

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

SAULO LOPES DA SILVA

**ANÁLISE E MODELAGEM ESTRUTURAL DO DEPÓSITO DE COBRE DO
ANDRADE, CAÇAPAVA DO SUL - RS**

Caçapava do Sul

2019

SAULO LOPES DA SILVA

**ANÁLISE E MODELAGEM ESTRUTURAL DO DEPÓSITO DE COBRE DO
ANDRADE, CAÇAPAVA DO SUL - RS**

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

Orientador: Prof. Dr. Felipe Guadagnin

Co-orientadora: Me. Sissa Kumaira

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).

S586a Silva, Saulo Lopes da
ANÁLISE E MODELAGEM ESTRUTURAL DO DEPÓSITO DE COBRE DO
ANDRADE, CAÇAPAVA DO SUL - RS / Saulo Lopes da Silva.
64 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade
Federal do Pampa, GEOLOGIA, 2019.
"Orientação: Felipe Guadagnin".

1. Depósito Andrade. 2. Cobre. 3. Modelagem geológica. 4.
Deformação dúctil. I. Título.

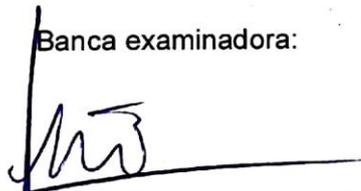
SAULO LOPES DA SILVA

**ANÁLISE ESTRUTURAL E MODELAGEM GEOLÓGICA DO DEPÓSITO DE
COBRE DO ANDRADE, CAÇAPAVA DO SUL - RS**

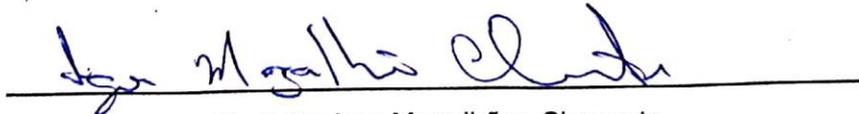
Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Geologia da
Universidade Federal do Pampa, como
requisito parcial para obtenção do Título de
Bacharel em Geologia.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em 10 de dezembro de 2019

Banca examinadora:



Prof. Dr. Felipe Guadagnin
Orientador
(UNIPAMPA)



Prof. Dr. Igor Magalhães Clemente
(UNIPAMPA)



Prof. Dr. Tiago Rafael Gregory
(UNIPAMPA)

Dedico este trabalho a minha avó Dulcelina, cujo exemplo de amor e carinho transcende as fronteiras do céu.

AGRADECIMENTOS

Aqueles que me presentaram com a vida, agradeço por cada palavra, gesto, puxão de orelha, conselho e amor imensurável que me deram. Pai e Mãe, amo vocês tão tão lá no céu.

A minha amada e linda irmã Giovana, obrigado por me ajudar a crescer e evoluir junto com você.

Parafraseando Baruch Espinoza, de que Deus e Natureza são sinônimos, agradeço a essa força maior que me instiga sempre a ser uma pessoa melhor.

Agradeço a parceria desenvolvida pelos integrantes da 3ª turma de Geologia da Unipampa. Em especial aos amigos que amo, Hernanes (baleião), Ronisson (lobisomi), Ricardo (Jesus), Pedro (pedroka), Fernanda (Fernandonha), Ana (viadona) e Jorge (tico).

Agradeço a todos aqueles que dividiram o mesmo teto comigo na República Panta Rhei e em outras moradas ao longo desses anos, em especial a Paula (paulinha), Alexandre (godão), Rafael (Tody) e Maciel (talibã). Conviver com tantas pessoas diferentes foi uma das melhores e mais construtivas experiências de habitar nos Pampas Gaúchos.

Aos “geoloucos” da gruta oeste, Pedro Manhães e aquele que chamo carinhosamente de meu filho, Rennan Cardoso.

A família Morales, Pepo, Márcia e Bia, obrigado pela amizade e acolhimento que me deram em Caçapava e no Chile, espero tê-los sempre em minha vida.

As meninas Anna e Priscila, pelos momentos compartilhados.

Pelo respeito a profissão e os ensinamentos passados, agradeço aos professores da UNIPAMPA por todo saber compartilhado. Em especial ao meu orientador Felipe Guadagnin (Guada) por toda sabedoria e experiência passada e pela parceria desenvolvida. A minha querida co-orientadora Sissa Kumaira, das alturas dos céus nos voos de DRONE ao estudo em microscópio estivemos juntos. Valeu Guada, valeu Sissa.

A empresa Águia Metals por permitir meu acesso a área de estudo e ao caseiro das terras seu Juraci, por sempre me receber com a maior das hospitalidades durante os trabalhos de campo.

Por fim, agradeço a Caçapava do Sul. Onde tive momentos indescritíveis com as amizades desenvolvidas e fortalecidas pelo amor as rochas, e por todas as coisas

vivas. Me acolhendo um garoto cheio de certezas e agora me despeço um jovem carregado de incertezas, feliz e ansioso pelos caminhos a serem explorados.

“Você não sente nem vê
Mas eu não posso deixar de dizer, meu amigo
Que uma nova mudança em breve vai acontecer
E o que há algum tempo era jovem e novo, hoje é antigo
E precisamos todos, todos rejuvenescer...”

Belchior

RESUMO

O depósito de cobre do Andrade está inserido nas rochas metavulcanossedimentares do Complexo Metamórfico Passo Feio, compondo parte do Escudo Sul-riograndense, na porção central do Rio Grande do Sul. A gênese desse depósito é associada com a percolação de fluidos magmáticos provenientes da intrusão do Complexo Granítico Caçapava do Sul, que lixiviou metais bases das encaixantes hospedando-os em fraturas tardias. Dessa forma, admite-se um controle essencialmente estrutural para a mineralização cuprífera. O cobre é um *comodities* que está em ascensão no mercado mundial, sendo objeto de interesse para Caçapava do Sul e região. O trabalho visou a construção de um modelo geológico-estrutural 3D da face oeste do cerro do Andrade, onde localiza o depósito do Andrade. O modelo estrutural foi elaborado com dados dos 252 pontos obtidos em campo e com o modelo virtual de afloramento gerado através da metodologia *Structure from Motion–Multi-view Stereo*. O modelo estrutural compõe 7 perfis estruturais, elaborados através do método *kink-band*, uma das ferramentas operacionais do *software* MOVE™. Com esse método foi possível modelar as dobras de maior amplitude do depósito e analisar seus aspectos estruturais. Além dos perfis foram confeccionadas 4 lâminas delgadas para estudo microestrutural. Foram identificados indicadores cinemáticos de sombras de pressão, pares S-C e mica-*fish* com cinemática anti-horária. Em campo, as dobras de mesoescala são assimétricas com vergência principalmente para SW. O ângulo interlimbo é alto e as dobras são classificadas como suave a fechadas. A análise dos perfis estruturais demonstrou características semelhantes as estruturas vistas em campo, apresentando dobras com vergência para SW. A localização dos pontos mineralizados sugere uma tendência direcional similar a dos eixos das dobras. Integrando as informações geradas, é sugerido que a hospedagem da mineralização na parte superficial do depósito além de possuir um forte controle rúptil, também é controlada pela deformação dúctil.

Palavras-Chave: Depósito Andrade; Cobre; Modelagem geológica; Deformação dúctil.

ABSTRACT

The Andrade's copper deposit is inserted in the Passo Feio Metamorphic Complex metavolcanosedimentary rocks, composing part of the Sul-riograndense Shield, in the central area of the Rio Grande do Sul state. The genesis of this deposit is associated with the magmatic fluid percolation from the Caçapava do Sul Granitic Complex intrusions, which leached the base metals from the enveloped rock bodies and relocating these metals in later fractures. Therefore, an essential structural control for this copper mineralization is admitted. The copper mineral is a commodity which is in economic growth in the world market, and also a mineral of interest in the city of Caçapava do Sul and the regions around. The present research aimed for a structural-geologic 3D modeling of the west face of the Cerro do Andrade, where the Andrade deposit is located. The structural model was elaborated by 252 mapping point's data obtained in the fieldwork and a virtual outcrop model generated by Structure from Motion–Multi-View Stereo methods. The model shows seven structural sections, made by the kink-band method, which is one of the operating tools of the software MOVE™. In this method, the software was able to generate a model for the highest amplitude folds found in the deposit and to analyze its structural aspect. Along with the geological profile, four thin sections were made for microstructural analyses. Kinematic indicators of shadow pressure, S-C pairs and mica-fish occur and are counter-clockwise kinematic. In the field, it was analyzed that the mesoscale folds have a vergence asymmetry mainly into SW direction with interlimb angle tending from gentle to close. The structural profile analysis proved similar characteristics with the structures seen in the field, showing folding with vergence to SW. With all the given information, it is proposed that the relocated mineralization on the upper portion of the deposit was produced not only by an intense brittle control but also by ductile deformation.

Keywords: Andrade Deposit; Copper; Geologic Modeling; Ductile Deformation

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da área de estudo.	21
Figura 2 - Compartimentação geotectônica do esrg	24
Figura 3 - Geologia local. a área de estudo está inserida no CMPF, próximo ao contato oeste com o CGCS.....	26
Figura 4 - Exemplo de formação de sombras de pressão.....	30
figura 5 - Exemplo de formação de pares s-c.....	31
Figura 6 - Exemplo de formação de mica- <i>fish</i>	31
Figura 7 - Deslocamentos devido à paralaxe em fotografias verticais.....	33
Figura 8 - Linhas de voo com os planos em azul representando a posição da câmera ao obter as imgs. a) Visão geral. b) Vista aproximada.	35
Figura 9 - Esquema mostrando formação dos triângulos na geração da malha e posterior texturização.	36
Figura 10 - a) Foto das rochas aflorantes. b) Foto da trincheira.	37
Figura 11 - Exemplo de como coletar medidas estruturais utilizando bússola tipo brunton..	38
Figura 12 - Exemplo de como retirar amostra orientada.	38
Figura 13 - Corte da amostra para confecção de lâmina. a) Amostra em processo de corte; b) Amostra serrada e c) Amostra serrada com retângulo indicando local de confecção da lâmina.	39
Figura 14 - Mapa com os perfis traçados.....	40
Figura 15 - Nuvem esparsa de pontos produzida após o procedimento de alinhamento das imagens aéreas.	41
Figura 16 - Nuvem densa de pontos produzida após o processo de densificação.	41
Figura 17 - Malha triangulada.	42
Figura 18 – Modelo virtual do afloramento mostrando a malha triangulada texturizada.	42
Figura 19 – Pontos visitados em campo sobrepostos ao modelo digital de superfície.	43
Figura 20 - Estereograma com os polos e contorno da foliação metamórfica (252 medidas; hemisfério inferior/igual área; rede de schimidt).	44
Figura 21 – Fotografias de campo mostrando a geometria da foliação. a) Amostra de mão mostrando a foliação anastomosada (ponto 3). b) Dobra assimétrica com movimento anti-	

horário (ponto 121). c) Estiramento mineral em grãos de feldspato, caneta demonstrando o plunge da estrutura (ponto 3).	44
Figura 22 - Estereograma ilustrando os eixos e os planos axiais das dobras identificadas em campo. a seta vermelha indica a vergência das dobras para sw.	45
Figura 23 – Fotografias de campo do ponto 110 mostrando a relação dos veios com as estruturas das rochas que contem mineralizações na área de estudo. a) Afloramento com estruturas preenchidas por veios, em b) Detalhe da zona venulada. c) Zona mineralizada localizada ao lado da figura a). d) Estrutura mostrando deformação em regime dúctil–rúptil.	46
Figura 24 – Fotografias de campo do ponto 122 mostrando a concentração de minérios ao longo da zona de charneira das dobras. a) Dobra assimétrica. b) Detalhe da zona de charneira da dobra. c) Visão do eixo da dobra contendo mineralização de malaquita.....	47
Figura 25 – Fotografias de campo do ponto 178 mostrando a localização das trincheiras e galeria ao longo da zona de charneira das dobras. a) Entrada da galeria com símbolos representando a direção de mergulho da foliação. b) Imagem da mineralização concordante com os planos da foliação. c) Imagem da trincheira aberta ao longo do plano axial de uma dobra.	48
Figura 26 - Porfiroclasto de feldspato com foliação reliquiar, 10x. a) luz polarizada. b) luz natural.	48
Figura 27 - Clivagem de crenulação, 5x. a) Luz natural e em b) Luz polarizada.....	49
Figura 28 – Fotomicrografias das estruturas identificadas nas lâminas. a) Sombra de pressão em grão de feldspato com assimetria nas caudas demonstrando movimento sinistral, 5x, luz natural e em b) Luz polarizada. c) Pares s-c demonstrando cinemática sinistral, 5x, luz natural e em d) luz polarizada. e) Muscovita com estrutura tipo mica- <i>fish</i> demonstrando cinemática sinistral, 10x, luz natural e em f) luz polarizada.	50
Figura 29 - Visualização 3d das seções geológicas 2d. a rosa dos ventos indica a direção do norte (seta vermelha). de norte para sul são mostrados as seções 1, 2, 3, 4, 5 e 6. a seção 7 é mostrada de forma oblíqua as demais seções.	51
Figura 30 - Seção geológica 1 produzida pela projeção das estruturas de campo e a aplicação do método kink-band.....	52

