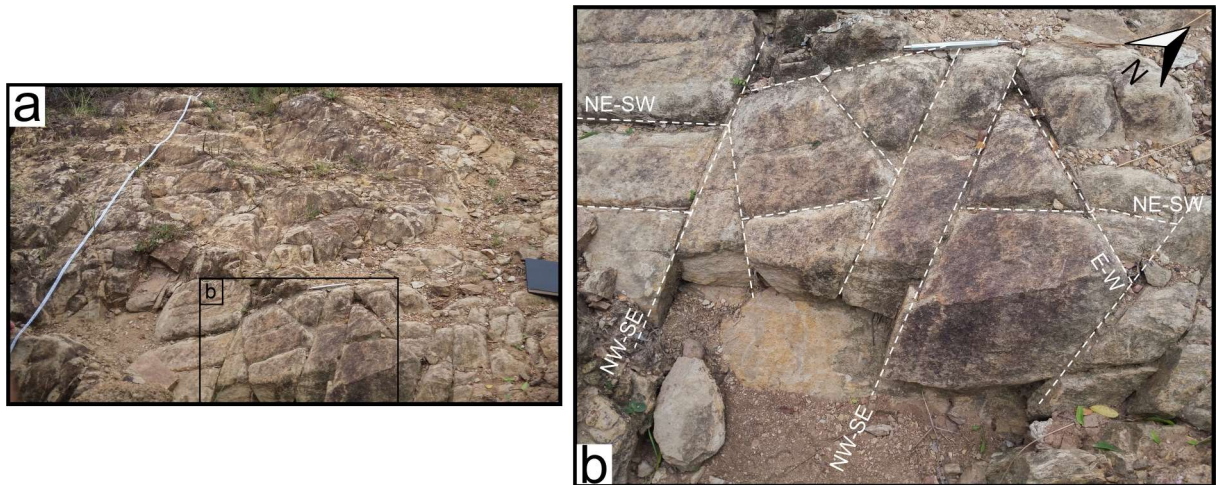


Fonte: autora.

No ponto IM-18, os lineamentos magnéticos E-W cortam e segmentam as anomalias NW. No afloramento, as fraturas não são tão contínuas como nos pontos anteriores e é possível visualizar uma relação de corte entre as famílias de fraturas. Os sistemas de fraturas NW-SE, NE-SW e E-W são os mais frequentes, predominando as primeiras.

Identifica-se, na Figura 35b, fraturas NW-SE segmentando fraturas NE-SW. Não é claro a relação de corte das fraturas E-W. Porém, aparentemente existem fraturas aproximadamente E-W mais antigas que as NW-SE, o que pode sugerir uma possível reativação das NW-SE.

Figura 35 – Relação de corte entre as famílias de fraturas. Em a, afloramento. Em b, detalhe das fraturas NW segmentando fraturas NE.

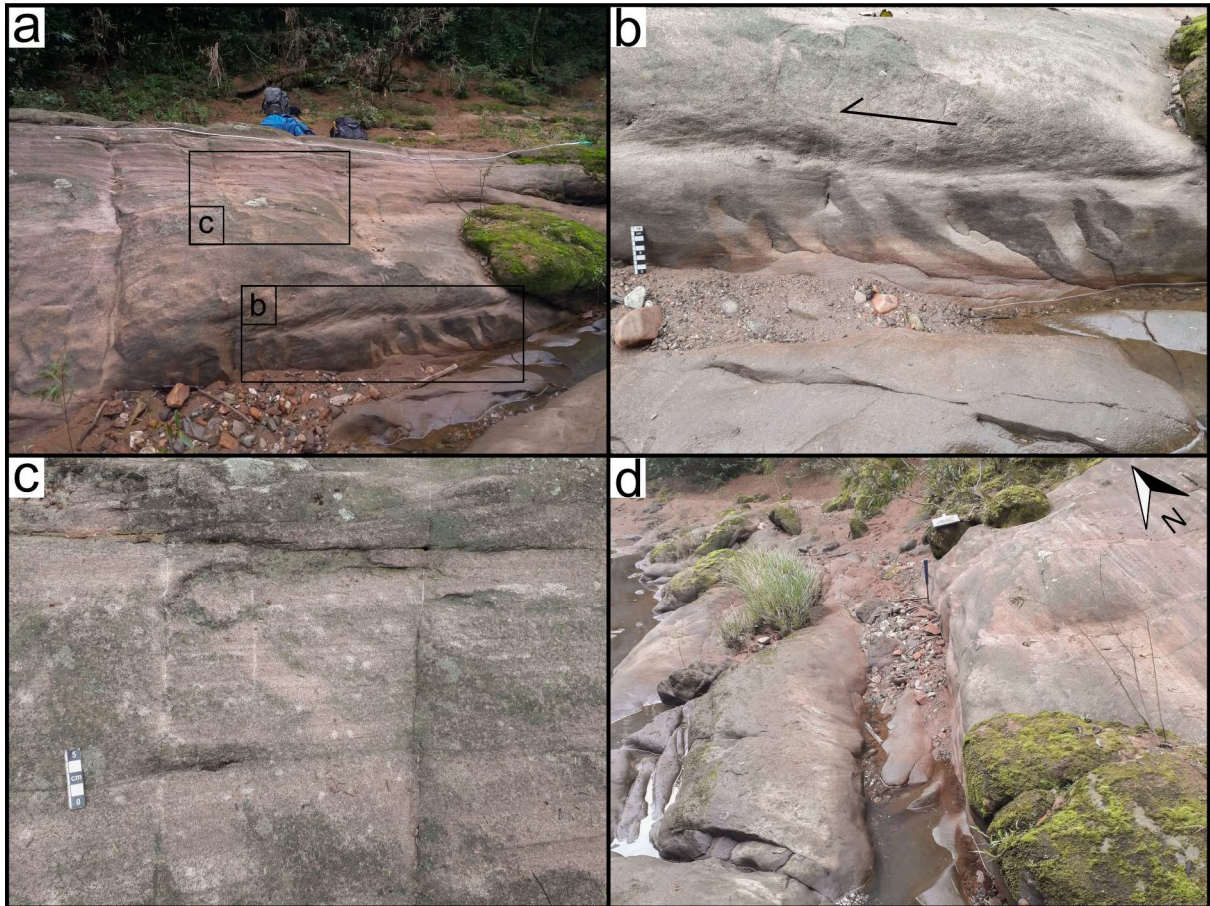


Fonte: autora.

No ponto IM-19, nos arredores de uma ponte no Arroio São Rafael, foram encontradas ocorrências das rochas sedimentares do Grupo Maricá. Este ponto está fora da anomalia magnética NW principal e localiza-se na borda NE de uma anomalia NW mais fraca. Na imagem das anomalias magnéticas, percebe-se claramente que um lineamento NE corta e desloca as anomalias magnéticas. Nota-se que este ponto está mais próximo de um sistema de lineamentos E-W que afetam as anomalias. Também nota-se um lineamento N-S afetando as anomalias magnéticas, porém de forma bem sutil. Bem ao lado do ponto também nota-se uma pequena anomalia magnética negativa de direção E-W. A drenagem parece afetada por lineamentos diversos, incluindo NE, N-S e NW.

A SE da ponte, aproximadamente a 50 metros à montante, ocorre um lajeado de arenito fino a médio, apresentando uma estratificação plano-paralela e pouco fraturado (Figura 36a). Nota-se uma falha, podendo ser classificada como uma falha transcorrente sinistral NE devido à ocorrência de degraus de falha em uma porção do afloramento (Figura 36b). As fraturas NW (Figura 36c), quando chegam nesta falha, cegam e não são vistas no outro lado, na parte ao lado do arroio, ou são refratadas e mudam de direção. A falha NE define o afloramento. As fraturas NW são menos espaçadas e algumas estão preenchidas por calcita (Figura 36c). Aparenta ter duas direções NW de fraturas, caracterizando um conjugado de fraturas NW.

Figura 36 – Em *a*, afloramento em lajeado 50 m à montante da ponte. Em *b*, detalhe dos degraus de falha NE transcorrente sinistral. Em *c*, fraturas NW com preenchimento de calcita. Em *d*, falha transcorrente NE sinistral.



Fonte: autora.

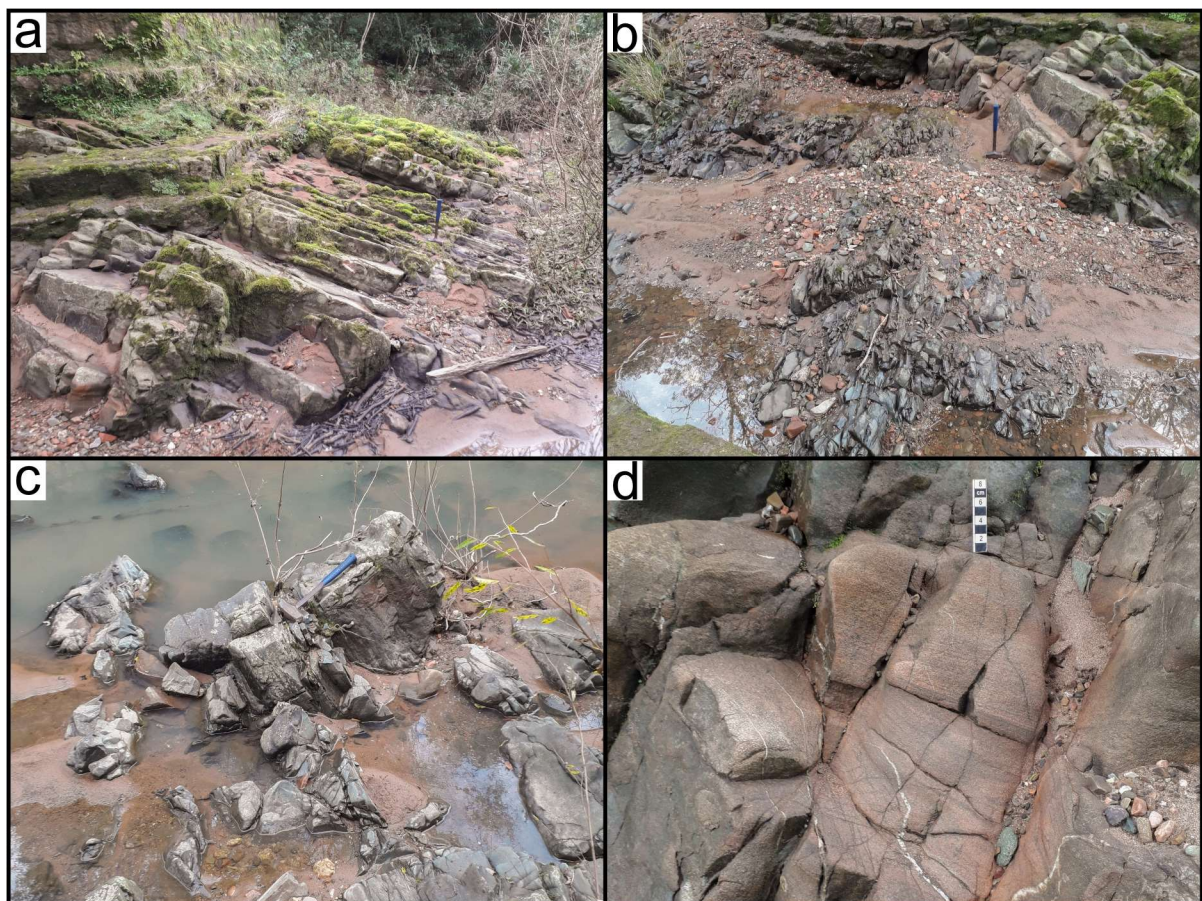
No sentido NW, em direção à jusante da ponte, nota-se claramente um aumento do grau de fraturamento, chegando a uma região com cataclasitos, principalmente sob a ponte. Ao longo do caminho o arenito fica mais silicificado, aparentemente. O mergulho do acamamento sedimentar, que mergulha para SE, vai ficando mais suave, sendo o mais baixo ângulo debaixo da ponte (Figura 37a), mergulhando mais acentuadamente à jusante, para o lado oposto do visto à montante. Isto pode ser características de uma dobra com eixo de direção NE, paralelo à direção da falha. A zona de falha estaria paralela ao plano axial dessa possível dobra.