Figura 31 - Seção geológica 2 produzida pela projeção das estruturas de campo e a aplicação do método <i>kink-band</i>	52
Figura 32 - Seção geológica 3 produzida pela projeção das estruturas de campo e a aplicação do método <i>kink-band</i>	53
Figura 33 - Seção geológica 4 produzida pela projeção das estruturas de campo e a aplicação do método <i>kink-band</i>	54
Figura 34 - Seção geológica 5 produzida pela projeção das estruturas de campo e a aplicação do método <i>kink-band</i>	54
Figura 35 - Seção geológica 6 produzida pela projeção das estruturas de campo e a aplicação do método <i>kink-band</i>	55
Figura 36 - Seção geológica 7 produzida pela projeção das estruturas de campo e a aplicação do método <i>kink-band</i>	56
Figura 37 - Mapa mostrando a localização dos pontos mineralizados.	57
Figura 38 – Representação 3d da seção geológica 7 com os pontos mineralizados inseridos no modelo. setas indicando tendência direcional da posição dos pontos mineralizados.	57
Figura 39 -Representação 3d da seção geológica 1 e 4. a) Seção 1 com pontos mineralizados próximo as charneiras das dobras. b) Seção 4 ilustrando a mesma situação que a seção 1. .	58

LISTA DE ABREVIATURAS

CGCS - Complexo Granítico Caçapava do sul

CMPF - Complexo Metamórfico Passo Feio

ESrg - Escudo Sul-riograndense

MDT - Modelo digital de terreno

MVA – Modelo virtual de afloramento

MVS – Multi-view Stereo

SfM - Structure from motion

VANT - Veículo aéreo não tripulado

SUMÁRIO

1 – INTRODUÇÃO	17
2 – OBJETIVOS	18
2.1 - Geral.....	18
2.2 – Específicos	18
3 – JUSTIFICATIVA	19
4 - ÁREA DE ESTUDO	20
4.1 - Localização.....	20
4.2 - Histórico mineral do cobre no RS	20
4.3 - Província Cuprífera de Caçapava do Sul.....	22
4.4 - Depósito Andrade	22
4.5 - Mineralização no depósito Andrade.....	23
5 - CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL	24
6 - CONTEXTO GEOLÓGICO LOCAL	25
6.1 - Complexo Metamórfico Passo Feio.....	26
6.2 - Complexo Granítico Caçapava do Sul.....	27
7 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	27
7.1 - Geologia estrutural	28
7.1.1 – Análise estrutural	28
7.1.2 – Microestruturas	29
7.2 - Modelagem geológica.....	31
7.2.1 – Fotogrametria.....	32
7.2.2 – <i>Structure from Motion–Multi-view Stereo</i>	33
8 – MATERIAS E MÉTODOS	33
8.1 – Geração do MVA	34
8.1.1 - Aquisição das imagens.....	34
8.1.2 – Edição.....	35
8.1.3 – <i>Structure from Motiom</i> (alinhamento).....	35
8.1.4 – Multi View Stereo (densificação).....	35
8.1.5 – Construção da malha triangulada texturizada.....	36
8.1.6 – Construção do Modelo Digital de Superfície e Ortofotomosaico.....	36
8.2 – Aquisição de dados de campo	36
8.2.1 – Coleta da atitude das estruturas geológicas	37

8.2.2 – Coleta de amostras.....	38
8.3 – Confeção de lâminas delgadas.....	39
8.4 – Geração do Modelo Geológico	39
9 – RESULTADOS	40
9.1 – Modelo Virtual de Afloramento.....	40
9.2 – Análise das estruturas geológicas observadas em campo	42
9.3 – Análise Microestrutural	47
9.4 – Modelagem geológica.....	51
10 – DISCUSSÃO DOS RESULTADOS E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	58
REFERÊNCIAS	60

1 – INTRODUÇÃO

A porção central do estado do Rio Grande do Sul, em particular o Escudo Sul-Rio-grandense (ESrg), apresenta uma grande diversidade geológica, inclusive com a presença de diversas concentrações metálicas (RIBEIRO, 1978), fruto de sucessões de eventos tectônicos que ocorreram ao longo do tempo geológico (HARTMANN *et al.*, 2007). Caçapava do Sul é reconhecida no cenário nacional de produção de cobre, já que no decorrer do século passado chegou a ser a maior produtora de cobre do país (HARRES, 1999). Este cenário se verifica na medida em que grandes empresas estão em fase de implantação de atividades de mineração, enquanto outras continuam realizando trabalhos de pesquisa e prospecção mineral, com várias ocorrências minerais por serem melhor avaliadas.

O depósito de cobre do Andrade, localizado a oeste da cidade de Caçapava do Sul, tem sido alvo recente de diversos trabalhos de pesquisa, onde se procura investigar a viabilidade técnica e econômica de sua extração (ROCHA *et al.*, 2013). Inserido nas rochas metamórficas do Complexo Metamórfico Passo Feio (CMPF) e situado próximo ao contato oeste do Complexo Granítico de Caçapava do Sul (CGCS) a gênese deste depósito é interpretada como um sistema hidrotermal associado com fluidos magmáticos do CGCS (REMUS *et al.*, 2000). O depósito possui controle estrutural ativo na concentração do minério, ocorrendo de forma disseminada em associação a zonas de falha e ocorrendo também ao longo dos planos da foliação metamórfica (RIBEIRO *et al.*, 1966; REMUS *et al.*, 2000; ROCHA *et al.*, 2013).

A geologia estrutural trata de reconhecer e compreender a gênese das estruturas primárias e secundárias em todos os tipos de rochas, analisando-as em aspectos geométricos, cinemáticos e dinâmicos (DAVIS & REYNOLDS, 1996). A análise estrutural é o método que utiliza esses três aspectos e permite desvendar a história deformacional da rocha em determinada região (DAVIS & REYNOLDS, 1996). Esse conhecimento forma uma das bases para o estudo de depósitos minerais com controle estrutural ativo na hospedagem do minério (BIONDI, 2003).

A compreensão da relação entre as estruturas de qualquer área é simplificada quando utilizado modelos geológico-estruturais, que se baseiam na representação de geometrias de estruturas geológicas. Os modelos podem ser gerados em duas

dimensões através de mapas e perfis ou em três dimensões através de projeções (VOLLGER *et al.*, 2015; GROSHONG, 2006).

A construção de modelos estruturais utiliza de dados de superfície (sensoriamento remoto, análise estrutural de campo, dados geofísicos) e de subsuperfície (testemunhos de sondagem e dados geofísicos; VOLLGER *et al.*, 2015). Uma nova ferramenta de sensoriamento remoto que está sendo cada vez mais aplicada para estudos geológicos são os Modelos Virtuais de Afloramento (MVA) produzidos a partir de fotografias aéreas de alta resolução. As imagens obtidas com o uso de veículos aéreos não tripulados (VANT) são processadas em algoritmos específicos que são baseados nos princípios físicos da paralaxe estereoscópica e a reconstrução da cena em 3d (e.g., COELHO & BRITO, 2007).

O presente trabalho consiste na análise estrutural de estruturas dúcteis na face oeste do cerro do Andrade, onde se localiza o depósito do Andrade. A etapa de campo foi auxiliada pelo MVA produzido utilizando imagens obtidas com VANT. O modelo estrutural foi produzido pela integração dos dados obtidos em campo e por sensoriamento remoto. A análise em campo, fortalecida pelo estudo microestrutural, e os perfis elaborados sugerem que, além do controle essencialmente rúptil no depósito, a mineralização também é controlada por mecanismos de deformação dúcteis.

2 – OBJETIVOS

2.1 - Geral

O objetivo geral do trabalho é realizar análise estrutural geométrica e cinemática das estruturas dúcteis do depósito Andrade utilizando dados de campo e de sensoriamento remoto.

2.2 – Específicos

Os objetivos específicos são:

- Gerar o modelo virtual de afloramento utilizando imagens aéreas obtidas com VANT;

- Obter medidas estruturais em campo e descrição dos elementos geométricos das estruturas dúcteis;
- Coletar amostras orientadas para confecção de lâminas afim de analisar a cinemática das microestruturas;
- Produzir um modelo geológico-estrutural do depósito;
- Discutir sobre a geologia estrutural da área e quais as implicações da mesma sobre a mineralização de cobre.

3 – JUSTIFICATIVA

Segundo Cantallopts (2018), Diretor de Estudos e Políticas Públicas na Comissão de cobre chilena (Cochilco), haverá um crescimento anual de 1,5% da demanda de cobre em todo o mundo, chegando a 38 milhões de toneladas até o ano de 2050. Essa previsão se torna muito favorável para a atividade de mineração do cobre, pois a mesma é uma indústria de longo prazo e que requer uma estabilidade constante para manter seus resultados positivos durante os diferentes ciclos de produção (DONOSO MUÑOZ, 2013).

Perante esse cenário, as ocorrências de cobre no depósito Andrade, assim como as outras ocorrências em Caçapava do Sul, se tornam um alvo de interesse no âmbito nacional e principalmente local.

O depósito Andrade vem sendo estudado desde os trabalhos pioneiros como o de Carvalho (1932), que relata o controle estrutural da mineralização no depósito. Essa relação estrutural tem ganhado destaque ao longo do tempo nos diversos estudos que foram realizados no depósito, deixando clara a associação da mineralização com brechas de falhas e fraturas tardias, e também preenchendo os planos da foliação metamórfica. Esse trabalho foi realizado devido a carência de estudos focados na deformação dúctil do depósito.

O trabalho corrobora com o entendimento da evolução estrutural da área e auxilia na compreensão sobre os processos de hospedagem da mineralização cuprífera.

4 - ÁREA DE ESTUDO

Nesse capítulo será apresentada a localização da área de estudo, assim como um breve relato da história mineral da região e algumas informações sobre o depósito Andrade.

4.1 - Localização

A área de estudo está situada no Rio Grande do Sul, no município de Caçapava do Sul. A partir da capital do estado, Porto Alegre, Caçapava do Sul é acessada pela BR-290, até o entroncamento com a BR-392, onde acessando a BR-392 a cidade estará há cerca de 20km. Na cidade, a área de estudo pode ser acessada seguindo a Avenida Coriolano de Castro sentido oeste. Segue-se essa avenida por cerca de 4 km, até a mesma se tornar uma estrada não pavimentada, haverá outra estrada (em cima do cerro dos Andrades) sentido sul, que dará acesso à área de estudo, como mostrado na figura 1.

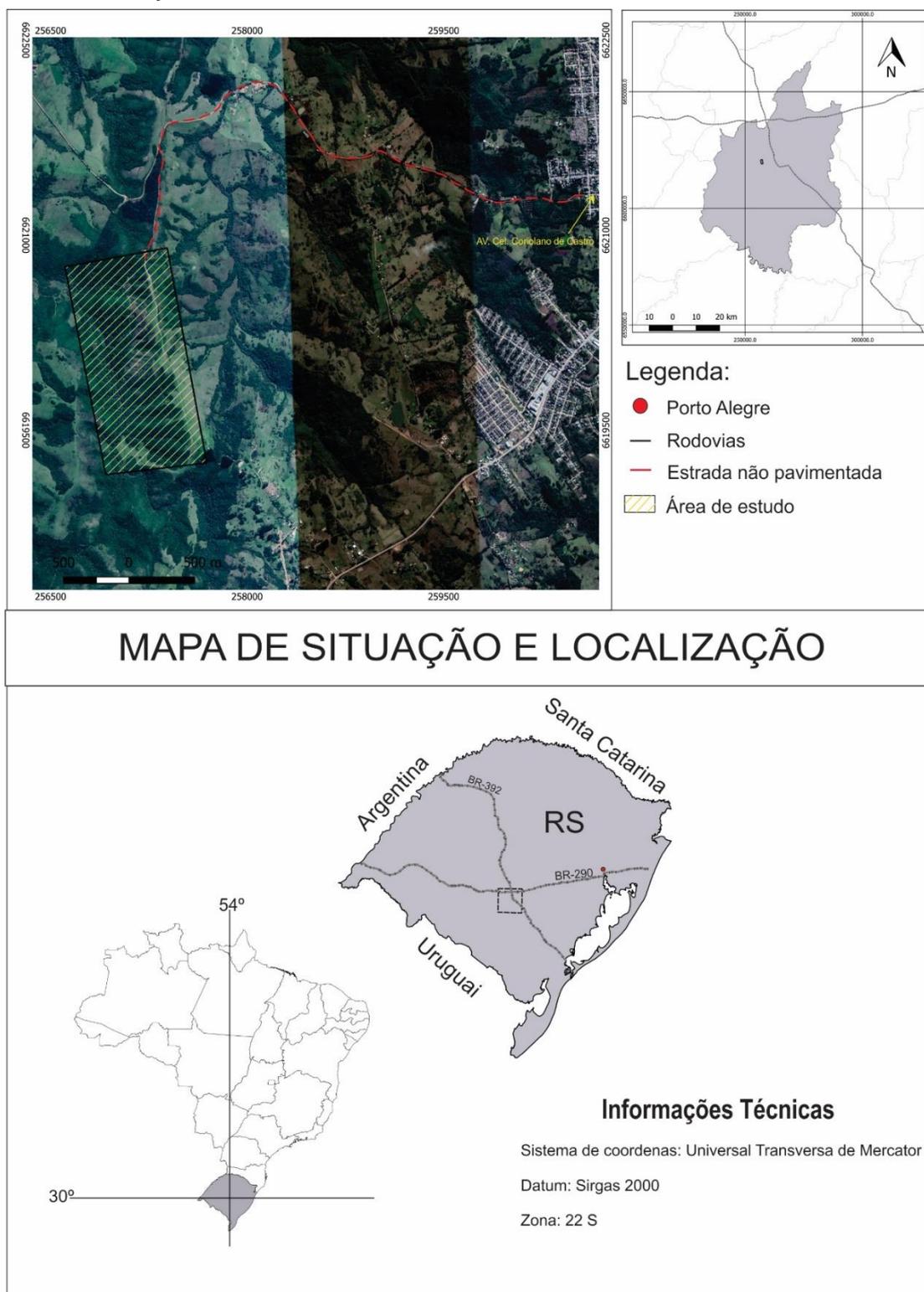
4.2 - Histórico mineral do cobre no RS

Desde o século XVIII há relatos sobre as mineralizações de Cu na região de Caçapava do Sul. Quando garimpeiros ingleses trabalhando na prospecção de ouro na região de Lavras do Sul, foram informados da ocorrência do minério de Cobre na propriedade do então Fazendeiro João Dias, local onde hoje se encontra o Distrito de Minas do Camaquã, em Caçapava do Sul. O conhecimento dos ingleses sobre a mineralização resultou na abertura de uma galeria, conhecida como Galeria dos Ingleses, onde a empresa Rio Grande Gold Mining Ltda. extraiu o minério entre os anos de 1870 a 1887 (COMOZZATO *et al.*, 2014).

De 1888 a 1899, a extração do cobre nas Minas do Camaquã foi realizada pelos alemães. De 1899 a 1910, os belgas se instalaram e começaram a extração do minério. Essa passagem dos alemães e belgas na região trouxe avanço tecnológico, tendo os alemães construído um forno, aumentando a produtividade do elemento e os belgas construindo uma barragem para obtenção de energia elétrica (SILVA, 2008). Durante 1910 e 1932 não há registros de extração mineral na região. Em setembro de

1945 os direitos de lavra foram cedidos à Companhia Brasileira do Cobre (CBC), onde até 1970 foram extraídas 2.208.000 toneladas de minério de cobre com teores que variavam entre 4,5% e 1,05% de cobre (Assembleia legislativa do RS, 1977).

Figura 1 - Localização da área de estudo.



Fonte: autor. Informações obtidas do Google Earth, 2019.

4.3 - Província Cuprífera de Caçapava do Sul

Ribeiro *et al.* (1966) estabelece critérios geológicos para a prospecção de cobre na região de Caçapava do Sul, esses critérios são baseados nas ocorrências de cobre, no arranjo estratigráfico, controle estrutural estabelecido por zonas de falha, controle litológico (tipos litológicos em que ocorrem as melhores mineralizações cupríferas) e associação com rochas andesíticas. O resultado do mapeamento realizado por Ribeiro *et al.* (1966) foi a indicação do intitulado “Polígono Cuprífero Riograndense”, delimitando uma área de escala regional, inserida majoritariamente na região de Caçapava do Sul. Remus (1999) reinterpreto essa região como Província Cúprifera de Caçapava do Sul, diminuindo sua área original, relatando ocorrências de Cu-Pb-Zn-Au-Ag hospedadas em rochas metamórficas e em sequências vulcanossedimentares da Bacia do Camaquã. Uma revisão sobre as ocorrências cupríferas pode ser encontrada em Machado (2017) e Remus (1999).

4.4 - Depósito Andrade

O potencial econômico da região intitulada Província Cuprífera de Caçapava do Sul (RIBEIRO *et al.*, 1966; REMUS 1999) é reconhecido desde meados da década de 60, onde ocorrências polimetálicas são descritas e algumas quantificadas. O depósito Andrade inserido nessa província, possui relatos da sua mineralização desde 1932 em trabalhos de Paulino Franco de Carvalho, seguido por Teixeira (1941), Leinz e Barbosa (1941), Ribeiro *et al.*, (1966), Ribeiro (1978), Furtado (1980), Remus (1999), Rocha *et al.*, (2013) e o mais recente Lisboa (2018). Cabe destacar também o trabalho de Camacho (2006), onde diferente dos demais, trata sobre avaliação ambiental da área do depósito. Em Ribeiro (1978) foi elaborado um mapa previsional para o cobre no ESrg, o autor classifica a área onde o depósito está inserido como de potencialidade econômica “A”.

Localizado a cerca de 4 km da cidade de Caçapava do Sul, o depósito possui uma boa localização caso venha a se instalar uma mineradora na área. Atualmente a aquisição da área para pesquisa pertence à empresa Águia Metals (DNPM, 2019).

A quantificação do elemento Cu teve inicialmente suas reservas estimadas em 600×10^3 ton de minério a 2%. Em 1974 houve uma reavaliação pela Companhia Rio-Grandense de Mineração que estimaram uma reserva de $3,5 \times 10^6$ ton com teor de

0,45% (Assembleia Legislativa do RS, 1977; Ribeiro, 1978). Recentemente o Grupo Mining Ventures Brasil confirma um recurso inferido de $6,1 \times 10^6$ ton com teor de 0,43% (ROCHA *et al.*, 2013).

4.5 - Mineralização no depósito Andrade

Segundo Ribeiro (1978), a mineralização no depósito Andrade é formada por calcosina, calcopirita, cuprita, bornita, cobre nativo, malaquita e carbonatos disseminados. Rocha *et al.* (2013) informam sobre o agente controlador da mineralização no depósito no seguinte relato:

“Ao longo e no cruzamento das estruturas ocorrem zonas com estágio de deformação dúctil-rúptil hidrotermalizadas e localmente brechadas que constituem as zonas mineralizadas. Desta forma, admite-se um controle essencialmente estrutural para a mineralização cuprífera”.

Essas zonas onde se concentra a deformação são marcadas por albitização, carbonatação, cloritização e silicificação, e quando ocorre em intervalos brechados os fragmentos de rocha são geralmente cimentados por calcita, clorita, quartzo e sulfetos de Cu e Fe (ROCHA *et al.*, 2013).

A associação mineral mais frequente no depósito é composta pelos sulfetos de bornita e calcocita, ocorrendo principalmente como agregados intercrescidos na matriz de rochas brechadas e *stockworks* (composto por quartzo+carbonato+clorita), também ocorrendo de forma disseminada seguindo a foliação principal (ROCHA *et al.*, 2013).

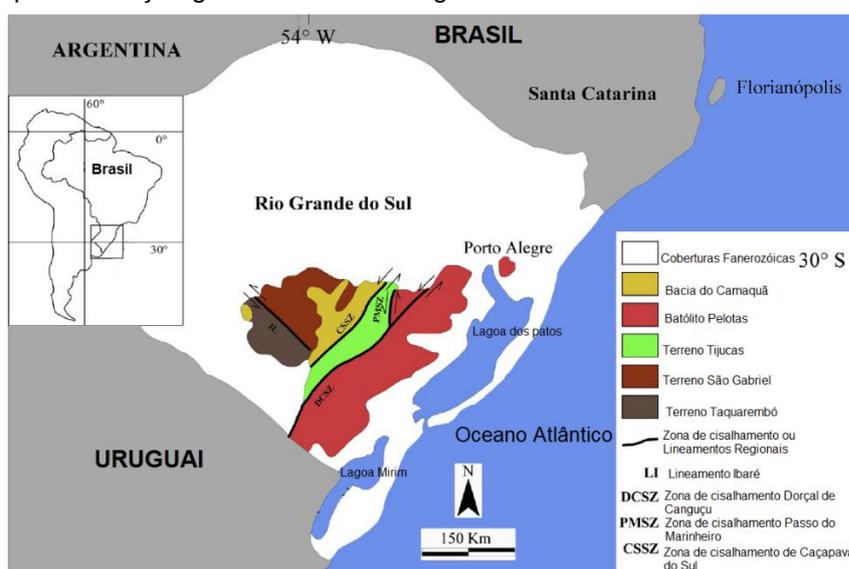
Segundo Remus (2000), baseado em dados isotópicos dos sulfetos de metais-base e na associação espacial, sugere que a gênese da mineralização no depósito Andrade, e em outras ocorrências do CMPF, se dá pela percolação de fluidos magmáticos portadores de metais do CGCS que lixivaram metais do CMPF. Sendo então hospedados nas estruturas rúpteis do depósito, como relatado por Ribeiro *et al.* (1966).

5 - CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

As complexidades geológicas e estruturais vistas no ambiente orogênico são incontestáveis (KEAREY *et al.*, 2014). O que faz as rochas e estruturas da porção sul do estado do Rio Grande do Sul tão complexas e atraentes aos olhos dos geólogos é o fato de haver registrado, através delas, dois ciclos orogênicos. O primeiro, o Ciclo Transamazônico, originou rochas paleoproterozoicas de até 2,26 Ga. O segundo, o ciclo Brasileiro/Pan-africano, formando rochas neoproterozoicas (HARTMANN *et al.*, 2007).

A diversidade de rochas sedimentares, metamórficas, ígneas intrusivas e extrusivas encontradas dentro do ESrg, é compartimentada de acordo com seu significado geotectônico, em quatro blocos principais: Terreno Taquarembó; Terreno São Gabriel; Terreno Tijucas e Batólito Pelotas (HARTMANN *et al.*, 2007) (Fig 2). Juntos, esses blocos formam a porção meridional da Província Mantiqueira (ALMEIDA *et al.*, 1967).