A faixa cataclástica encontrada debaixo da ponte tem um padrão de faturamento E-W e um outro padrão NE, sendo cortados por um terceiro padrão de fraturas N-S. Neste caso, o lineamento N-S visto nas imagens pode ser considerado uma estrutura posterior. Esta faixa cataclástica tem aproximadamente 5 metros de largura (Figura 37b).

No afloramento à jusante da ponte, onde a rocha parece metavulcânica de longe, vê-se uma rocha escura, de textura fina, com uma estratificação bem marcada (Figura 37c). Parece um arenito cozido. Talvez por isso que, em direção à ponte, o grau de silicificação do arenito parece aumentar. Às vezes parece uma rocha metamórfica devido à foliação. Porém, ao lado da faixa cataclástica da ponte, percebe-se claramente uma estratificação cruzada de médio porte preservada (Figura 37d).

Ao redor da ponte (montante e jusante), nota-se que ocorre uma zona de 15 m de largura, intercalando porções mais e menos cataclasadas. As faixas parecem ter uma direção NE, com padrões NE e NW cortados por um N-S.

Figura 37 – Em *a*, arenito à montante da ponte, com um menor mergulho da S_0 para SE. Em *b*, faixa cataclástica afetando o arenito, debaixo da ponte. Em *c*, afloramento de rocha escura à jusante da ponte, com S_0 mergulhando p/ NW. Em *d*, detalhe da estratificação cruzada de médio porte preservada do arenito cataclasado, debaixo da ponte.

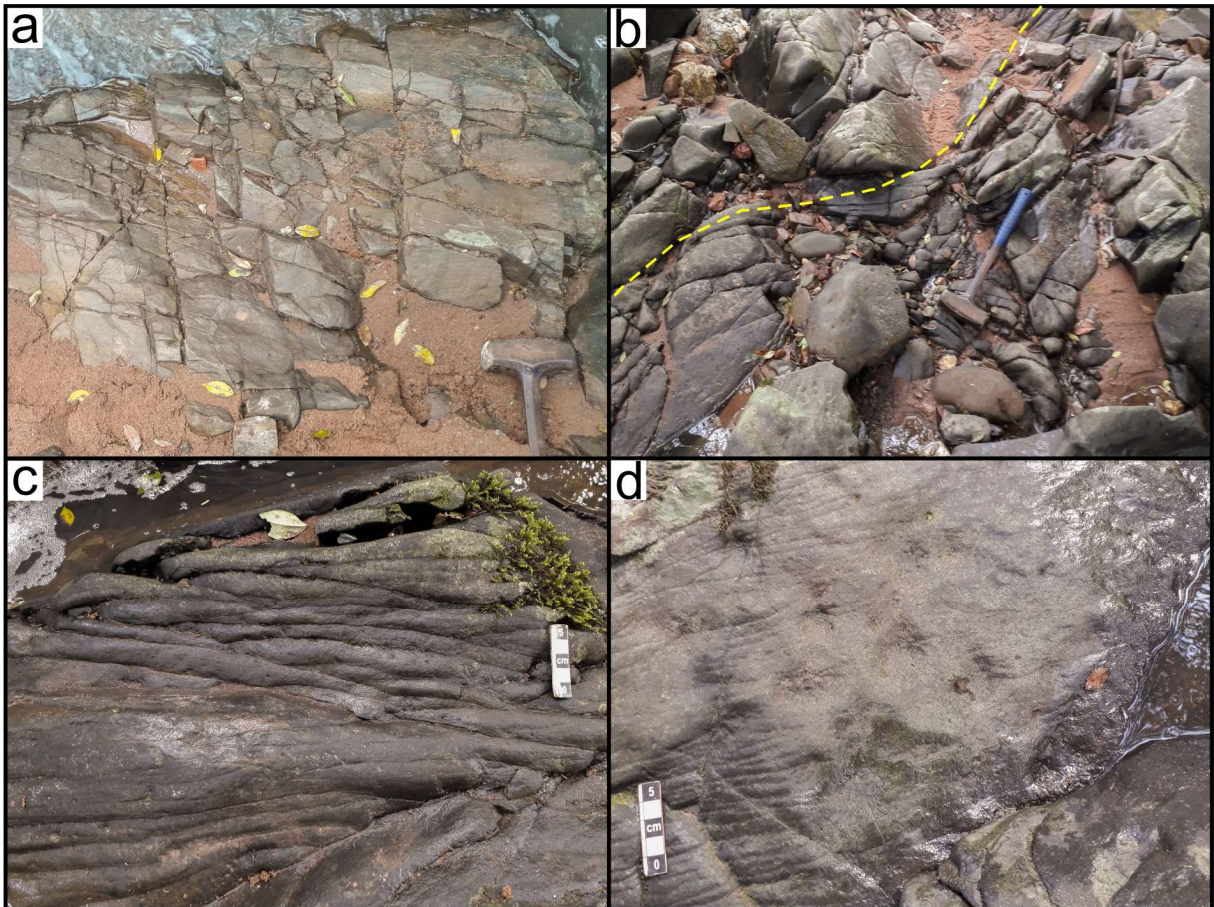


Fonte: autora.

Portanto, o ponto IM-19 mostra uma zona de falha principal NE, marcada por uma falha transcorrente sinistral NE (Figura 36) e uma zona cataclástica de direção NE (Figura 37). As fraturas NW são secundárias com relação à frequência e é comum estarem preenchidas por veios de calcita.

O ponto IM-20 encontra-se bem no pico da anomalia magnética positiva NW. O afloramento é um lajeado de uma rocha vulcânica fraturada, com bandamento de fluxo afetado por dobras. O bandamento por vezes lembra estruturas de lava em corda. Nos extremos ENE e WSW do afloramento, ocorrem lajeados de arenito com fraturas NW-SE bem marcadas. A rocha vulcânica fica no meio e estas características sugerem a ocorrência de um dique, de direção NW-SE. Estima-se a espessura do possível dique, em função das ocorrências de arenito nos extremos, em aproximadamente 20 m. Há ocorrência de fraturas NE cortando o afloramento. Porém, as fraturas NW são as mais frequentes e possivelmente preenchidas por calcita, já que uma fratura, com espessura menor que 1 mm, de uma amostra da rocha do dique reagiu com o ácido clorídrico.

Figura 38 – Em *a*, arenito fraturado na ponta NNE do afloramento, com fraturas NW bem marcadas. Em *b*, bandamento de fluxo da rocha vulcânica afetado por dobras, destacadas pelo tracejado em amarelo. Em *c* e *d*, detalhe do bandamento de fluxo da rocha vulcânica, por vezes lembrando lavas em corda.



Fonte: autora.

No ponto IM-21 ocorrem somente alguns blocos rolados e lajeados de arenito com estratificações muito finas e pouco fraturado.

No ponto IM-22, ocorre um arenito com juntas NE-SW e NW-SE verticalizadas bem marcadas e cortadas por fraturas E-W com espaçamento de aproximadamente 40 centímetros. Este ponto está localizado em cima de um lineamento morfológico direção NW, definido por drenagens alinhadas e um açude no topo do divisor de água, além de áreas úmidas (charcos) no campo. Este ponto está fora da anomalia magnética NW, próximo à borda NE e muito próximo a um lineamento E-W que corta e desloca a anomalia NW. Também encontra-se dentro de um lineamento morfológico N-S, marcado por cabeceiras de drenagens (e estradas) que se estendem até para N da BR-290. As fraturas E-W estão cortando o fraturamento NE, que é o principal.

O ponto IM-23 encontra-se dentro da anomalia magnética NW, encaixado em um lineamento morfológico NW definido por drenagem alinhada. Neste ponto, ocorre uma rocha sedimentar caracterizada pela intercalação de arenito e pelito, bastante alterada, fraturada e basculada. A principal família de fraturas identificada é a NW-SE (Figura 39). O padrão de fraturas NW é muito bem marcado, regularmente espaçado, e paralelo à drenagem. As fraturas na direção NE são mal marcadas e pouco frequentes.

Figura 39 – Padrão de fraturamento NW bem marcado e paralelo à drenagem.

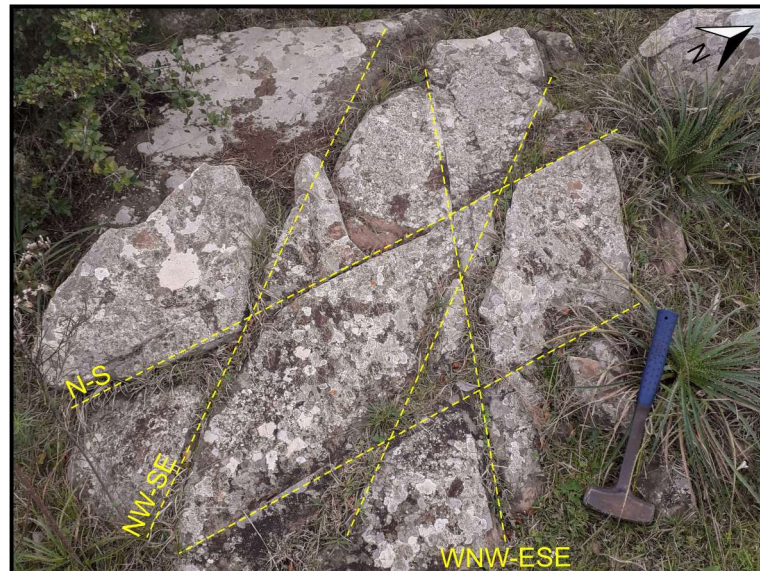


Fonte: autora.

O ponto IM-24 localiza-se na borda NE de uma anomalia magnética secundária e próximo a um deslocamento E-W das anomalias. Ocorrem lajeados, blocos e matacões de arenito e verifica-se a ocorrência de dois conjugados de fraturas: um na direção NW-SE e outro na direção N-S. Aparentemente as fraturas de direção N-S

cortam as de direção NW-SE (Figura 40). Esta relação de corte também é verificada no ponto IM-28.

Figura 40 – Lajeado com conjugado de fraturas NW cortado por fraturas N-S no ponto IM-24.

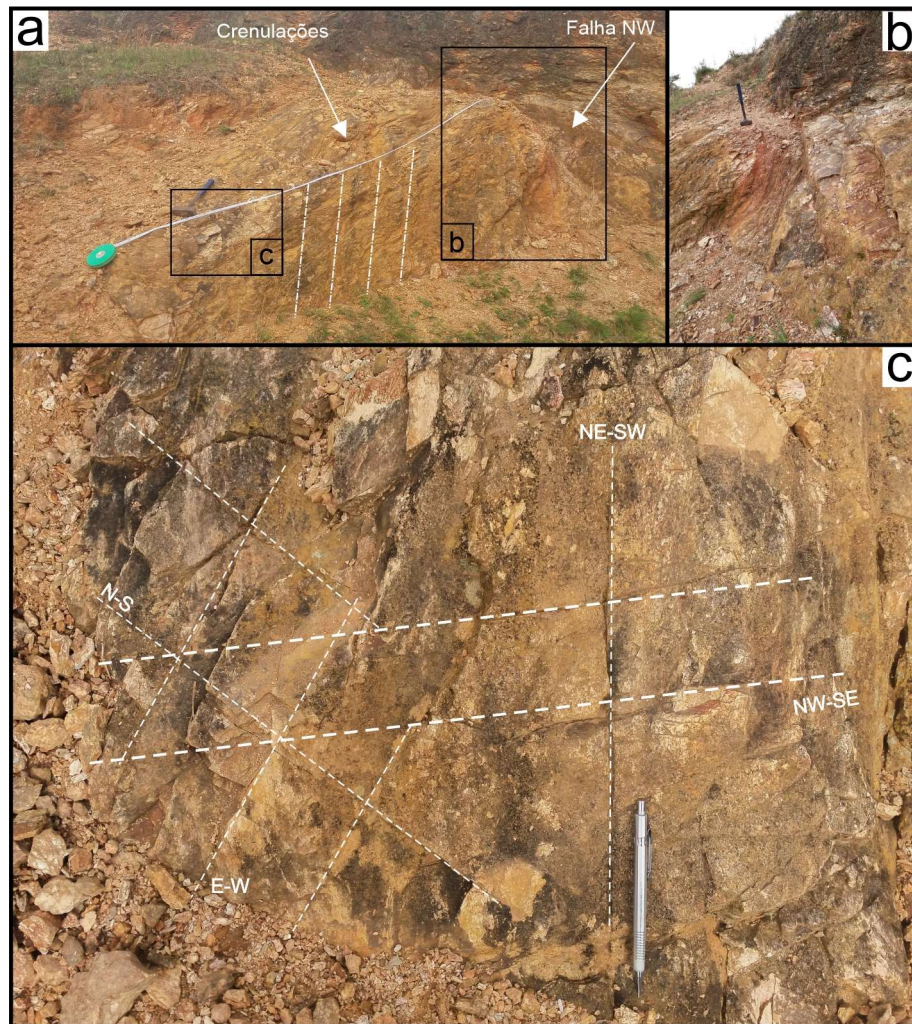


Fonte: autora.