Figura 2 - Compartimentação geotectônica do ESrg



Fonte: extraído e modificado de Bicca (2013).

O Terreno Taquarembó está localizado na porção oeste do ESrg, limitado do Terreno São Gabriel pelo lineamento Ibaré, e é composto por granulitos paleoproterozoicos e granitos neoproterozoicos, interpretado como parte do cráton Rio de La Plata (HARTMANN *et al.*, 2007).

O Terreno São Gabriel é interpretado por Hartmann *et al.*, (2007) como um prisma acrescionário que marca o desenvolvimento de um arco magmático em uma margem continental, durante o Neoproterozoico. Os limites desse bloco a sul são marcados pela Zona de Cisalhamento do Ibaré, a leste pelo sistema de falhas NE-SW de orientação paralela à anomalia magnetométrica de Caçapava do Sul, e a norte pelas coberturas fanerozoicas das rochas sedimentares da Bacia do Paraná (HARTMANN *et al.*, 2007; CHEMALE JR, 2000). As associações petrotectônicas (gnaisses cálcio alcalinos e metagranitoide, fragmentos ofiolíticos, coberturas vulcanossedimentar) indicam o ciclo de geração de crosta oceânica, colisão de arcos de ilha e fechamento de oceano, seguido de um período pós-colisional com sedimentação e intenso plutonismo/vulcanismo (FRAGOSO-CESAR, 1980; CHEMALE JR, 2000; HARTMANN *et al.*, 2007; NARDI & BITENCOURT, 2007).

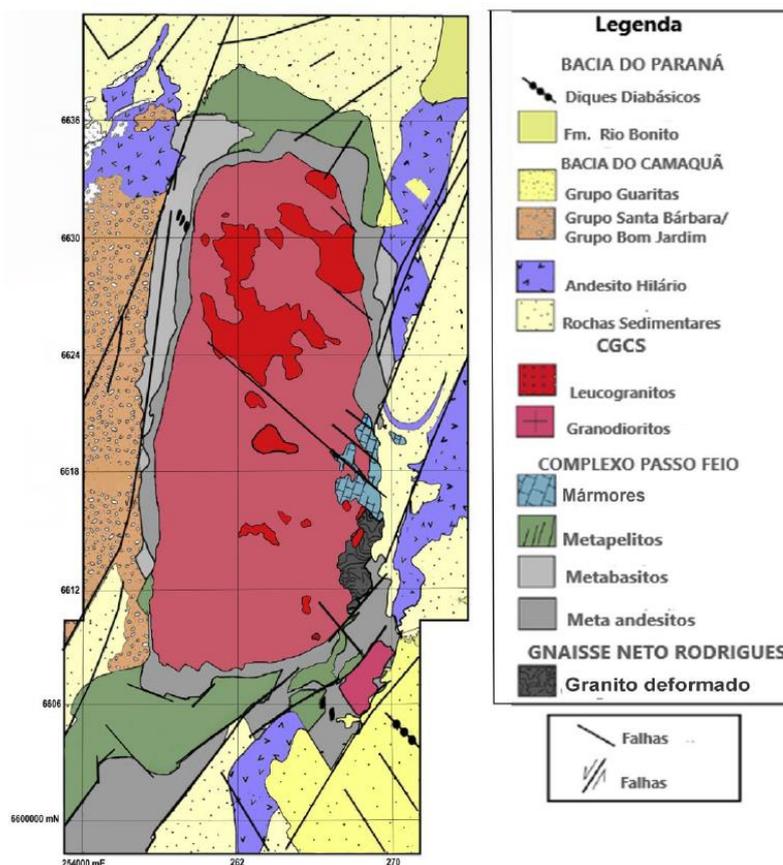
O Terreno Tijucas está localizado na porção central do ESrg, limitado do Batólito Pelotas pela Zona de Cisalhamento Dorsal do Canguçu, e o contato com Terreno São Gabriel coberto por rochas vulcano-sedimentares da Bacia do Camaquã (HARTMANN *et al.*, 2007). O Terreno Tijucas contém duas unidades geológicas metamorfizadas, o Complexo Encantadas e Complexo Porongos, ambas metamorfizadas nas fácies xisto verde a anfibolito, constituindo rochas paleoproterozoicas e neoproterozoicas (CHEMALE JR, 2000).

O Batólito Pelotas está localizado a leste do ESrg, sendo limitado do Terreno Tijucas pela Zona de Cisalhamento Dorsal do Canguçu. Hartmann *et al.* (2007), reconheceu no Batólito Pelotas um complexo granítico e seis suítes intrusivas, com a geração do magmatismo ocorrida em ambiente pós-colisional tendo a maioria das rochas como graníticas de idade entre 650 Ma e 550 Ma.

6 - CONTEXTO GEOLÓGICO LOCAL

A área de estudo se encontra no contexto geotectônico do Terreno São Gabriel. Nesse capítulo há o destaque para o CMPF e o CGCS (Fig 3).

Figura 3 - Geologia local. A área de estudo está inserida no CMPF, próximo ao contato oeste com o CGCS.



Fonte: extraído de Lopes et al. (2014).

6.1 - Complexo Metamórfico Passo Feio

O CMPF, onde se localiza a área de estudo, foi nomeado devido ao arroio homônimo que passa por seus domínios, encontrando em seu caminho sucessões vulcanossedimentares metamorizadas em dois eventos metamórficos reconhecidos por Bitencourt (1983). Seguindo Bitencourt (1983), o CMPF sofreu dois eventos de metamorfismo, M1 e M2. Esses eventos atingiram fácies anfíbolito na zona da estauroлита, em um metamorfismo regional progressivo M1 seguido por M2, sendo esse um evento retrogressivo de fácies xisto-verde, com a intrusão do CGCS sincrônica a esse evento. O resultado do metamorfismo é uma série de rochas classificadas como: ardósias; filitos; xistos pelíticos; xistos grafiticos; mármore; quartzitos; metaconglomerados; rochas cálcio-silicáticas; anfíbolitos; metabasaltos e xistos magnesianos (RIBEIRO et al., 1966; BITENCOURT, 1983).

Bitencourt (1983) também reconheceu nessas rochas três eventos deformacionais, nomeados de D1, D2 e D3. Os eventos D1 e D2 estão intimamente relacionados com os eventos metamórficos M1 e M2, onde D1 tem seu reconhecimento restrito a estudos em lâminas, analisando estruturas cinemáticas em porfiroclastos de granadas. Estruturas relacionadas com D2 podem ser reconhecidas em escala de afloramento, afetadas pelo evento D3, sendo este reconhecido como responsável pela estrutura antiformal presente na área, com o CGCS no núcleo dessa dobra regional (BITENCOURT, 1983).

As rochas do CMPF possuem idade metamórfica U/Th relacionadas com o evento M2 de 510 ± 68 Ma (TICKYJ *et al.*, 2004).

6.2 - Complexo Granítico Caçapava do Sul

A leste da área de estudo, a cerca de 1 km, encontra-se as rochas graníticas pertencentes ao CGCS. O corpo possui dimensões próximas a 250 Km², orientado na direção N-S, onde é todo circundado pelo CMPF. O complexo possui afinidade cálcio-alcálica, sendo encontradas rochas dispostas em três fácies principais: biotitas granitóides; leucogranitóides e granitóides transicionais (contendo características intermediárias entre os dois primeiros tipos). O estado de posicionamento do corpo é interpretado como sincrônico à fase de deformação M2, sob condições de fácies xisto verde (NARDI & BITENCOURT, 1989).

Rochas cornubianíticas são relatadas por Ribeiro *et al.* (1966), porém não foram encontradas por Bitencourt (1989), mesmo quando havia condições favoráveis para o desenvolvimento das mesmas. Esse fato é explicado pelo gradiente geotérmico da intrusão não causar uma mudança significativa nas encaixantes a ponto de criar condições para o desenvolvimento de cornubianitos. (BITENCOURT, 1983; NARDI & BITENCOURT, 1989). Sartori & Kawashita (1985) definiram uma idade ígnea Rb-Sr de 552 ± 4 Ma para o complexo.

7 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo é abordada uma introdução sobre geologia estrutural, os princípios da modelagem geológica e noções sobre fotogrametria.

7.1 - Geologia estrutural

A geologia estrutural, junto com as petrografias (ígnea, sedimentar e metamórfica) e os elementos de estratigrafia, montam os pilares da geologia clássica. Desde os trabalhos pioneiros de James Hutton (Séc. XVIII) ela vem sendo aplicada na interpretação dos eventos geológicos. Desde então, a evolução do conhecimento sobre esse ramo da geologia tem se desenvolvido junto com materiais que possibilitaram uma melhor compreensão e interpretação dos resultados. Análise de microestruturas utilizando microscópios e o desenvolvimento de *softwares* que possibilitam uma reconstrução estrutural condizente com as informações obtidas em campo (GROSHONG, 2006)., são exemplos do avanço obtido ao longo dos anos.

A geologia estrutural trabalha na definição da geometria, distribuição e a formação de estruturas nas rochas (FOSSEN, 2012). Existem as estruturas primárias, desenvolvidas durante a formação das rochas, e as estruturas secundárias, geradas após a formação delas, através de deformação rúptil ou dúctil (DAVIS & REYNOLDS, 1996).

Segundo Davis & Reynolds (1996), deformação refere-se aos processos físicos e químicos que produzem mudanças nas rochas, causando alterações no volume (dilatação), posição (translação), orientação (rotação) ou forma (distorção). A deformação é a resposta da rocha às novas condições existentes, geralmente causadas pelas mudanças de pressão e/ou temperatura, formando estruturas geológicas que acomodem essas mudanças, tais como falhas e dobras. Essas mudanças nas condições existentes são ocasionadas por eventos geológicos, podendo ser tectônicos, não tectônicos ou até mesmo por impacto de corpos celestes (DAVIS & REYNOLDS, 1996).

7.1.1 – Análise estrutural

A análise estrutural é subdividida em três etapas, a análise geométrica ou descritiva, análise cinemática e análise dinâmica (DAVIS & REYNOLDS, 1996).

A análise geométrica se preocupa em reconhecer as estruturas primárias e/ou secundárias durante a etapa de campo, realizando o mapeamento estrutural. Nessa etapa o essencial é descrever todos os aspectos físicos das estruturas, medindo suas orientações de planos e linhas, analisando seus componentes físicos e geométricos, reconhecendo e classificando as estruturas presentes (DAVIS & REYNOLDS, 1996).

Com a análise geométrica finalizada se inicia a análise cinemática, onde o objeto de interesse é a interpretação dos movimentos deformacionais que geraram essas estruturas e o desenvolvimento de suas geometrias. Durante esta análise se reconhece e descreve as mudanças sofridas na rocha (DAVIS & REYNOLDS, 1996).

A análise dinâmica tem como objetivo interpretar o *stress* que produziu a deformação na rocha, descrevendo a natureza das forças, de onde derivaram as tensões, e avaliar as relações gerais entre o *stress*, a tensão e a resistência da rocha (DAVIS & REYNOLDS, 1996).

7.1.2 – Microestruturas

As microestruturas são produzidas através de mecanismos de deformação, que agem na estrutura cristalina dos minerais (PASSCHIER & TROUW, 2005). Os fatores internos que influenciam na deformação intracristalina são a mineralogia, composição do fluido intergranular, tamanho do grão, orientação preferencial do grão, porosidade e permeabilidade. Os fatores externos são temperatura, pressão litostática, *stress* diferencial, pressão do fluido e taxa de deformação imposta (PASSCHIER & TROUW, 2005).