Os pontos IM-25 e IM-26 encontram-se sobre a anomalia magnética NW, próximo à influência de lineamentos E-W que deslocam os lineamentos magnéticos NW. Porém, em ambos, não foi identificada uma frequência de fraturas E-W tão significativa, apesar de haver lineamentos magnéticos E-W deslocando as anomalias.

No ponto IM-25, há um afloramento em corte e lajeado (Figura 41), de uma rocha muito alterada. Esta rocha foi classificada como uma metaultramáfica dado o tato sedoso muito evidente. A foliação metamórfica (S_x) apresenta baixo ângulo de mergulho, sendo afetada por dobras de crenulação e falhamento normal. A lineação de estiramento mineral (L_x) tem alto *rake*. O falhamento normal, aparentemente paralelo às crenulações, tem direção NW-SE. Dobras também são verificadas afetando a foliação metamórfica (tanto como dobras da S_x , como as crenulações), assim como ao lado do plano de falha. Blocos de quartzo leitoso também ocorrem pelo campo. As fraturas NW são as mais importantes e ocorrem paralelas aos eixos das crenulações. As fraturas NE-SW, E-W e N-S são pouco expressivas, sendo as últimas cortando todas as outras, aparentemente.

Figura 41 – Em *a*, afloramento de metaltramáfica bastante alterada. Em *b*, falha normal NW, com dobra de arraste. Em *c*, detalhe da relação de corte entre fraturas. Aparentemente, as fraturas N-S são as mais recentes.



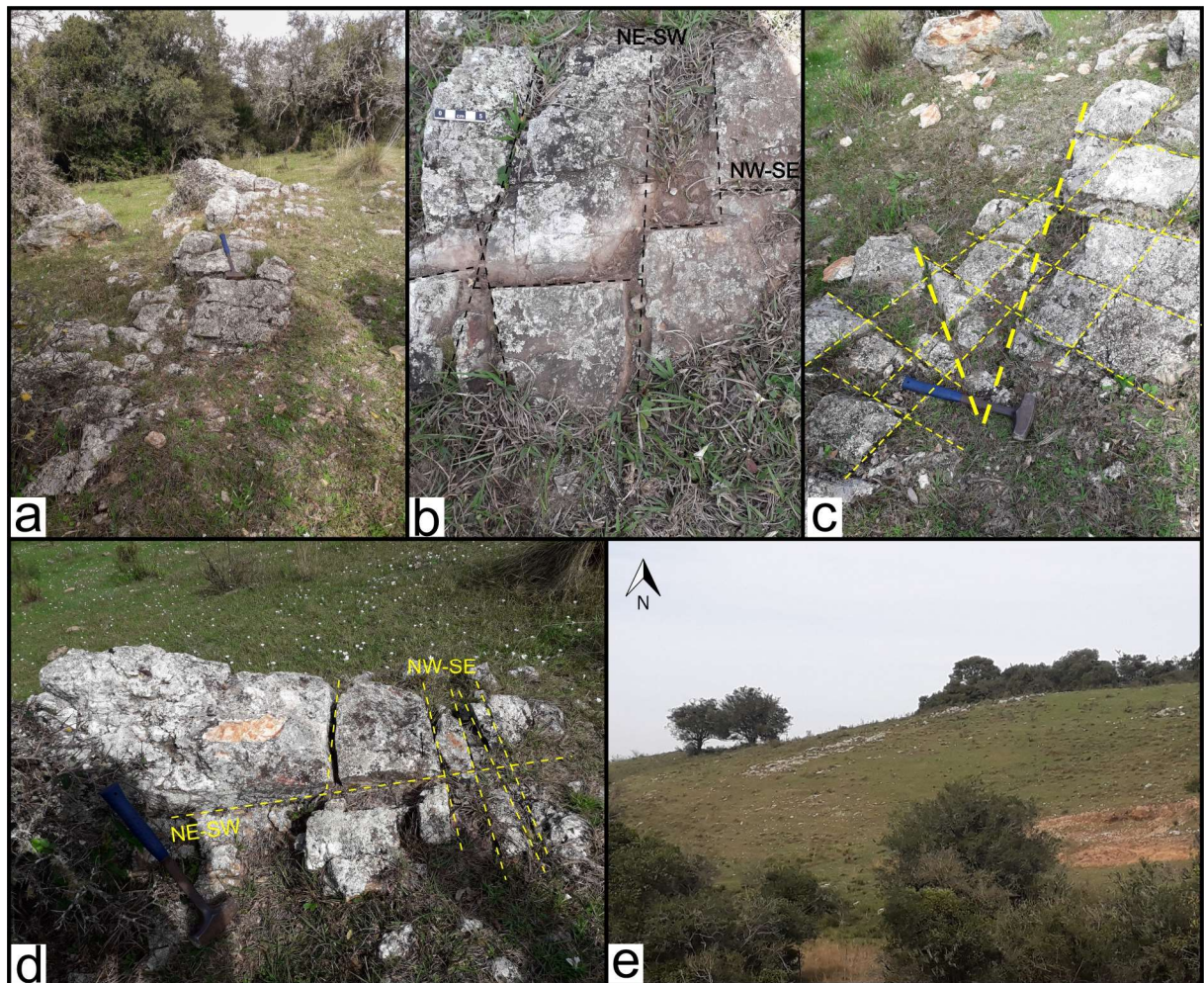
Fonte: autora.

No ponto IM-26 ocorrem lajeados, blocos e matacões de metachert que apresenta uma foliação interna e uma textura granoblástica, além de terem muitos óxidos. Os afloramentos têm uma direção preferencial NE-SW (Figuras 42a a 42e). Neste ponto, há porções onde fraturas NE-SW estão deslocando fraturas NW-SE (Figura 42b). Existem fraturas N-S que cortam tudo (Figura 42c). Também percebe-se que há ocorrências de fraturas NE e NW contemporâneas. Porém, há fraturas NW com um menor espaçamento e cortando as fraturas NE de maior espaçamento (Figura 42d). Neste afloramento as fraturas NW são as mais importantes.

Portanto, o que ocorre neste afloramento é o seguinte: há um fraturamento NE mais antigo e há um fraturamento NE cortando o fraturamento NW, o que pode sugerir

contemporaneidade ou reativação. Por fim, há fraturas N-S cortando tudo. Fraturas E-W foram pouco visualizadas.

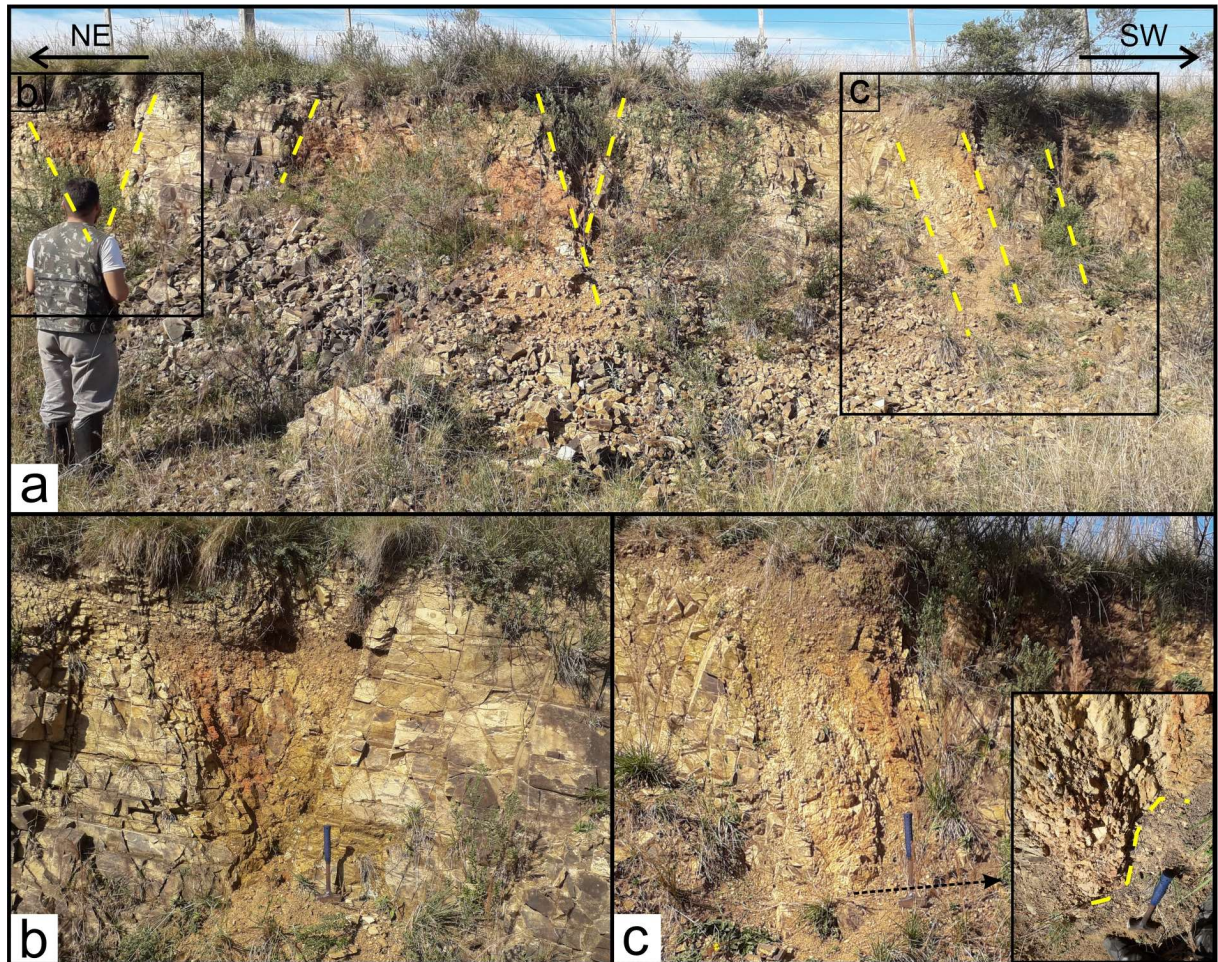
Figura 42 – Em *a*, afloramento com direção NE. Em *b*, fraturas NE-SW cortando e deslocando fraturas NW-SE. Em *c*, conjugado de fraturas N-S (tracejado grosso) cortando fraturas de outras direções (tracejado fino). Em *d*, fraturas NW-SE com menor espaçamento cortando fraturas NE-SW com maior espaçamento. Em *e*, lajeados de metacherts no campo, com disposição NE.



Fonte: autora.

O ponto IM-27 encontra-se sobre a anomalia magnética NW, na continuidade de lineamentos E-W que deslocam os lineamentos magnéticos NW. Neste ponto verificam-se falhas de direção aproximadamente E-W, apresentando estruturas em flor com espalhamento para cima (Figura 43), o que pode sugerir uma zona de transcorrência com uma componente compressional. Veios de quartzo aproximadamente NW-SE também são verificados, muitos apresentando cavidades de dissolução. Este ponto apresenta fraturas NW extensionais, devido aos veios, e fraturas E-W de cisalhamento, devido às estruturas de arraste.

Figura 43 – Em *a*, afloramento. Em *b*, falha com espalhamento para cima, sugerindo ser uma estrutura em flor positiva, a NE do afloramento. Em *c*, falha com espalhamento para cima, a SW do afloramento. O detalhe em *c* mostra uma perspectiva de cima da dobra de arraste (marcada pelo tracejado em amarelo) com eixo com alto caimento aparente, não muito claro.