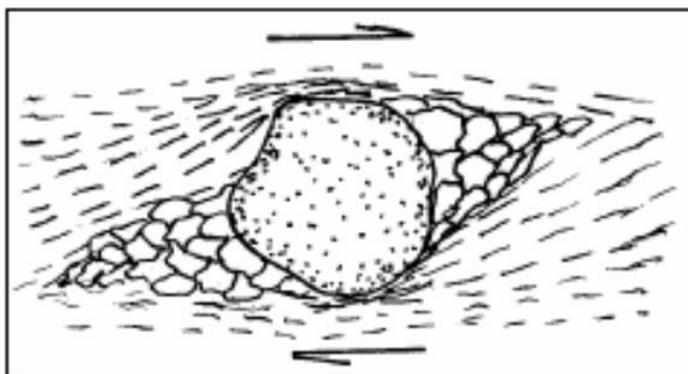
Os mecanismos de deformação podem ser agrupados em quatro categorias: Cataclase; transferência de massa difusa; deformação intracristalina; e recristalização. Esses mecanismos não ocorrem somente de forma exclusiva, podendo ocorrerem de forma simultânea (ROWLAND *et al.*, 2013).

O estudo das microestruturas geralmente é utilizado na reconstrução cinemática envolvida na formação das mesmas. Na maioria dos casos, a formação de uma microestrutura está relacionada com algum movimento que deixa suas marcas no desenvolvimento da estrutura (ROWLAND *et al.*, 2013).

A seguir alguns exemplos de microestruturas que indicam o sentido do movimento deformacional ao gerar a estrutura:

- **Sombras de pressão:** assimetrias nas sombras de pressão em um mineral indicam o sentido de deslocamento que ele sofreu (Fig 4). As sombras de pressão são formadas quando a foliação que envolve o grão se torna menos espaçada quando há uma concentração maior no desempenho das forças causando dissolução por pressão. Pela posição e forma das áreas com sombras de pressão pode-se inferir o sentido do movimento (EVANGELISTA, 2003).

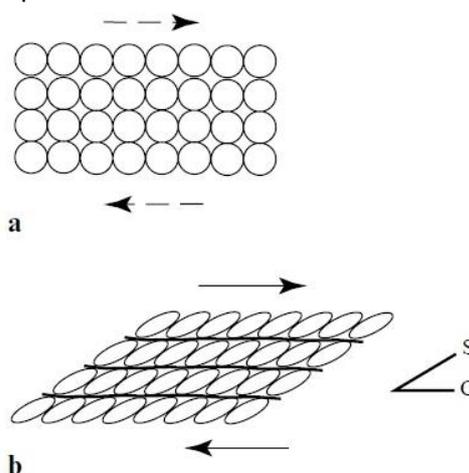
Figura 4 - Exemplo de formação de sombras de pressão.



Fonte: extraído de Evangelista (2013).

- **Pares S-C:** Em zonas de cisalhamento, quando as condições são propícias, é comum a formação de pares S-C. Esses pares são marcados pela evolução de duas foliações que estão em ângulos moderados a baixos entre si. O par S é formado pelo alinhamento paralelo dos grãos deformados enquanto o par C consiste em superfícies de cisalhamento marcadas por redução na granulometria. A relação entre esses dois planos (Fig 5) pode ser utilizada para determinar o sentido de cisalhamento (ROWLAND *et al.*, 2013).

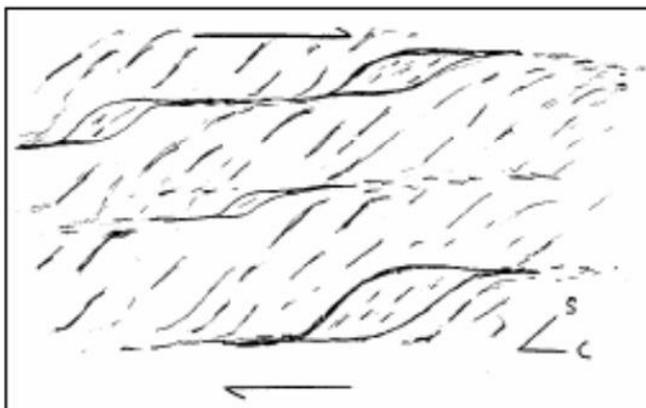
Figura 5 - Exemplo de formação de pares S-C.



Fonte: extraído de Rowland *et al.* (2013).

- **Mica-fish:** ladeados por caudas com finos cristais de mica originadas da recristalização dinâmica, as *mica-fish* possuem uma forma assimétrica lenticular que permite identificar qual é o sentido de deslocamento que a rocha sofreu (EVANGELISTA, 2003), como visto na figura 6.

Figura 6 - Exemplo de formação de mica-fish.



Fonte: Extraído de Evangelista (2003).

7.2 - Modelagem geológica

Segundo Groshong (2006), a modelagem geológica é a representação geométrica das estruturas geológicas em um modelo gráfico ou matemático, podendo ser realizada em duas dimensões através de mapas e perfis, ou em três gerando bloco diagrama e/ou volumes. Seguindo o autor, o principal objetivo da elaboração de mapas estruturais é a de desenvolver uma imagem tridimensional da estrutura de

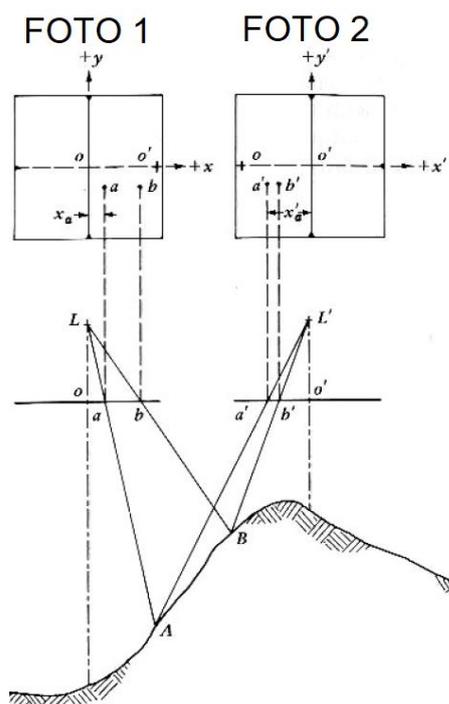
acordo com a realidade da mesma, o que é muito dificultado devido às condições da rocha aflorante e suas partes sub-aflorantes, sendo necessária a interpolação de vários pontos para formar a superfície, gerando o modelo, que é uma reconstrução simplificada da geometria natural da estrutura.

Não depende essencialmente da complexidade geológica para a definição da técnica a ser utilizada na modelagem, se considera também a finalidade do modelo, havendo duas principais metodologias para modelagem geométrica 3D, sendo elas a modelagem explícita e a modelagem implícita (ISAAKS & SRIVASTAVA, 1990; VOLLGER *et al.*, 2015). A modelagem explícita depende da definição manual dos limites geológicos e da geometria das estruturas, sendo representadas em mapas e seções que formam a base de dados para o modelo geológico, gerado digitalmente para ser visualizado em 3D (VOLLGER *et al.*, 2015). A modelagem implícita surge como uma alternativa para resolver a subjetividade da modelagem explícita (vista que a mesma é definida de acordo com a interpretação do modelador). Consiste em uma técnica onde superfícies e volumes são definidos matematicamente através da interpolação de pontos na superfície utilizando algoritmos, permitindo um ajuste mais regular ao modelo (COWAN *et al.*, 2003; VOLLGER, *et al.*, 2015).

7.2.1 – Fotogrametria

Segundo Coelho & Brito (2007), fotogrametria é a ciência e tecnologia de se obter informação confiável (modelo), através de imagens adquiridas por sensores. A fotogrametria utiliza do fenômeno físico da paralaxe estereoscópica, que permite a percepção de profundidade dos objetos e conseqüentemente uma visão 3D em fotografias com até 60% de sobreposição (COELHO & BRITO, 2007). Na figura 7 é possível ver a diferença angular entre dois objetos (A e B) causado pela elevação do terreno e o deslocamento do local onde as fotografias foram obtidas.

Figura 7 - Deslocamentos devido à paralaxe em fotografias verticais.



Fonte: extraído e modificado de Lilesand, 2000 *apud* Coelho & Brito, 2007.

Essa diferença angular do objeto conforme a posição é utilizada então no cálculo da distância do objeto e do sensor, encontrando o tamanho real do objeto (COELHO & BRITO, 2007).

7.2.2 – *Structure from Motion–Multi-view Stereo*

O fluxo de trabalho *Structure from Motion* (SfM) utiliza um conjunto de algoritmos para detectar feições coincidentes em um grupo de imagens sobrepostas, e calcula a posição e orientação das imagens e os parâmetros internos da câmera e produz uma nuvem de pontos (nuvem esparsa; e.g., CARRIVICK et al., 2016). A partir da posição das imagens é produzida uma nuvem de pontos densa pelo fluxo de trabalho *Multi-View Stereo* (MVS; CARRIVICK et al., 2016; MICHELETTI et al., 2015).

8 – MATERIAS E MÉTODOS

O método utilizando no presente trabalho é a análise estrutural geométrica e cinemática das estruturas dúcteis. A análise estrutural foi realizada utilizando dados

indiretos derivados do MVA e do ortofotomosaico, e dados diretos obtidos em campo e em laboratório. Foi realizada: (i) revisão bibliográfica da área de estudo, consultando livros, relatórios, artigos, dissertações, monografias, teses e mapas geológicos; (ii) geração do MVA; (iii) aquisição de dados em campo; (iv) confecção de lâminas delgadas; (v) geração do modelo geológico.

8.1 – Geração do MVA

A geração do MVA foi realizada utilizando o fluxo de trabalho SfM-MVS, que consiste em adquirir imagens aéreas, editar e alinhar as imagens, densificar a nuvem de pontos, construir a malha triangulada texturizada, modelo digital de superfície (MDS) e ortofotomosaico.

8.1.1 - Aquisição das imagens

Foram realizadas duas campanhas de voos com VANT para a geração do MVA. O VANT utilizado é da marca DJI modelo Phantom 4 PRO. Esse equipamento possui câmera com sensor CMOS (*Complementary Metal-Oxide Semiconductor*) de 1" embarcado, que produz fotografias com Wsensor de 13,2×8,8 mm; Wimage de 5472×3648 pixels; e f de 3,61 mm (disponível em: <https://www.dji.com/br/phantom-4-pro/info#specs>). As imagens foram adquiridas com sobreposição frontal de 80% e lateral de 60%.

A primeira etapa de aquisição foi realizada utilizando a superfície topográfica derivada do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) para a correção da altura de voo (*Average ground level* – AGL). A segunda etapa foi realizada utilizando o modelo digital de superfície (MDS) produzido na primeira etapa para a correção da AGL. Os planos de voo foram produzidos utilizando o *software* Universal Ground Control System (UgCS). Ao final da segunda campanha de voo, foram obtidas 1.987 imagens aéreas.

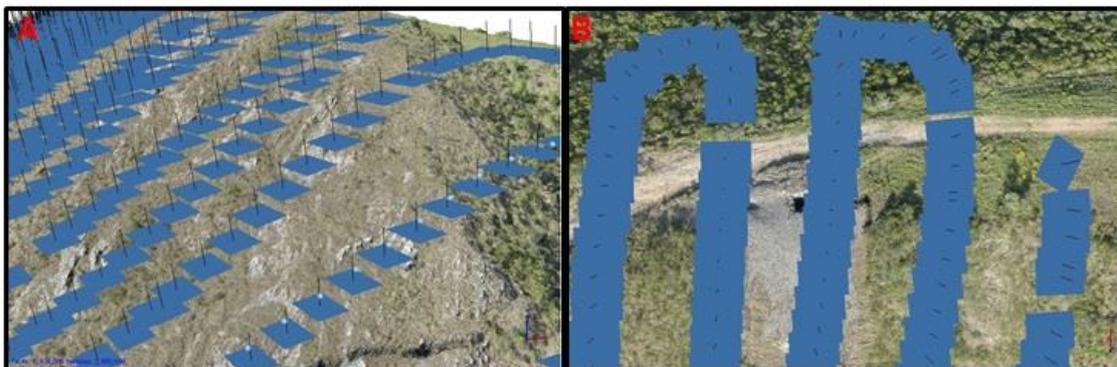
8.1.2 – Edição

As imagens aéreas foram importadas para o *software* Agisoft Metashape, onde foi feita a edição. Nessa etapa, as fotografias que claramente não imagearam o objeto foram descartadas, bem como as imagens com baixa qualidade.