Fonte: autora.

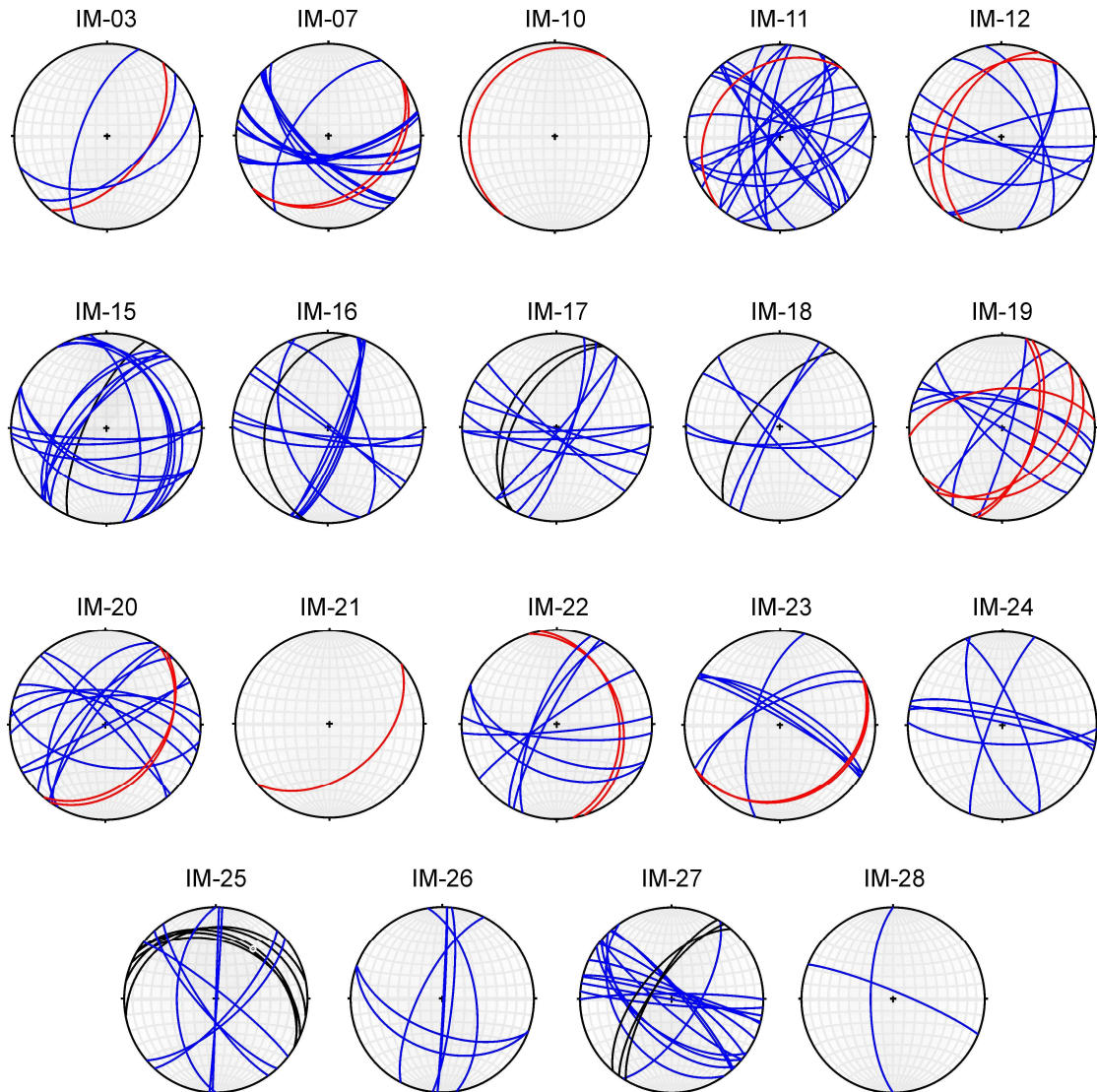
O ponto IM-28 encontra-se em cima da anomalia magnética NW, na extremidade SE dela, onde passa a não ser mais marcada devido à influência de anomalias mais difusas na direção NE. Neste ponto, ocorrem lajeados, blocos e matacões de arenito grosso a conglomerático, com estrutura maciça. No lajeado, de disposição NW, foram verificadas fraturas NW e aproximadamente N-S. As fraturas NW estão sendo cortadas por fraturas N-S bem marcadas, semelhante ao que é encontrado no ponto IM-24 (ver Figura 40).

6.4.3 Pós campo

Finalizada as etapas de campo, foram feitos estereogramas, gráficos, tabelas e mapas com os dados estruturais de campo. A Figura 44 apresenta os estereogramas

de todas as estruturas medidas em campo. Nota-se que há duas direções principais de mergulho do acamamento sedimentar (S_0): SE e NW. A foliação metamórfica (S_x) apresenta uma direção preferencial de mergulho para NW, apresentando uma variação para N, verificada mais claramente no ponto IM-25.

Figura 44 – Estereogramas das estruturas planares medidas em campo. Vermelho: acamamento sedimentar (S_0). Preto: foliação metamórfica (S_x). Azul: estruturas rúpteis.

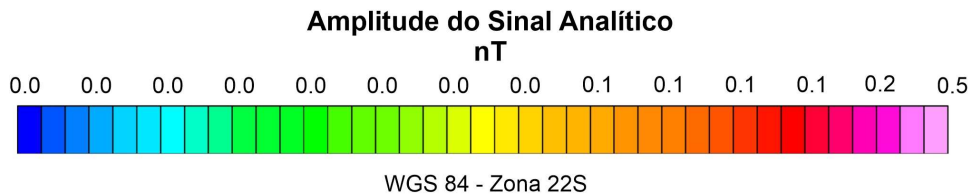
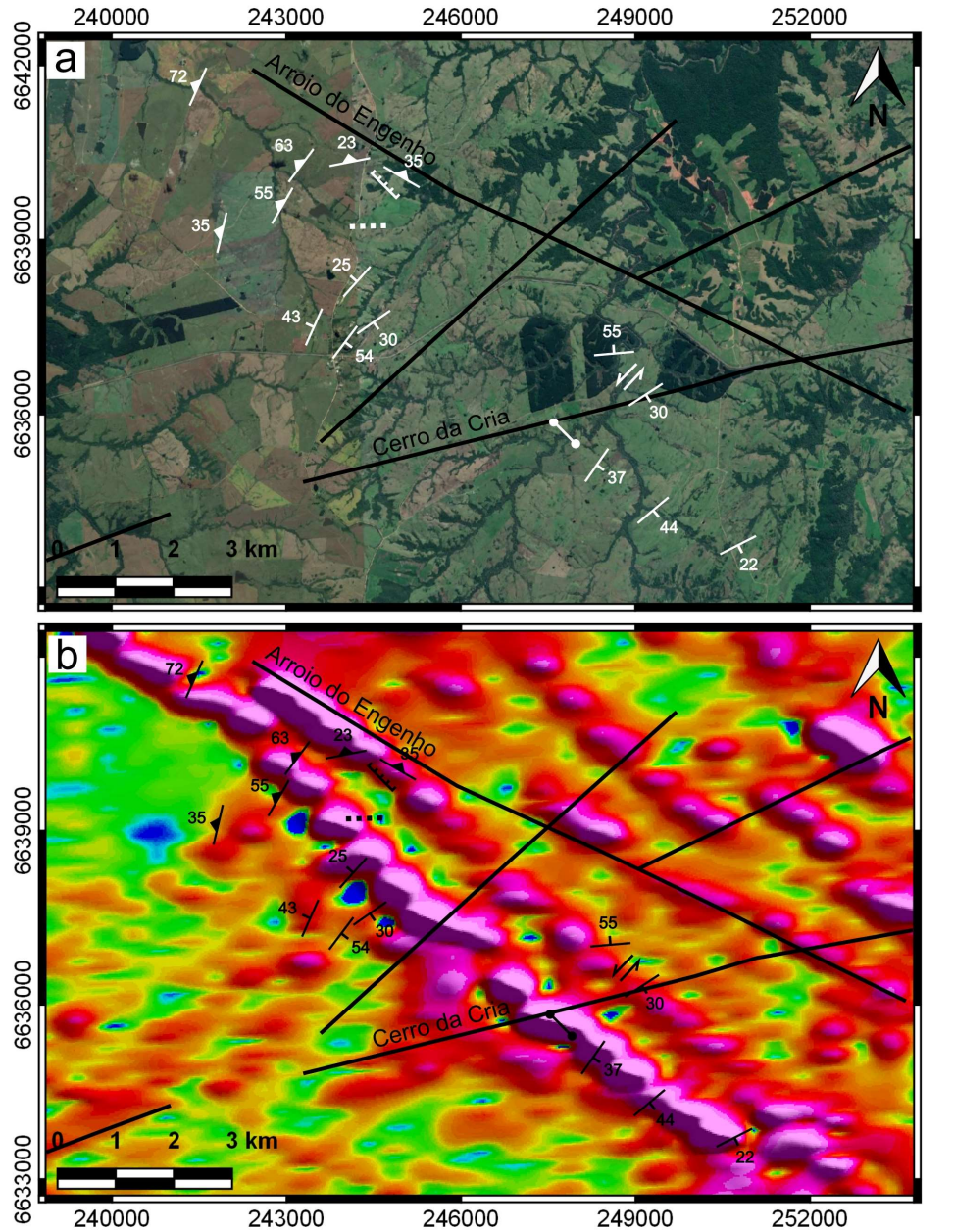


Fonte: autora, a partir do *software* Stereonet 10.

Com relação às estruturas rúpteis, percebe-se um padrão de fraturamento mais consistente nas direções NE, NW e E-W. No ponto IM-11, há uma maior densidade de fraturas medidas. Porém, este ponto é caracterizado por uma zona cataclástica NE.

A Figura 45 apresenta os dados de acamamento sedimentar, foliação metamórfica e zonas de falha mais importantes identificadas em campo.

Figura 45 – Mapa estrutural da área de estudo evidenciando as principais estruturas planares vistas em campo. Em a: imagem de satélite. Em b: Anomalias magnéticas ASA.



- | | | | |
|--|-------------------------------------|--|--|
| | Acamamento sedimentar | | Falha normal NW-SE |
| | Foliação metamórfica | | Dique máfico NW-SE |
| | Zona de falha transcorrente E-W | | Zonas de falha/fraturas conforme bibliografias |
| | Falha transcorrente sinistral NE-SW | | |

Fonte: Google Earth (a) e (b) Gregory & Guadagnin (2017).

Na Figura 45 pode-se notar que há um alinhamento entre a falha normal e o dique máfico, ambos com disposição NW. Este alinhamento coincide com a anomalia magnética NW. Na porção SE da área de estudo, nota-se também uma falha sinistral NE marcada por uma linha de drenagem também NE. O acamamento sedimentar nesta área ora mergulha para SE, ora para N, caracterizando uma dobra com o plano axial paralelo à zona de falha. Nas proximidades da Vila do Cerrito do Ouro, também há duas direções de mergulho do acamamento sedimentar: SE e NW. Isto pode caracterizar uma dobra antiforme regional, com eixo de direção NE. Porém, deve-se considerar que há uma zona de falha NE, e nesta região há o contato entre as rochas metamórficas e sedimentares. Na porção NW da área de estudo, há foliação metamórfica mergulhando para NW, rotacionando para N.

A tabela 2 apresenta a densidade de fraturas obtidas através da metodologia *scanline*, convertidas para 1 metro de linha. Contudo, não foi possível realizar a densidade de fraturas em todos os pontos, devido à qualidade dos afloramentos. É possível notar que há uma frequência maior de fraturas NW onde há anomalia magnética NW identificada. Também percebe-se que há uma frequência significativa de fraturas E-W e NE-SW em locais onde há deslocamentos de anomalia NW por lineamentos E-W e NE-SW. A partir da tabela 2 percebe-se que as fraturas mais frequentes, no total, são as de direção NW-SE, seguindo das de direção NE-SW, E-W, WNW-ESE e ENE-WSW. Fraturas NNE-SSW, NNW-SSE e N-S são as menos frequentes nos pontos onde foram medidos o espaçamento por linha.