8.1.3 – Structure from Motiom (alinhamento)

A etapa de alinhamento consiste no cálculo da posição e orientação das imagens e dos parâmetros internos da câmera (e.g., VIANA et al., 2018). Essa etapa é correspondente ao SfM do fluxo de trabalho SfM-MVS. O produto do alinhamento é mostrado na figura 8.

Figura 8 - Linhas de voo com os planos em azul representando a posição da câmera ao obter as imagens. A) Visão geral. B) Vista aproximada.



Fonte: autor.

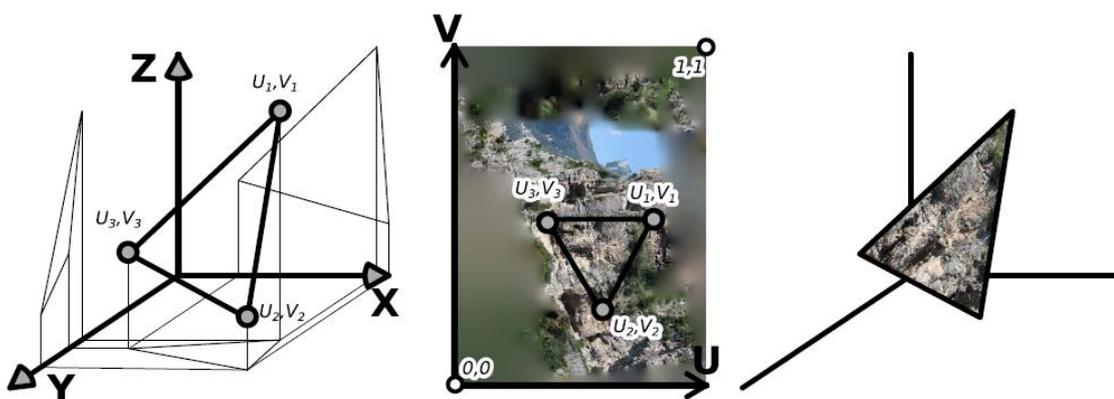
8.1.4 – Multi View Stereo (densificação)

A etapa de densificação consiste em aumentar a densidade de pontos da nuvem, gerando a forma do alvo em 3D. As imagens foram reamostradas para 1/64 vezes a resolução original. Considerando a resolução original de 20 megapixels, as imagens foram reamostradas para 312.500 pixels. Foi aplicado filtro de profundidade suave.

8.1.5 – Construção da malha triangulada texturizada

A etapa de construção da malha consiste na geração de uma superfície triangulada a partir dos pontos da nuvem densa. Para cada três pontos da nuvem densa é produzido um triângulo (Fig 9), e sucessivamente até a produção da superfície do afloramento. Após a produção da malha, as imagens originais são sobrepostas para cada triângulo, produzindo um mapa de texturas. O mapa de texturas é sobreposto a malha, gerando a malha triangulada texturizada. O resultado dessa etapa é o modelo 3D texturizado (MVA).

Figura 9 - Esquema mostrando formação dos triângulos na geração da malha e posterior texturização.



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

8.1.6 – Construção do Modelo Digital de Superfície e Ortofotomosaico

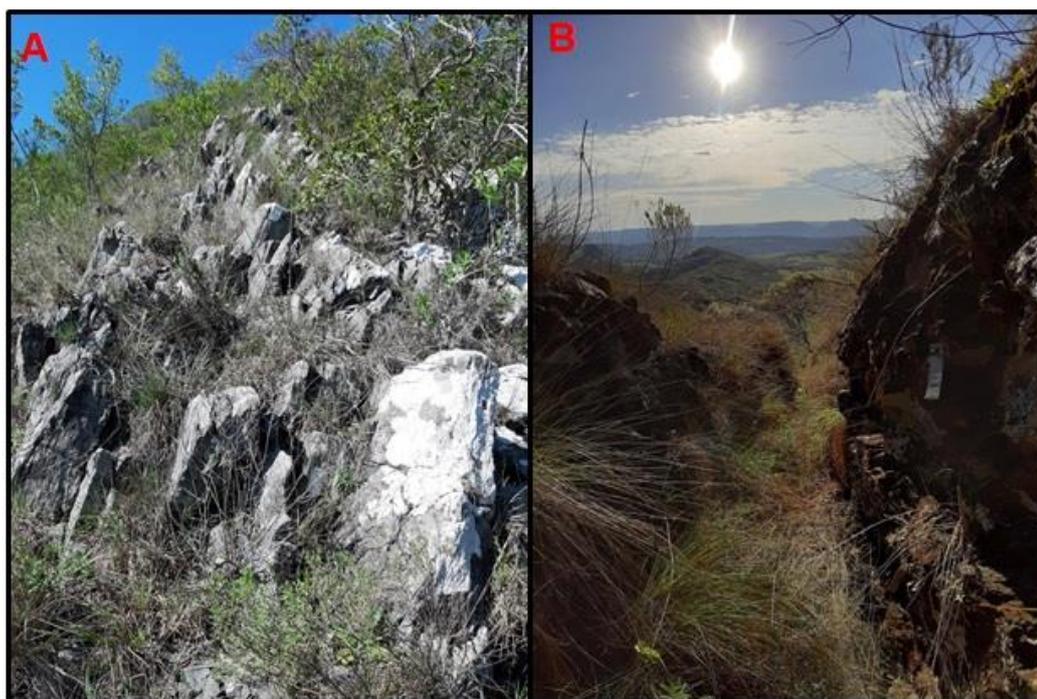
A partir do MVA é produzido o MDS, que consiste em um mapa contendo a coordenada X e Y e os valores de elevação das feições expostas na superfície do terreno. Também é produzido um ortofotomosaico, que consiste em um mapa integrando todas as imagens aéreas, ortoretificadas e mosaicadas em uma imagem contínua.

8.2 – Aquisição de dados de campo

Os trabalhos de campo foram realizados durante os meses de setembro e outubro, com ênfase na análise da orientação espacial da foliação metamórfica. As

atividades de campo foram concentradas na porção oeste do cerro do Andrade, onde há maior área com rochas aflorantes (Fig 10-A) e onde se localizam as trincheiras e galerias antigas (Fig 10-B). Os pontos visitados em campo foram posicionados no espaço utilizando o ortofotomosaico. Cada ponto visitado em campo foi visualmente correlacionado no ortofotomosaico e a coordenada dos pontos foi determinada em laboratório utilizando o MVA. Os pontos com concentração maior de minério foram anotados.

Figura 10 - a) Foto das rochas aflorantes. b) Foto da trincheira.

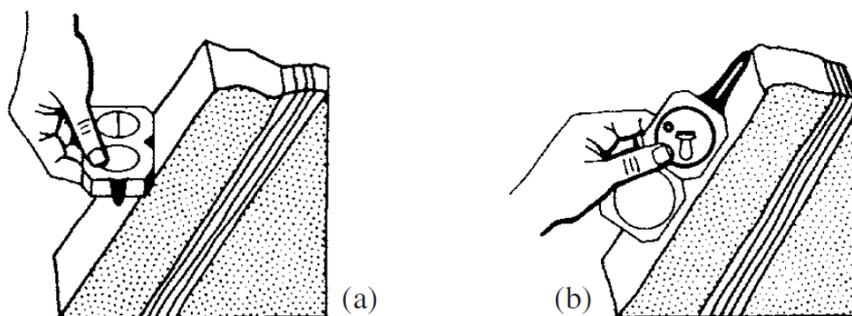


Fonte: autor.

8.2.1 – Coleta da atitude das estruturas geológicas

A orientação das estruturas geológicas foi definida em campo de forma manual, utilizando bússola tipo Brunton. Foram obtidas a orientação do *strike* (direção) e *dip* (mergulho) de cada estrutura. O *strike* é a linha de intersecção entre o plano analisado e o plano horizontal, enquanto o *dip* é o ângulo de máximo mergulho do plano (RAGAN, 2009). A forma de obter essas medidas com a bússola pode é ilustrada na figura 11. No campo o sistema de anotação utilizado foi o *dip direction*.

Figura 11 - Exemplo de como coletar medidas estruturais utilizando bússola tipo Brunton.

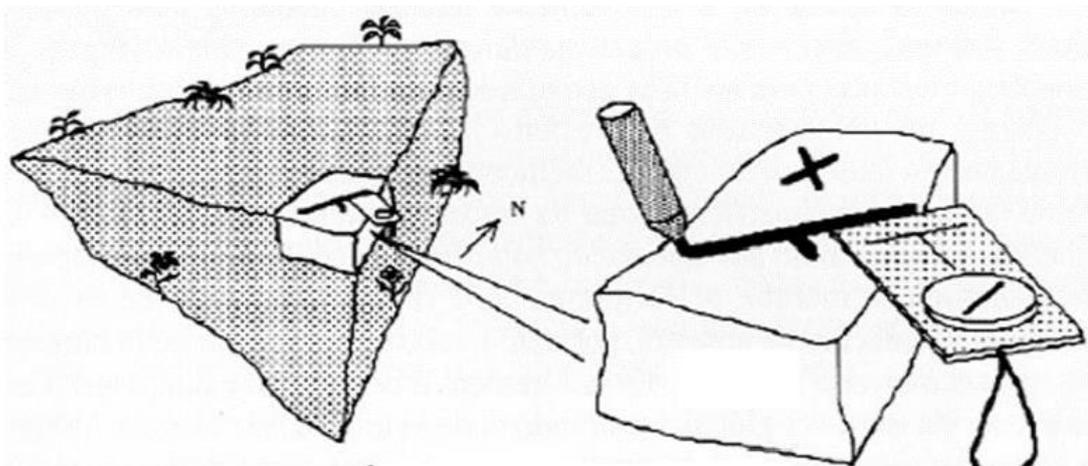


Fonte: extraído de Ragan (2009).

8.2.2 – Coleta de amostras

Foram coletadas amostras em campo, cuja localização foi determinada visualmente utilizando o ortofotomosaico. Cada amostra foi orientada em campo para a determinação da orientação e cinemática das estruturas nas lâminas delgadas. A aquisição das amostras orientadas consistiu em anotar as medidas espaciais (*strike* e *dip*) de qualquer face plana presente na amostra *in situ* (Fig 12), marcando na própria amostra o *strike* e o *dip* e sua respectiva numeração.

Figura 12 - Exemplo de como retirar amostra orientada.



Fonte: extraído de Passchier et al. (1993).

8.3 – Confeção de lâminas delgadas

As amostras coletadas em campo foram processadas para a produção de lâminas delgadas. As lâminas foram confeccionadas seguindo critérios estruturais a fim de identificar indicadores cinemáticos em escala microscópica. Para isso, o corte foi realizado de forma perpendicular a foliação e paralelo a lineação (Fig 13).

Figura 13 - Corte da amostra para confecção de lâmina. A) Amostra em processo de corte; B) Amostra serrada e C) Amostra serrada com retângulo indicando local de confecção da lâmina.



Fonte: autor.

Foram selecionadas quatro amostras para confecção de lâminas e descrição microscópica. As lâminas foram fotografadas ao microscópio ótico de luz transmitida utilizando câmera e o *software* ToupView.

8.4 – Geração do Modelo Geológico

Após as etapas de geração do MVA, aquisição de dados em campo, confecção e descrição das lâminas delgadas, todas as informações são compiladas na forma de planilhas (dados pontuais) e em modelos 3d. Os dados adquiridos em campo foram organizados em planilha, composta por: identificação do ponto; coordenadas X, Y e Z; *strike* e *dip* das estruturas planares (foliação, flancos e plano axial de dobras); *plunge* e *plunge direction* das estruturas lineares (eixo). O MVA e os dados pontuais foram integrados em 3d utilizando o *software* MOVE. Os dados pontuais carregados no MOVE foram projetados para a superfície do MVA.

Foram gerados estereogramas das estruturas planares e lineares utilizando a rede de Schmidt. Foram construídos seis perfis paralelos de orientação N45E-S45W,

definida com base na direção de melhor ajuste a distribuição de polos no estereograma (KUMAIRA, 2016). Além das seis seções paralelas, uma seção ortogonal foi construída, com inclinação de 45° e orientação N28W-S28E (Fig 14).

As seções estruturais foram modeladas no MOVE através do método *kink band*. Esse método é utilizado na modelagem de superfícies dobradas assumindo que a linha bissetriz entre dois domínios de mergulho distintos representa o plano axial da dobra (SUPPE, 1985). Esse método pode ser aplicado através da ferramenta *Horizons from Template* no MOVE.

Figura 14 - Mapa com os perfis traçados.



Fonte: autor.

9 – RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados da geração do MVA, aquisição de dados em campo e em laboratório e o modelo estrutural.

9.1 – Modelo Virtual de Afloramento

O processamento das imagens aéreas produziu nuvem esparsa de pontos (alinhamento) contendo 1.712.745 pontos (Fig 15).

Figura 15 - Nuvem esparsa de pontos produzida após o procedimento de alinhamento das imagens aéreas.



Fonte: autor.

O processo de densificação gerou uma nuvem contendo 88.862.521 pontos (Fig 16).

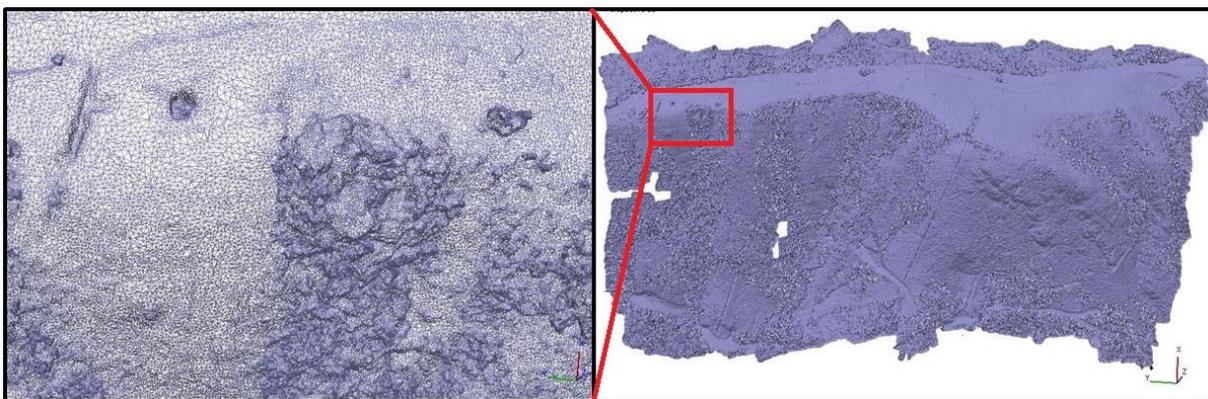
Figura 16 - Nuvem densa de pontos produzida após o processo de densificação.



Fonte: autor.

A geração da malha triangulada produziu uma superfície contendo 5.924.066 de faces e 2.980.697 de vértices (Fig 17).

Figura 17 - Malha triangulada.



Fonte: autor.

A texturização da malha triangulada produziu o MVA, conforme mostrado na figura 18.

Figura 18 – Modelo virtual do afloramento mostrando a malha triangulada texturizada.

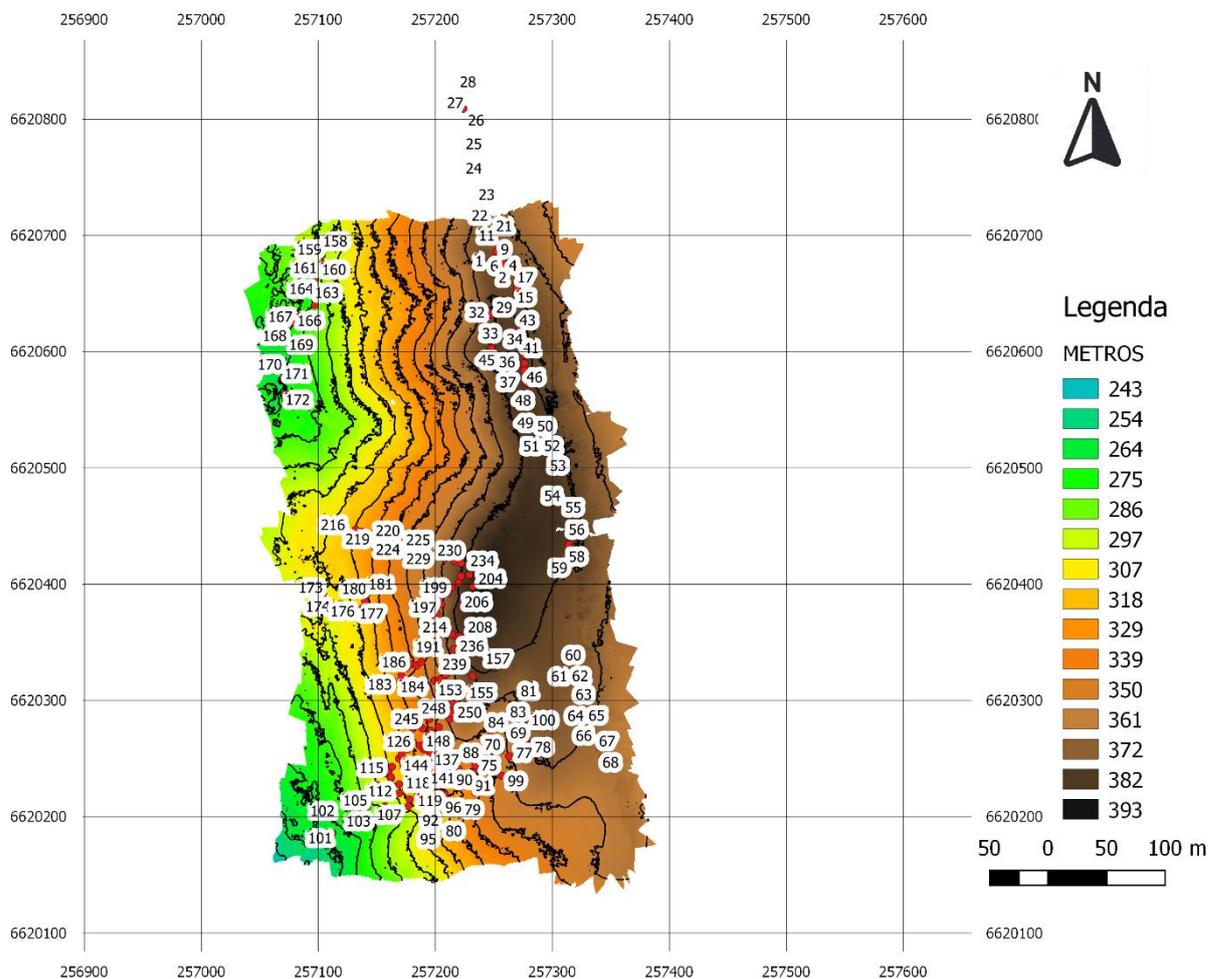


Fonte: autor.

9.2 – Análise das estruturas geológicas observadas em campo

Em campo, foram visitados 252 pontos, distribuídos na área de estudo conforme mostrado no mapa da figura 19.

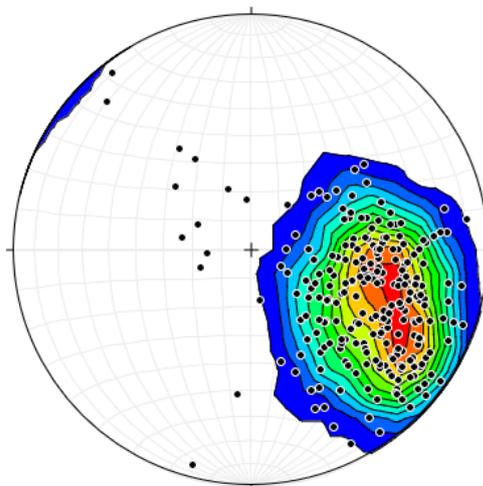
Figura 19 – Pontos visitados em campo sobrepostos ao modelo digital de superfície.



Fonte: autor.

Foram adquiridas 252 medidas de *strike e dip* da foliação metamórfica, uma para cada ponto visitado em campo. Também foram adquiridas 6 medidas de plano axial e eixo de dobras. A foliação metamórfica na área de estudo possui mergulho de cerca de 50° para NW (Fig 20).

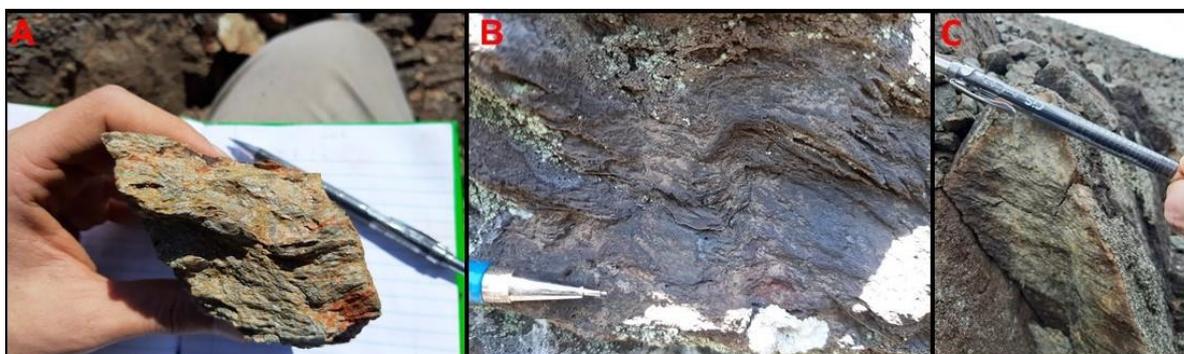
Figura 20 - Estereograma com os polos e contorno da foliação metamórfica (252 medidas; hemisfério inferior/Igual área; rede de Schimidt).



Fonte: autor.

A foliação metamórfica é anastomosada com espaçamento milimétrico (Fig 21-A). Ocorrem dobras comprimento de onda e amplitude centimétrica a decimétrica. As dobras são assimétricas, e possuem indicativo de cinemática anti-horária (Fig 21-B). As dobras centimétricas na foliação marcam o desenvolvimento da crenulação (S_2), mais desenvolvida em alguns pontos. Em alguns pontos foi evidenciado lineação de estiramento, marcada pela orientação preferencial de feldspatos (Fig 21-C). Não foram obtidas medidas suficientes de estiramento mineral para inferir uma tendência de orientação preferencial para essas estruturas.

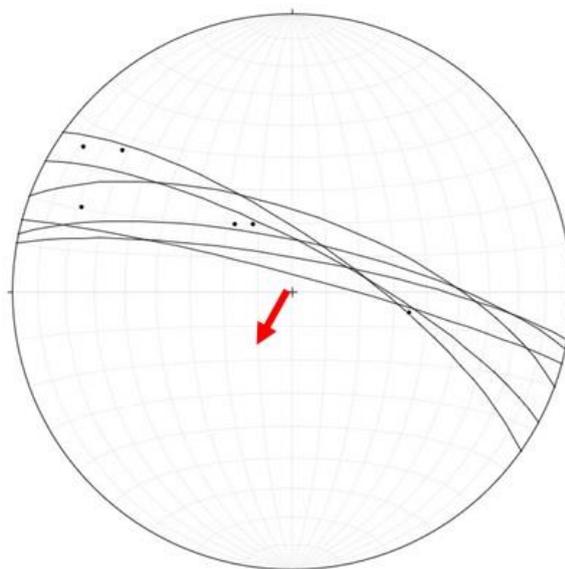
Figura 21 – Fotografias de campo mostrando a geometria da foliação. a) Amostra de mão mostrando a foliação anastomosada (ponto 3). b) Dobra assimétrica com movimento anti-horário (ponto 121). c) Estiramento mineral em grãos de feldspato, caneta demonstrando o plunge da estrutura (ponto 3).