Tabela 2 – Densidade de fraturas nos pontos onde foram medidos por linha (*scanline*). Medidas convertidas para 1 metro de linha.

Ponto	NNE	NE	ENE	E-W	WNW	NW	NNW	N-S	Total
IM-15	-	1,1	-	4,5	1,2	-	3,3	0,1	10,2
IM-16	10,0	-	-	6,3	-	0,6	0,7	-	17,6
IM-17	3,3	3,3	-	5,2	-	8,7	-	-	20,5
IM-18	-	4,0	-	3,3	-	7,5	-	-	14,8
IM-19	-	0,6	-	0,7	-	1,2	-	-	2,5
IM-20	-	2,5	1,7	1,8	3,5	15,0	-	-	24,5
IM-22	-	10,0	-	2,6	2,7	-	-	-	15,3
IM-23	-	2,3	-	-	-	10,3	-	-	12,6
IM-25	-	5,0	-	-	-	10,0	-	-	15,0
IM-27	-	-	-	12,0	15,0	-	-	-	27,0
IM-28	-	-	-	-	-	8,0	-	2,0	10,0

Fonte: autora.

Com relação aos diagramas de rosetas, foram feitos, primeiramente, rosetas com as medidas de espaçamento originais. Porém, como há diferença entre o comprimento das linhas, variando de 1,5 metros até 7,6 metros, foi feita uma normalização das medidas de espaçamento das fraturas. Optou-se por converter todas as medidas de espaçamento para um valor referencial de 10 metros de linha, a partir de uma simples regra de três, a fim de se ter dados suficientes para os diagramas de rosetas. Ao normalizar-se as medidas de frequência, tem-se dados mais concordantes com o que foi visto no campo e é possível comparar a densidade de fraturas.

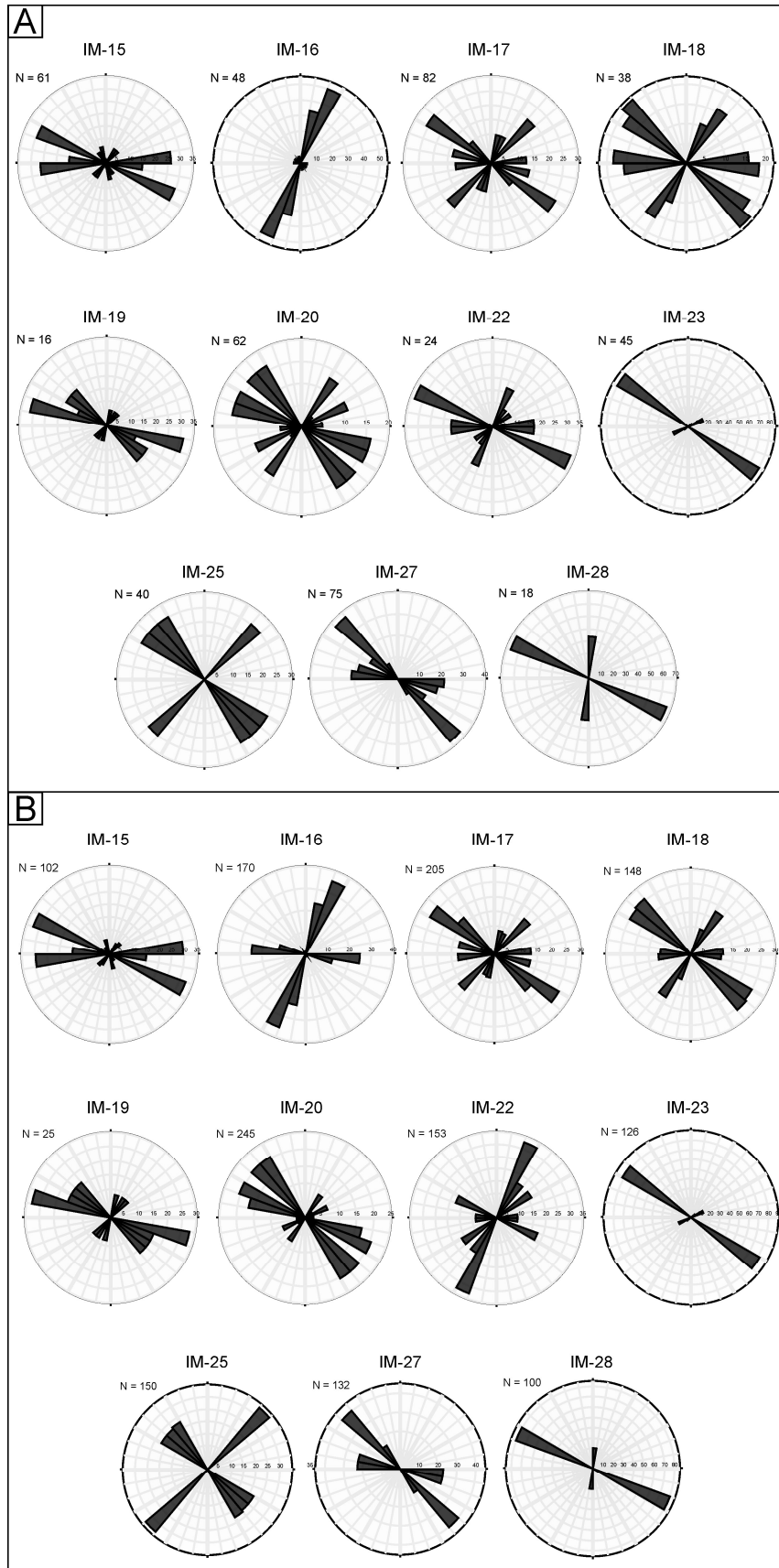
Ao observar-se os diagramas de rosetas, nota-se que há pouca diferença entre os diagramas de rosetas com as medidas de frequência das linhas originais e normalizadas. Porém, percebe-se que em alguns pontos (Figura 46) essa diferença é mais visível: IM-16, IM-18, IM-20 e IM-22. Nesses pontos, há uma maior diferença no comprimento entre as linhas originais em cada direção considerada.

No IM-16, há uma maior importância dos fraturamentos E-W nas rosetas normalizadas do que nas originais, enquanto que no IM-18, ocorre o contrário: as fraturas E-W são mais frequentes nas rosetas originais. O ponto IM-20 apresenta fraturas NE-SW mais frequentes nas medidas originais, porém nas medidas normalizadas há poucas fraturas NE-SW. A frequência das outras direções não sofreram mudanças significativas nos pontos IM-16, IM-18 e IM-20.

A mudança mais significativa observada é no IM-22. Nas rosetas originais, a direção de fraturamento mais frequente é a WNW-ESE, em seguida o E-W e por fim, a NE-SW. Nos dados normalizados, percebe-se uma mudança na direção mais frequente, que passa a ser a NE-SW. NW-SE e E-W têm suas frequências diminuídas com relação à NE-SW.

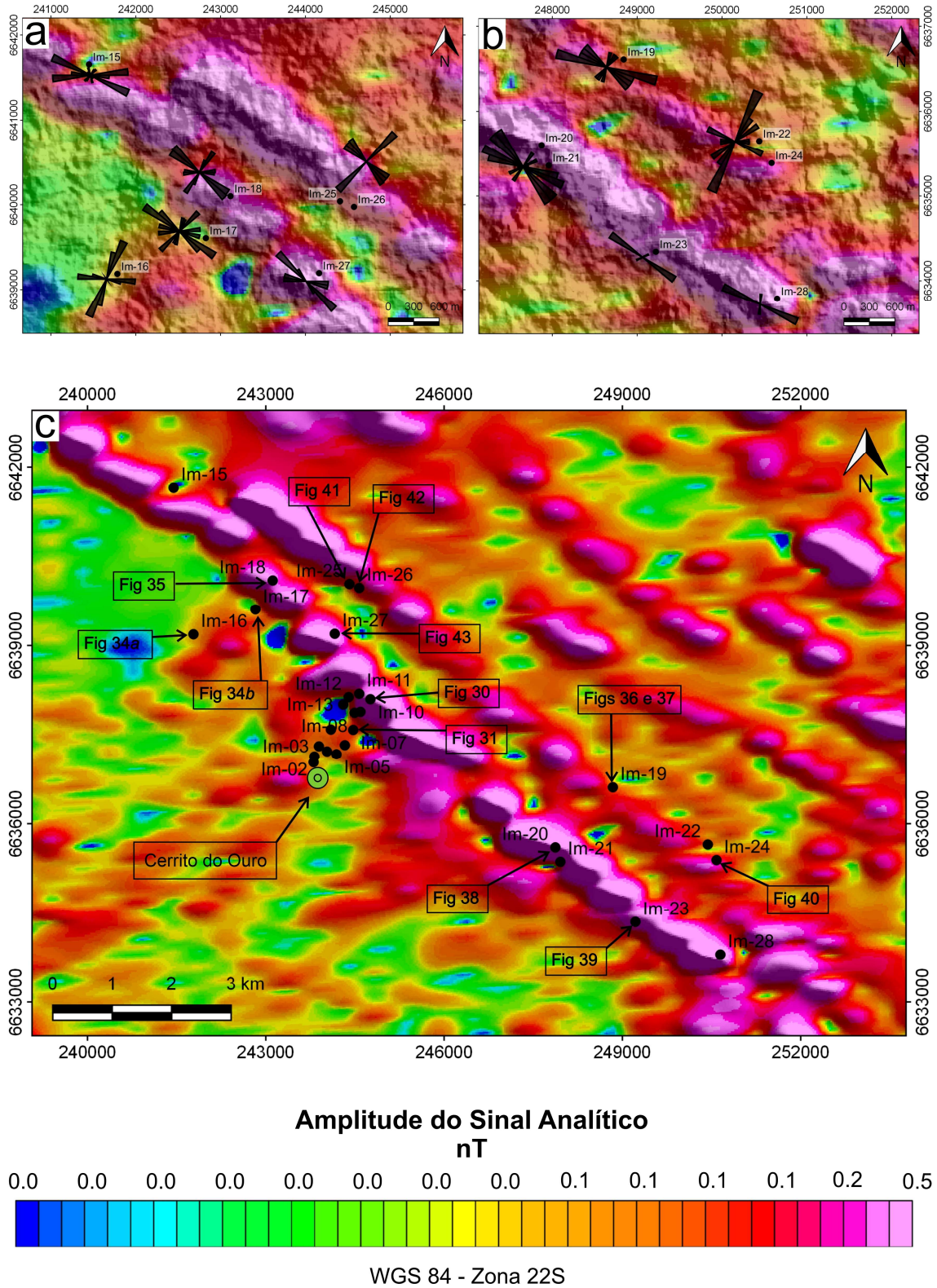
Quando observa-se o mapa das anomalias magnéticas (Figura 47) percebe-se uma relação entre as rosetas normalizadas e as anomalias magnéticas. Os pontos IM-16 e IM-22 localizam-se fora das anomalias principais, em regiões com influência significativa de lineamentos E-W e NE-SW. Os pontos IM-18 e IM-20 localizam-se nas anomalias. Esses pontos apresentam uma frequência maior de fraturas NW-SE.

Figura 46 – Diagramas de rosetas da frequência dos fraturamentos, feitos a partir das medidas de espaçamento (A) originais e (B) normalizadas.



Fonte: diagramas de rosetas gerados pela autora no *software* Stereonet 10.

Figura 47 – Anomalias ASA sobrepostas ao modelo de relevo sombreado nas porções NW (a) e SE (b) da área de estudo. As rosetas foram feitas por medidas normalizadas. Na imagem c, há a indicação das Figuras onde, no campo, vê-se densidades e relações de corte entre sistemas de fraturas que podem estar refletindo na geofísica.



Fonte: modificado de Gregory & Guadagnin (2017).

A partir das informações das relações de corte entre fraturas, das rosetas normalizadas e da tabela 2, pode-se considerar que os fraturamentos vistos em campo apresentam um comportamento que pode ser refletido nas anomalias magnéticas ASA.

7. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O objetivo deste trabalho foi verificar se existe alguma relação entre os sistemas de fraturas e as anomalias magnéticas ASA de direção NW identificadas na área de estudo. Analisou-se imagens de relevo sombreado para identificar lineamentos geomorfológicos em diversas escalas e também realizou-se trabalhos de campo para verificar as relações de corte e estatística dos fraturamentos preferenciais. Com isso, pretendeu-se obter um maior detalhamento da tectônica rúptil de uma importante porção do ESrg, onde é identificada na bibliografia ocorrências minerais associadas a sistemas de fraturas, assim como obter um maior entendimento sobre o significado das anomalias magnéticas ASA de direção NW.

7.1 Sensoriamento remoto

A partir da análise dos dados de sensoriamento remoto, verifica-se a predominância de lineamentos geomorfológicos de direção N030-060°E e, secundariamente, a direção N030-060°W. Em escala regional, existe uma intersecção de lineamentos NE-SW, NW-SE e N-S nas proximidades da localidade do Cerrito do Ouro, que pode ter sido o condutor do fluido hidrotermal que é tido como responsável pela mineralização de ouro nas adjacências, conforme Borsatto (2018). É interessante notar que lineamentos E-W e N-S apresentaram-se mais frequentes através do sensoriamento remoto do que era esperado a partir da revisão bibliográfica feita previamente.

Quanto maior o detalhamento da escala de análise, os lineamentos vão ficando cada vez mais descontínuos e uma maior frequência de lineamentos E-W e N-S é observada. Não há mudanças significativas na frequência dos lineamentos NE-SW e NW-SE e, aparentemente, é independente da escala. Em todas as escalas analisadas, os lineamentos que predominam são os NE-SW e, secundariamente, os NW-SE, muito provavelmente porque essas estruturas seriam as mais antigas a afetar o ESrg (RIBEIRO, 1980).

Nas escalas 1:50.000 e 1:25.000, os lineamentos ficam mais fragmentados e os de direção N-S e E-W começam a apresentar uma importância maior com relação aos NE e NW. Uma possível explicação para este fenômeno seria o fato de as estruturas E-W e N-S serem mais recentes a afetar as rochas desta porção do ESrg. Portanto, ainda não apresentam, regionalmente, um grande significado tectônico (RIBEIRO *et al.* 1966). Seriam necessários estudos de mais detalhe em outras localidades para saber se isto é um comportamento recorrente em outras porções do ESrg, ou se é uma característica que ocorre somente na área de estudo.

7.2 Dados de campo

Com relação aos dados de campo, pode-se concluir que existe uma relação entre os sistemas de fraturas observados e as anomalias magnéticas ASA. Nota-se claramente, a partir dos diagramas de rosetas, que as fraturas NW são predominantes e mais frequentes em zonas onde é identificada a anomalia magnética NW e, fora da mesma, este fraturamento torna-se mais discreto. Os sistemas de fraturas E-W, NE-SW e N-S encontram-se bastante frequentes em zonas onde há deslocamentos das anomalias magnéticas por lineamentos E-W, NE-SW e N-S, respectivamente. Isto reforça o que já foi observado ao sobrepor os lineamentos geomorfológicos e magnéticos (Figura 27). Também é observado, a partir de relações de corte em campo, um fraturamento NE-SW mais antigo do que fraturas NW-SE, contemporaneidade entre fraturas NE-SW e NW-SE, reativações NE-SW mais recentes que fraturas NW-SE e fraturas E-W e N-S mais recentes do que as outras anteriores. Essas relações de corte podem ser refletidas nas anomalias magnéticas ASA (Figura 47).

7.2.1 Estruturas NE-SW

Com relação às estruturas rúpteis NE-SW, é possível dizer que, em campo, observou-se que essas estruturas seriam zonas de cisalhamento, e há deslocamento sinistral em alguns pontos. Não foram identificadas, nos pontos visitados, fraturas claramente extensionais. As fraturas NE-SW, portanto, são fraturas de cisalhamento e as mais antigas e reativadas, a partir das relações de corte.

Existem duas direções de mergulho do acamamento sedimentar (S_0) na área de estudo: NW e SE. Isto sugere que ocorre uma dobra regional com um eixo paralelo

às estruturas rúpteis NE. As camadas da “Formação Maricá”, denominação utilizada por Ribeiro *et al.* (1966), nas proximidades da área de estudo, são seccionadas por falhas pertencentes à zona de falha Cerro dos Cabritos (Figura 12), de direção NE (RIBEIRO *et al.* 1966). Nessa região, essas camadas apresentam-se com S_0 mergulhando para SE, caracterizando assim dobras do tipo homoclinal e, em alguns casos, apresentam-se com dobras de tamanho moderado do tipo anticlinal-sinclinal, no trecho entre o Arroio Santa Bárbara e o Cerrito do Ouro, ao longo da BR-290 (RIBEIRO *et al.* 1966). Segundo Paim *et al.* (2014), essas rochas formam a unidade mais antiga e deformada da Bacia do Camaquã, com dobras suaves a moderadas vinculadas a falhas transcorrentes, de empurrão e inversas.

Portanto, na área de estudo, pode-se considerar que essas possíveis dobras com eixo e plano axial concordantes com as estruturas rúpteis NE, de cisalhamento, possam ter alguma associação. Como a Bacia do Camaquã é comumente associada a um sistema de bacias tardi- a pós-colisionais, relacionadas aos estágios finais da orogenia Brasileira/Pan-Africana (PAIM *et al.* 2014), e como nesse tipo de ambiente geotectônico há transcorrências devido à tectônica de escape lateral semelhante ao que ocorre atualmente no sudeste da Ásia (LIÉGEOIS, 1998), as dobras acima citadas poderiam ser associadas a um evento de transcorrência anterior ao que foi responsável pela geração das estruturas NW-SE.

7.2.2 Estruturas NW-SE

A partir das relações de corte, observou-se que as fraturas NW-SE são posteriores às NE-SW. Os dados de campo, em conjunto com a revisão bibliográfica, permitiram concluir que existe uma possível coincidência entre uma anomalia magnética NW com a Falha do Arroio do Engenho (GASTAL & FERREIRA, 2013; Figura 12, Figura 45), de direção NW, apesar da diferença de escalas. Isto pode significar que essa falha é, provavelmente, uma falha com componente de abertura, dado a presença de um dique máfico e veios de quartzo e calcita de direção NW, em afloramentos localizados na anomalia magnética NW principal. Pode-se descartar uma hipótese de transcorrência neste caso, pois não é claramente notada uma perturbação das atitudes da foliação metamórfica e do acamamento sedimentar. Se fosse o caso, deveria ocorrer uma estrutura de arraste decorrente da transcorrência.

As anomalias magnéticas NW, na área de estudo, podem representar, portanto, zonas de fissuras NW.

Durante o Paleozoico Superior ao Jurássico, há um soerguimento geral na Bacia do Paraná que levou a um desenvolvimento de estruturas "em arco" NW (MELFI *et al.* 1988 *apud* ROMANINI & ALBUQUERQUE, 2001), como o Arco de Rio Grande, uma estrutura importante na alocação de intrusões alcalinas e diques de diabásio durante o estágio de ativação da Plataforma Sul-Americana (ALMEIDA *et al.* 2000) no Jurássico Superior até o Mioceno. Como há ocorrências, na área de estudo e entorno, de sistemas de fraturas NW preenchidas por diques de diabásio (RIBEIRO *et al.* 1966; RIBEIRO, 1980), pode-se levar em conta a possibilidade das estruturas NW da área de estudo serem correlacionáveis ao Arco de Rio Grande.

Um fator interessante a se dizer é que, segundo Ribeiro *et al.* (1966), há um arqueamento das falhas NE-SW na região da Serra dos Lanceiros, numa região a SE da área de estudo, entre Caçapava do Sul e o Cerrito do Ouro. O "Arqueamento Lanceiros" é de direção NW e caracteriza-se por ocorrências de fraturas NW-SE, posteriores às NE-SW, muitas das quais estão preenchidas por diques de diabásio (RIBEIRO *et al.* 1966).

Portanto, pode-se considerar que nada impede as fraturas NW, da área de estudo, ter sua origem relacionada tanto ao arqueamento da Serra dos Lanceiros, como ao Arco de Rio Grande. Isto pode corroborar com o fato das fraturas NW-SE, em campo, serem posteriores às NE-SW consideradas como relacionadas a um evento anterior.

7.2.3 Estruturas E-W e N-S

Foram identificados sistemas de fraturas E-W na área de estudo bastante frequentes em porções onde há um deslocamento das anomalias magnéticas por lineamentos E-W. Em campo, essas fraturas, muitas vezes, atravessam todo o afloramento (Figura 34). Os diagramas de rosetas mostram maiores frequências dessas fraturas em zonas com deslocamentos E-W nas anomalias (Figura 47). No mapa nas anomalias das Figuras 45 e 47 é interessante notar que há uma zona de transcorrência exatamente onde há um deslocamento E-W bastante marcado nas anomalias. Em campo, identificou-se uma estrutura em flor (Figura 43) que é associada a regimes de transcorrência (CHRISTIE-BLICK & BIDDLE, 1985). Então

pode-se considerar que há um deslocamento E-W nas rochas da área de estudo e que essas fraturas E-W são posteriores às NE-SW e NW-SE, corroborando com o que foi visto em campo, embora nos pontos IM-25 e IM-26 o fraturamento E-W parece ser mais discreto.

As fraturas N-S, no geral, são as mais recentes e menos marcadas. Porém, a sua idade relativa, muitas vezes, não é clara. Pode-se considerar que são as estruturas mais novas na área de estudo a partir das Figuras Figura 40, Figura 41 e Figura 42. Contudo, como existe uma reativação das estruturas NE-SW, torna-se confusa a determinação da idade relativa. No ponto IM-15, há uma grande fratura N-S parcialmente preenchida por um veio de quartzo cortando todo o afloramento, indicando assim sua idade mais recente. Os mapas magnéticos mostram uma fraca influência de lineamentos N-S nas anomalias, o que sugere que as estruturas N-S são provavelmente posteriores àquelas responsáveis por gerar as anomalias na área de estudo. Com relação ao tipo, pode-se considerar que sejam fraturas de tensão, ainda que isto também não seja tão claro.

Embora praticamente sempre se encontrou em campo as fraturas E-W e as N-S como as mais novas, em um raro afloramento encontrou-se uma fratura NW posterior à uma E-W, sugerindo que essa NW pode ser ou logo posterior ou com uma certa contemporaneidade em possível reativação da NW (Figura 35). Mas este caso é a única exceção vista em campo.

7.2.4 Relações de corte e paleotensores

Pode-se considerar que na área de estudo os sistemas de fraturas NE-SW são de cisalhamento e mais antigos e reativados, os sistemas de fraturas NW-SE extensionais e os sistemas E-W transcorrentes e posteriores aos NW-SE. As fraturas N-S podem ser consideradas como as mais recentes. Segundo Ribeiro (1980), as estruturas regionais NE-SW e NW-SE do ESrg são contemporâneas, mais antigas que os granitos do pré-cambriano e atingem o manto superior. Entretanto, na área de estudo, durante as etapas de campo, verificaram-se relações de corte em que é possível considerar que há uma reativação de estruturas (Figura 42). Existe sim um fraturamento NE-SW e NW-SE contemporâneo. Porém, é bastante recorrente sistemas de fraturas NE-SW mais antigos sendo cortados por sistemas de fraturas

NW-SE mais recentes e reativações NE-SW mais recentes do que as fraturas NW-SE.

Deve-se ter cuidado ao considerar-se a contemporaneidade entre as estruturas rúpteis NE-SW e NW-SE. É uma área com várias fases de deformação rúptil, com um fraturamento NE-SW mais antigo, um sistema NW-SE sendo cortado por um sistema E-W, um sistema N-S com sua idade relativa não muito clara e uma reativação das estruturas NE-SW. Portanto, torna-se complicado considerar paleotensores neste caso, pois, em campo, nos pontos visitados, observou-se uma reativação de estruturas e uma deformação rúptil polifásica.

7.3 Integração dos resultados de campo e de sensoriamento remoto

Na área de estudo, a partir do sensoriamento remoto, percebe-se um alinhamento preferencial entre os lineamentos magnéticos e os lineamentos geomorfológicos. Na escala 1:100.000 notam-se lineamentos E-W seccionando as anomalias magnéticas NW (Figura 25). Na escala 1:50.000 é mais claro os deslocamentos das anomalias NW por estruturas E-W, que produzem um efeito "*en echelon*" nas anomalias NW (Figura 26). Quando analisa-se o relevo, percebe-se que morfologias retilíneas, especialmente drenagens e cristas de relevo NW, estão paralelas e sobrepostas às anomalias NW. Portanto, pode-se considerar que é possível uma correlação entre as duas coisas (Figura 27). As anomalias magnéticas podem representar zonas de fissuras visto que em campo foram encontrados um dique máfico (Figura 38), pequenos veios de quartzo e calcita, e uma falha normal (Figura 41) em uma zona onde há picos de anomalia magnética positiva, orientados na direção NW.

Tendo em vista que as anomalias magnéticas ASA de direção NW do ESrg têm como fontes causativas minerais com alta susceptibilidade magnética que compõem os diques máficos NW (MACEDO, 2018), os lineamentos E-W que interferem nas anomalias, na área de estudo, só podem representar sistemas de fraturas E-W obrigatoriamente posteriores às estruturas NW-SE. Se os diques máficos na área de estudo e entorno são estruturas possivelmente associadas ao vulcanismo Serra Geral da Bacia do Paraná (GREGORY *et al.* 2019), as estruturas E-W devem ser imediatamente mais recentes e provavelmente relacionadas às transcorrências decorrentes da abertura do Oceano Atlântico (ALMEIDA, 2006). Em campo foi

identificado uma possível estrutura em flor, caracterizada por um afunilamento visto em perfil (Figura 43), em uma zona onde há deslocamento das anomalias magnéticas por lineamentos E-W. Uma vez que as estruturas em flor são características de zonas de falhas de rejeito direcional (CHRISTIE-BLICK & BIDDLE, 1985), então sim, há um deslocamento E-W nas rochas da área de estudo. Ao observar-se os dados de campo, obtemos relações de corte entre os sistemas de fraturas e a geofísica reflete este comportamento.

Ainda no âmbito do sensoriamento remoto, é possível identificar, de forma menos destacada, deslocamentos NE-SW e N-S nas anomalias magnéticas, em todas as escalas analisadas, na área de estudo. Esses deslocamentos também poderiam estar relacionados, respectivamente, às reativações NE-SW e aos fraturamentos N-S. Através dos dados de campo, as relações de corte entre os sistemas de fraturas permitem concluir que as fraturas N-S e as reativações NE-SW são as estruturas mais recentes e isto pode ser visualizado na geofísica.

Foi encontrado arenito bastante litificado e resistente a marretadas, com um metamorfismo de baixo grau, chamado informalmente de “arenito cozido”, somente em pontos onde é identificada a anomalia magnética NW. Porém, nem todos os arenitos encontrados nas anomalias estavam metamorfizados, ou “cozidos”. Essa rocha foi encontrada em uma área bastante próxima ao contato entre as rochas sedimentares e as rochas metamórficas e próximas a uma zona cataclástica NE. Segundo Ribeiro *et al.* (1966), em um grau avançado da diagênese da “Formação Maricá”, ocorreram, principalmente, processos de calcificação e silicificação, o que torna as rochas muito resistentes ao intemperismo. Ribeiro *et al.* (1966) também atestam que esta rocha “cozida” é visualizada em contato com o Complexo Granítico de Lavras do Sul, formando uma auréola conurbianítica, ocasionando a sua silicificação e endurecimento. Não se pode considerar o “cozimento” dessa rocha encontrada na área de estudo tendo origem somente ao calor devido à intrusão dos diques máficos. Sendo assim, o “cozimento” dessa rocha deve ser mais antigo do que os diques máficos alimentadores do vulcanismo do Serra Geral. Esse arenito já deveria estar previamente metamorfizado. Porém, apesar das ressalvas, nada impede desse processo metamórfico ter alguma componente associada aos diques máficos, na área de estudo.

Pode-se considerar que a partir dos resultados obtidos, através de revisão bibliográfica, dos trabalhos de campo e de sensoriamento remoto, foi possível obter

um maior detalhamento da tectônica rúptil de uma porção do ESrg. As anomalias magnéticas principais de direção NW da área de estudo representam sistemas de fraturas de abertura NW, preenchidas por diques e veios, sendo deslocadas por sistemas de fraturas transcorrentes E-W mais recentes. Como as zonas de fraturas NW estão preenchidas por diques possivelmente alimentadores do vulcanismo Serra Geral, da Bacia do Paraná, os deslocamentos E-W seriam estruturas posteriores e associadas à influência das transcorrentes da abertura do Oceano Atlântico. Assim considera-se que as reativações NE-SW e o fraturamento N-S um evento posterior ao magmatismo e ao fraturamento E-W, quando o oceano já estava formado e o vulcanismo do Serra Geral já consolidado.

Um tema que pode ser discutido por trabalhos posteriores é a idade relativa do Arco de Rio Grande. Como é uma estrutura que soergue unidades do embasamento e da Bacia do Paraná, conforme é comumente referido na literatura (*e.g.* ALMEIDA *et al.* 2000), a Bacia do Paraná deveria, portanto, já existir. O Arco de Rio Grande deve ser uma estrutura mais jovem que a Bacia do Paraná e, ao longo da formação das rochas vulcânicas do Serra Geral, as fraturas pré-existentes, principalmente de direção NW, foram sendo preenchidas por diques alimentadores deste grande vulcanismo, conhecido como LIPs (Grandes Províncias Ígneas).

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da revisão bibliográfica, estudos de sensoriamento remoto e dados de campo, considera-se que, na área de estudo:

- Existe uma correlação entre os alinhamentos magnéticos e morfológicos;
- A partir do sensoriamento remoto, há o predomínio de fraturas NE-SW, e em seguida, dos NW-SE em todas as escalas analisadas. Existe uma maior importância dos lineamentos E-W e N-S na área de estudo do que é visto na bibliografia;
- Em campo, as fraturas NW-SE são extensionais, as fraturas NE-SW são de cisalhamento com cinemática sinistral em alguns pontos, e as fraturas E-W são associadas à transcorrências;
- As relações de corte mostram que as fraturas NE-SW são mais antigas que as fraturas NW-SE e o fraturamento E-W é mais recente que o NW-SE. Há uma reativação NE-SW mais recente que as fraturas NW e fraturas N-S são as estruturas mais novas;
- Fraturas NW-SE são mais frequentes nas anomalias magnéticas e fora da mesma, perdem importância.
- As anomalias magnéticas NW representam zonas de fissuras NW preenchidas por diques máficos;
- Os deslocamentos E-W das anomalias magnéticas são verificados em campo e são estruturas posteriores às NW-SE;
- Pode ser discutível se as fraturas NW-SE podem ser pré-existentes desde o Neoproterozoico e reativadas durante o estágio de ativação da Plataforma Sul-Americana.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F. F. M. de, *et al.* 1977. **Províncias Estruturais Brasileiras**. Atas do VIII Simpósio de Geologia do Nordeste, Campina Grande, p.363-391.
- ALMEIDA, F. F. M. de, *et al.* Brazilian structural provinces: an introduction. **Earth-Science Reviews**, v. 17, n. 1, p. 1-29, 1981.
- ALMEIDA, F. F. M. de; BRITO NEVES, B. B. de; CARNEIRO, C. D. R. The origin and evolution of the South American Platform. **Earth-Science Reviews**, v. 50, n. 1-2, p. 77-111, 2000.
- ALMEIDA, F.F.M. de. 2006. Ilhas oceânicas brasileiras e suas relações com a tectônica atlântica. **Terræ Didática**, 2(1):3-18.
- ASF – ALASKA SATELLITE FACILITY. Disponível em: <https://www.asf.alaska.edu/>
Data de acesso: 16 de fevereiro de 2019.
- ASMUS, H.; BAISCH, P. R. Geological evolution of the Brazilian continental margin. **Episodes**, v. 4, 1983.
- BICCA, M. M. **Tectônica e Proveniência do Grupo Santa Bárbara, Região de Minas do Camaquã-RS**. Dissertação de Mestrado. Porto Alegre: Instituto de Geociências, UFRGS. 130 f., 2013
- BORBA, A. W. de. **Evolução geológica da "Bacia do Camaquã" (Neoproterozóico e Paleozóico inferior do Escudo Sul-Riograndense, RS, Brasil): uma visão com base na integração de ferramentas de estratigrafia, petrografia e geologia isotópica**. Tese de Doutorado. Porto Alegre: Instituto de Geociências, UFRGS. 109 f., 2006.
- BORSSATTO, K. **Prospecção geofísica em depósito de ouro filoniano na região de Cerrito do Ouro, São Sepé-RS**. Dissertação de mestrado. Rio Claro: Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista. 50 f., 2018.
- CAMOZZATO, E.; TONIOLO, J. A.; LAUX, J. H. Metalogênese do Cinturão Dom Feliciano e fragmentos paleocontinentais associados (RS/SC). *In*: SILVA, M. G *et al.* (Orgs.). **Metalogênese das Províncias Tectônicas Brasileiras**, Serviço Geológico do Brasil-CPRM, Belo Horizonte, p. 517-556. 2014.
- CASTRO, A. M. de. **Análise estrutural do Granito Cerro da Cria, São Sepé – RS**. 2016. 67 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Geologia, Universidade Federal do Pampa, Caçapava do Sul, 2016.
- CHEMALE Jr., F.; HARTMANN, L. A.; SILVA, L.C. Stratigraphy and tectonism of the Brasiliano Cycle in southern Brazil. **Communications of the Geological Survey of Namibia**, v. 10, p. 151-166, 1995.
- CHEMALE Jr., F. Evolução Geológica do Escudo Sul-rio-grandense. *In*: Holz, M. & De Ros, L.F. (Ed.). **Geologia do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, CIGO/UFRGS. p.13-52, 2000.

CHRISTIE-BLICK, N.; BIDDLE, K. T. Deformation and basin formation along strike-slip faults. *In*: Biddle, K.T. & Christie-Blick, N. (eds) **Strike-slip Deformation, Basin Formation, and Sedimentation**. Soc. Econ. Pal. Mineral. Spec. Pub. 37, 1–35. 1985.

COMPANHIA DE PESQUISA EM RECURSOS MINERAIS – CPRM, 2005. **Mapa Hidrogeológico do Estado do Rio Grande do Sul 1:750.000**. Disponível em: <http://geosgb.cprm.gov.br/geosgb/downloads.html>. Acesso em maio de 2019.

COSTA, V. H. H. **Contribuição geofísica ao estudo de parte do terreno São Gabriel–Escudo Sul-riograndense, Rio Grande do Sul–Brasil**. 2016. 127 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Geofísica. Universidade Federal do Pampa, 2016.

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

FAÉ, Y. A.; GREGORY, T. R.; GUADAGNIN, F. **Investigação de Lineamentos Magnéticos no Rio Grande do Sul: Um Estudo Preliminar**. 9º SIEPE, Universidade Federal do Pampa, 2017.

FERNANDES, L.A.D. *et al.* 1995b. Evolução Tectônica do Cinturão Dom Feliciano no Escudo Sul-rio-grandense: Parte I - uma contribuição a partir do registro geológico. **Revista Brasileira de Geociências**, 25(4): 351-374.

FERNANDES, L.A.D. *et al.* 1995a. Evolução Tectônica do Cinturão Dom Feliciano no Escudo Sul-rio-grandense: Parte II - uma contribuição a partir das assinaturas geofísicas. **Revista Brasileira de Geociências**, 25(4): 375-384.

FERREIRA, R. U. R. **Contribuição de dados aeromagnéticos para o estudo do complexo granítico Caçapava do Sul**. 2016. 53 p. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Geofísica, Universidade Federal do Pampa, Caçapava do Sul, 2016.

FOSSSEN, H. **Structural Geology**. 1. ed. Cambridge: University Press, 2010. 361 p.

FOSSSEN, H. **Geologia Estrutural**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012. 575 p.

FRAGOSO-CESAR, A. R. S. *et al.* The Camaquã extensional basin: Neoproterozoic to early Cambrian sequences in southernmost Brazil. **Revista Brasileira de Geociências**. 30(3):442-445, 2000.

GASTAL, M. C.; FERREIRA, F.J.F. Discussão dos processos de construção do complexo granítico São Sepé, RS: feições geológicas e petrográficas. **Pesquisas em Geociências**, v. 40, n. 3, p. 233-257, 2013.

GILLESPIE, P. A., *et al.* 1993. Measurement and characterisation of spatial distributions of fractures. **Tectonophysics**, 226(1-4), 113-141.

GREGORY, T. R.; GUADAGNIN, F. Projeto de pesquisa: **Investigação de Lineamentos Magnéticos no Rio Grande do Sul**. Unipampa, Campus Caçapava do Sul, 2017.

GREGORY, T. R. *et al.* **Significado de lineamentos magnéticos no Escudo sul-rio-grandense**: resultados preliminares. *In*: XVII Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos, XI International Symposium on Tectonics, XI Simpósio Sul-brasileiro de Geologia. 26 a 29 de maio de 2019 – Bento Gonçalves, RS.

GUBERT, M. L.; PHILIPP, R. P.; BASEI, M. A. S. The Bossoroca Complex, São Gabriel Terrane, Dom Feliciano Belt, southernmost Brazil: UPb geochronology and tectonic implications for the neoproterozoic São Gabriel Arc. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 70, p. 1-17, 2016.

HARTMANN, L.A., CHEMALE Jr., F. & PHILIPP, R.P. Evolução Geotectônica do Rio Grande do Sul no Pré Cambriano. *In*: Iannuzzi, R. & Frantz, J.C. (eds.). **50 Anos de Geologia**. Instituto de Geociências. Contribuições. Porto Alegre, Comunicação e Identidade, p. 97- 123, 2007.

HARTMANN, L. A.; LOPES, W. R.; SAVIAN, J. F. **Integrated evaluation of the geology, aerogamaspectrometry and aeromagnetometry of the Sul-Riograndense Shield, southernmost Brazil**. Anais da Academia Brasileira de Ciências, v. 88, n. 1, p. 75-92, 2016.

HASENACK, H.; WEBER, E.(org.) Base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul - escala 1:50.000. Porto Alegre: UFRGS Centro de Ecologia. 2010. 1 DVD-ROM. (Série Geoprocessamento n.3). **ISBN 978-85-63483-00-5** (livreto) e **ISBN 978-85-63843-01-2** (DVD).

HEILBRON, M. *et al.* 2004. Província Mantiqueira. *In*: Mantesso-Neto, V., Bartorelli, A., Carneiro, C.D.R., Brito Neves, B.B. (Eds.), **Geologia do Continente Sul-Americano**: evolução da obra de Fernando Flavio Marques de Almeida. Ed. Basher, p. 203–235.

JANIKIAN, L. *et al.* Redefinição do Grupo Bom Jardim (Neoproterozoico III) em sua área-tipo: litoestratigrafia, evolução paleoambiental e contexto tectônico. **Revista Brasileira de Geociências**. 33(4): 349-362, 2003.

JOST, H.; FRANTZ, J. C.; BROD, J. A. **Revisão da tipologia, cronologia e significado geotectônico dos falhamentos do Escudo Sul-Rio-Grandense**. Cong Bras Geol, v. 33, p. 1707-1720, 1984.

KEAREY, P.; BROOKS, M & HILL, I. **Geofísica de Exploração**. Tradução Maria Cristina Moreira Coelho. São Paulo: Oficina de Textos. Título original. An Introduction to geophysical exploration. p. 272-312 e 391-398. 2009.

LASA PROSPECÇÕES S. A. **Relatório final do levantamento e processamento dos dados magnetométricos e gamaespectrométricos**. Programa Geologia do Brasil (PGB). Projeto Aerogeofísico Escudo do Rio Grande do Sul. Volume 1, 83 p. Texto técnico, 2010.

- LIÉGEOIS, J. P. Some words on the post-collisional magmatism. **Lithos**, v. 45, p. 15-18, 1998.
- LOWRIE, W. **Fundamentals of Geophysics**. 2nd ed. New York, Cambridge University, 2007.
- MACEDO, R. A. M. de. **Significado geológico de uma anomalia geofísica magnética no escudo sul-rio-grandense**. 2018. 45 p. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Geologia, Universidade Federal do Pampa, Caçapava do Sul, 2018.
- MACHADO, N.; KOPPE, J. C.; HARTMANN, L. A. A late Proterozoic U-Pb age for the Bossoroca Belt, Rio Grande do Sul, Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 3, n. 2-3, p. 87-90, 1990.
- MATTOS, I. C.; MEXIAS, A. S.; FORMOSO, M. L. L. Alteração hidrotermal a SW do complexo granítico São Sepé-São Sepé/RS. **Geochimica Brasiliensis**, v. 18, n. 1, p. 12-27, 2004.
- MCCLAY, K. **The mapping of geological structures**. John Wiley & Sons, 1987. 161 p.
- NABIGHIAN M. N. 1972. The analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section: Its properties and use for automated anomaly interpretation. **Geophysics**, 37(3): 507-517.
- NABIGHIAN M. N. 1974. Additional comments on the analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section. **Geophysics**, 39(1): 85-92.
- O'LEARY, D.W.; FRIEDMAN, J. D.; POHN, H. A. **Lineament, linear, lineation: some proposed new standards for old terms**. GSA Bulletin, v. 87, p. 1463 - 1469, 1976
- ORTEGA, O.; MARRETT, R.; LAUBACH, S. **A scale-independent approach to fracture intensity and average spacing measurement**. AAPG bulletin. Estados Unidos, V. 90, P.193-208, 2006.
- PAIM, P. S. G.; CHEMALE JR, F.; WILDNER, W. Estágios evolutivos da Bacia do Camaquã (RS). *In*: **Ciência e Natura**, v. 36, n. 3, p. 183-193, 2014.
- PAIM, P. S. G.; LOPES, R. C.; CHEMALE Jr., F. **Aloestratigrafia, sistemas deposicionais e evolução paleogeográfica da Bacia do Camaquã - Vendiano Superior/Ordoviciano Inferior do RS**. Porto Alegre: 6º Simpósio Sul-brasileiro de Geologia/1º Encontro de Geologia Cone Sul, p.39-46, 1995.
- PAIM, P. S. G.; LOPES, R. C.; CHEMALE Jr., F. A Bacia do Camaquã. Porto Alegre: **Geologia do Rio Grande do Sul**, p. 231-274, 2000.
- PEACOCK, D.C.P. *et al.* Glossary of fault and other fracture networks. **Journal of Structural Geology**, v. 92, p.12-29, 2016.

PELOSI, A. P. M. R.; FRAGOSO-CESAR, A. R. S. Proposta litoestratigráfica e considerações paleoambientais sobre o Grupo Maricá (Neoproterozóico III), Bacia do Camaquã, Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Geociências**. 33(2):137-148, 2003.

PELOSI, A. P. M. R. **Evolução paleogeográfica do Grupo Maricá, Neoproterozóico pré-600 Ma do Rio Grande do Sul**. Tese de Doutorado. 165 p. São Paulo: Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 2005.

PHILIPP, R. P.; PIMENTEL, M. M.; CHEMALE JR, F. Tectonic evolution of the Dom Feliciano Belt in southern Brazil: Geological relationships and U-Pb geochronology. **Brazilian Journal of Geology**, v. 46, p. 83-104, 2016.

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.

PINTO, V. *et al.* **Geology, ore characterization and fluid inclusions study of gold deposits from the Campestre Formation, southernmost Brazil**. Simposio de Minería y Desarrollo del Cono Sur. Montevideo, Uruguay. 2013.

PINTO, J. G. **Utilização aerogeofísica para correlação geológica no município de São Sepé-RS**. 2017. 70 p. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Geologia, Universidade Federal do Pampa, Caçapava do Sul. 2017.

PRIEST, S. D.; HUDSON, J. A. Discontinuity spacings in rock. *In: International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*. Pergamon, 1976. p. 135-148.

PRIEST, S. D.; HUDSON, J. A. Estimation of discontinuity spacing and trace length using scanline surveys. *In: International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*. Pergamon, 1981. p. 183-197.

QGIS 2.18.19 Essen – Projeto Código Aberto Geospacial Foundation. Disponível em: <http://qgis.osgeo.org>

QUEIROZ, G. L.; SALAMUNI, E.; DO NASCIMENTO, E. R. AzimuthFinder: ferramenta para a extração de dados e apoio na análise estrutural. **Geologia USP**. Série Científica, v. 14, n. 1, p. 69-80, 2014.

REMUS, M. V. D. *et al.* 1999. Gold in the Neoproterozoic juvenile Bossoroca Volcanic Arc of southernmost Brazil: isotopic constraints on timing and sources. **Journal of South American Earth Sciences**, 12(4), 349-366.

RIBEIRO, M.; BOCCHI, P. R.; FIGUEIREDO, F. P. M. 1966. **Geologia da quadrícula de Caçapava do Sul, Rio Grande do Sul – Brasil**. Boletim do D.N.P.M., 127.

RIBEIRO, M. 1980. **Geossuturas do escudo do Rio Grande do Sul**. *In: Congresso Brasileiro de Geologia*. p. 2709-2178.

ROEST, W. R., VERHOEF, J., PILKINGTON, M. 1992. Magnetic interpretation using the 3-D analytic signal. **Geophysics**. vol. 57, 116–125

ROMANINI, S. J.; ALBUQUERQUE, L. F. F. de. **Geological, Geochemical and Potentiality Aspects of Ni-Cu-Pge Deposits of the Paraná Basin Magmatism**. Informe de Recursos Minerais Série Metais do Grupo da Platina e Associados, nº 29. Porto Alegre: CPRM, 2001.

SAKLANI, P. S. **Glossary of Structural Geology and Tectonics**. Satish Serial Publishing House, 2008. ISBN: 81-89304-44-5.

SILVA, M. A. *et al.* 2018. Geophysical prospection in tin mineral occurrence associated to greisen in granite São Sepé (RS). **REM-International Engineering Journal**, 71(2), 183-189.

SOARES, M. S. **Processamento e interpretação de dados aerogeofísicos magnetométrico e gamaespectrométricos no estudo do controle das mineralizações auríferas na região do Complexo Bossoroca, São Sepé, RS**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais. 2001.

SOARES, M. D. S. *et al.* Interpretação das anomalias de potássio hidrotermal e parâmetro F da região do Complexo Bossoroca, São Sepé, RS. **Rem: Revista Escola de Minas**, v. 57, n. 1, p. 39-44, 2004.

TELFORD, W. M; GELDART, L. P.; SHERIFF, R. E. **Applied geophysics**. Cambridge university press, 1990.

TESSARI, R. I.; PICADA, R. S. **Geologia da quadrícula de Encruzilhada do Sul**. Divisão de Fomento da Produção Mineral, 1966.

TORABI, A.; ALAEI, B.; ELLINGSEN, T. S. S. Faults and fractures in basement rocks, their architecture, petrophysical and mechanical properties. **Journal of Structural Geology**, v. 117, p. 256-263, 2018.

TRAVASSOS, R. P. **Interpretação estrutural regional do Escudo Sul-rio-grandense - Rio Grande do Sul - Brasil, com base em aeromagnetometria**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Brasília (UNB), Instituto de Geociências - IG 2014.

TWISS, R. J.; MOORES, E. M. **Structural Geology**. 2ª. ed. New York, USA: W.H. Freeman and Company, 2007. 711 p.

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.

WATKINS, H., *et al.* 2015. Appraisal of fracture sampling methods and a new workflow to characterise heterogeneous fracture networks at outcrop. **Journal of Structural Geology**, 72, 67-82.

WILDNER, W. **Caracterização geológica e geoquímica das sequências ultramáficas vulcano-sedimentares da região da Bossoroca, RS.** Dissertação de Mestrado. p. 215. Porto Alegre: Instituto de Geociências, UFRGS. 1990.

WILDNER, W. *et al.* **Geologia e recursos minerais do estado do Rio Grande do Sul:** escala 1:750.000. Porto Alegre: CPRM, 2007. 1 DVD-ROM. Programa Geologia do Brasil; Mapas Geológicos Estaduais.

ZEEB, C. *et al.* 2013. **Evaluation of sampling methods for fracture network characterization using outcrops.** AAPG bulletin, 97(9), 1545-1566.