Autor: autor.

As dobras identificadas em campo possuem plano axial mergulhando alto ângulo para NE e eixo mergulhando baixo a alto ângulo predominantemente para NW e secundariamente para SE (Fig 22). Dessa forma, as dobras são classificadas como normais a moderadamente inclinadas e com caimento baixo a moderado, eventualmente dobras verticais. Considerando o mergulho dos planos axiais, as dobras possuem vergência para SW (Fig 22). As dobras são suaves a fechadas, considerando o ângulo formado entre os flancos, e possuem zonas de charneira arredondadas.

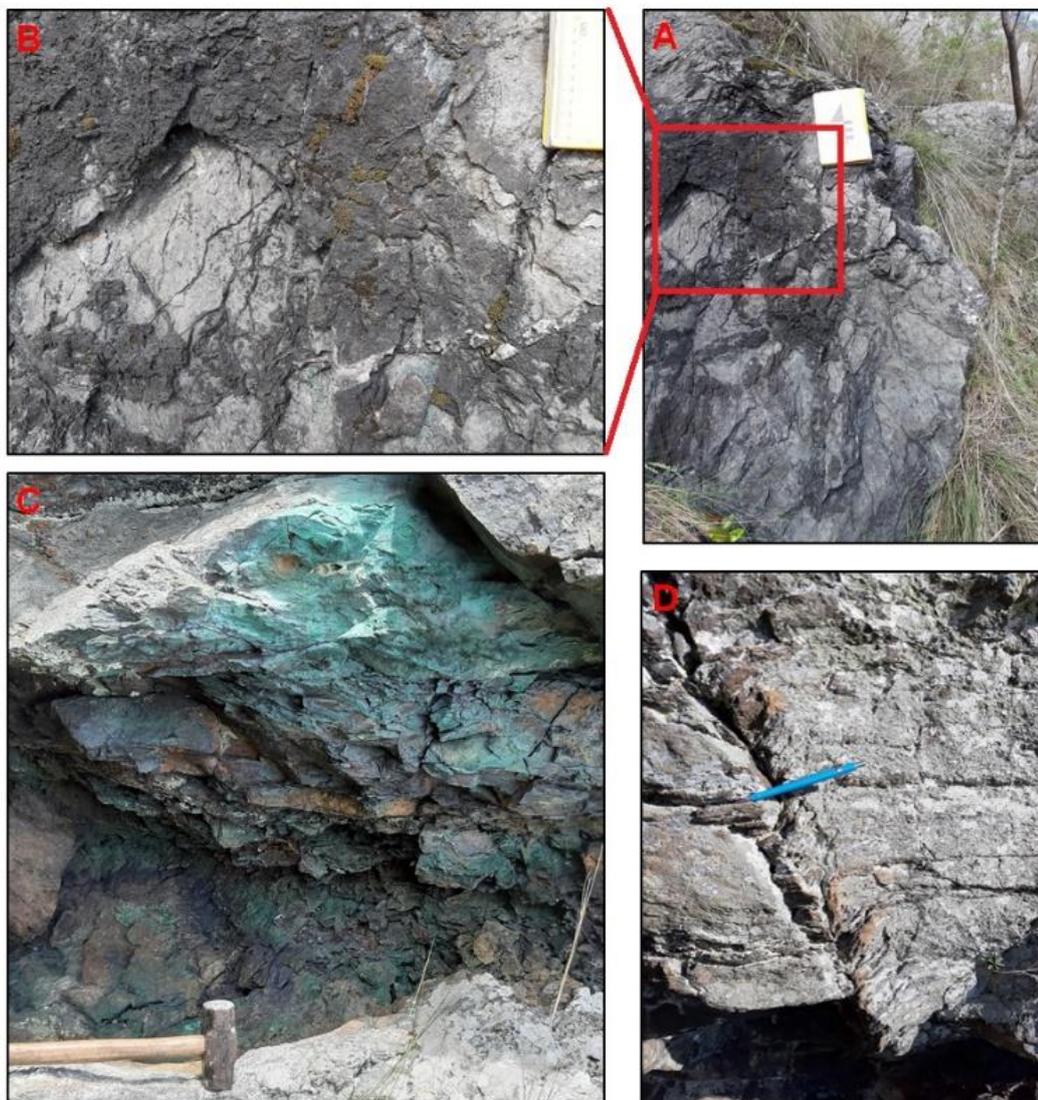
Figura 22 - Estereograma ilustrando os eixos e os planos axiais das dobras identificadas em campo. A seta vermelha indica a vergência das dobras para SW.



Fonte: autor.

Em campo observou-se que as porções com maior concentração de minério estavam próximas a zonas onde ocorrem estruturas de regime dúctil-rúptil. As regiões onde ocorre concentração de minério se concentram ao longo dos planos da foliação e nas zonas de charneiras das dobras (Figs 23 e 24). É muito comum a presença de veios de quartzo e calcita nas regiões onde ocorre maior concentração de minério. Esses veios ocorrem de forma aleatória, e possuem forma similar a *stockwork*, ocorrendo dispersos ao longo da foliação (Fig 23).

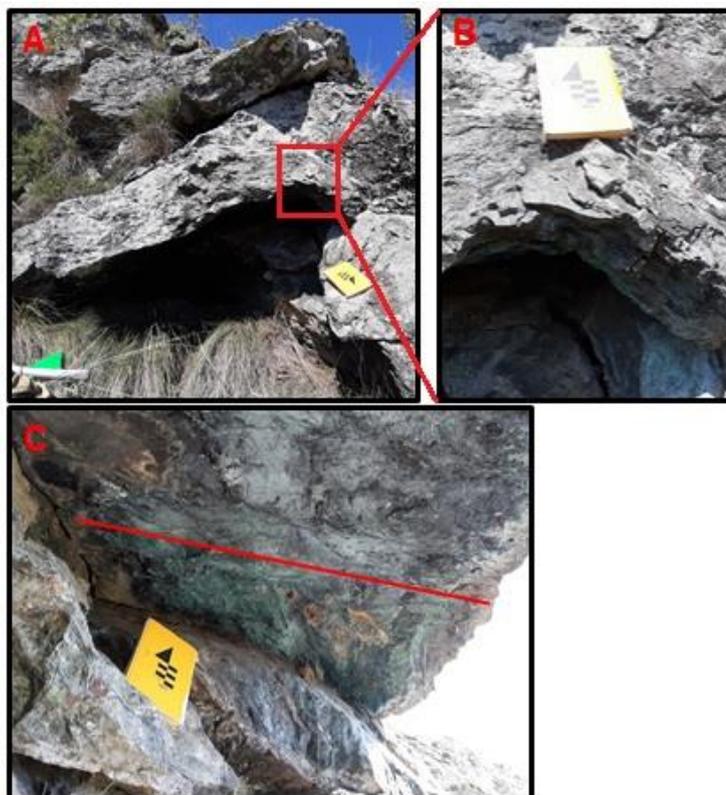
Figura 23 – Fotografias de campo do ponto 110 mostrando a relação dos veios com as estruturas das rochas que contêm mineralizações na área de estudo. A) Afloramento com estruturas preenchidas por veios, em B) Detalhe da zona venulada. C) Zona mineralizada localizada ao lado da figura A). D) Estrutura mostrando deformação em regime dúctil-rúptil.



Fonte: autor.

Algumas das trincheiras e galerias, foram abertas ao longo do plano axial de dobras decimétricas (Fig 25). Na galeria aberta é possível observar como a mineralização ocorre ao longo da foliação.

Figura 24 – Fotografias de campo do ponto 122 mostrando a concentração de minérios ao longo da zona de charneira das dobras. A) Dobra assimétrica. B) Detalhe da zona de charneira da dobra. C) Visão do eixo da dobra contendo mineralização de malaquita.



Fonte: autor.

9.3 – Análise Microestrutural

As rochas coletadas em campo foram classificadas como clorita xisto com textura porfiroclástica inequigranular. Os porfiroclastos de feldspato compõem cerca (20%) possuindo uma granulação de média a grossa em uma matriz fina de clorita (40%), muscovita (20%), quartzo (15%) e opacos (5%).

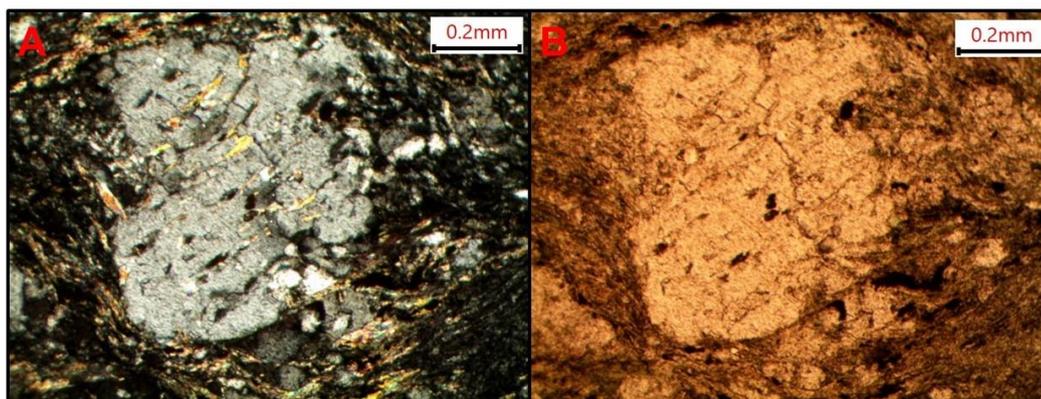
Os porfiroclastos possuem forma subédrica e anédrica variando o tamanho desde 0,1mm a 1cm, apresentando contatos interlobado, e por vezes, serrilhado. Alguns dos porfiroclastos apresenta foliação relíctica (Fig 26).

Figura 25 – Fotografias de campo do ponto 178 mostrando a localização das trincheiras e galeria ao longo da zona de charneira das dobras. A) Entrada da galeria com símbolos representando a direção de mergulho da foliação. B) Imagem da mineralização concordante com os planos da foliação. C) Imagem da trincheira aberta ao longo do plano axial de uma dobra.



Fonte: autor.

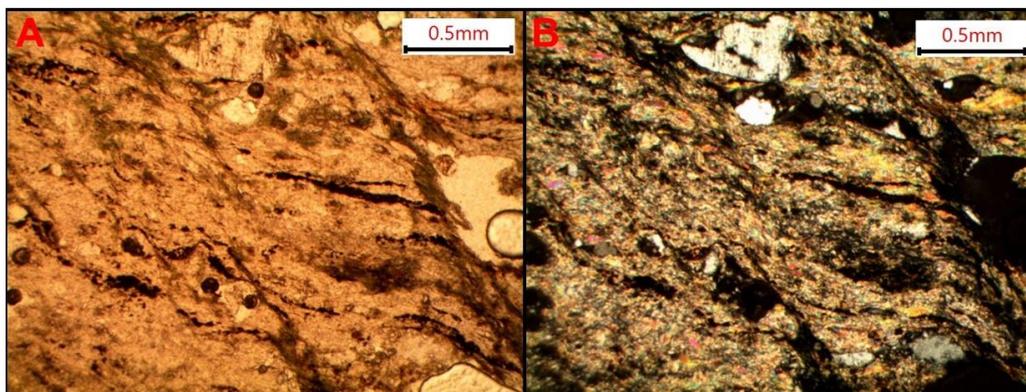
Figura 26 - Porfiroclasto de feldspato com foliação reliquiar, 10x. A) Luz polarizada. B) Luz natural.



Fonte: autor.

A foliação metamórfica (S_1) é finamente espaçada (cerca de 0,06mm) marcada pelos micrólitos de clorita e muscovita. Os grãos opacos ocorrem em sua maioria relacionados aos grãos de feldspato, ocorrendo como inclusões ou concentrados em suas bordas.

Figura 27 - Clivagem de crenulação, 5X. A) luz natural e em B) luz polarizada.

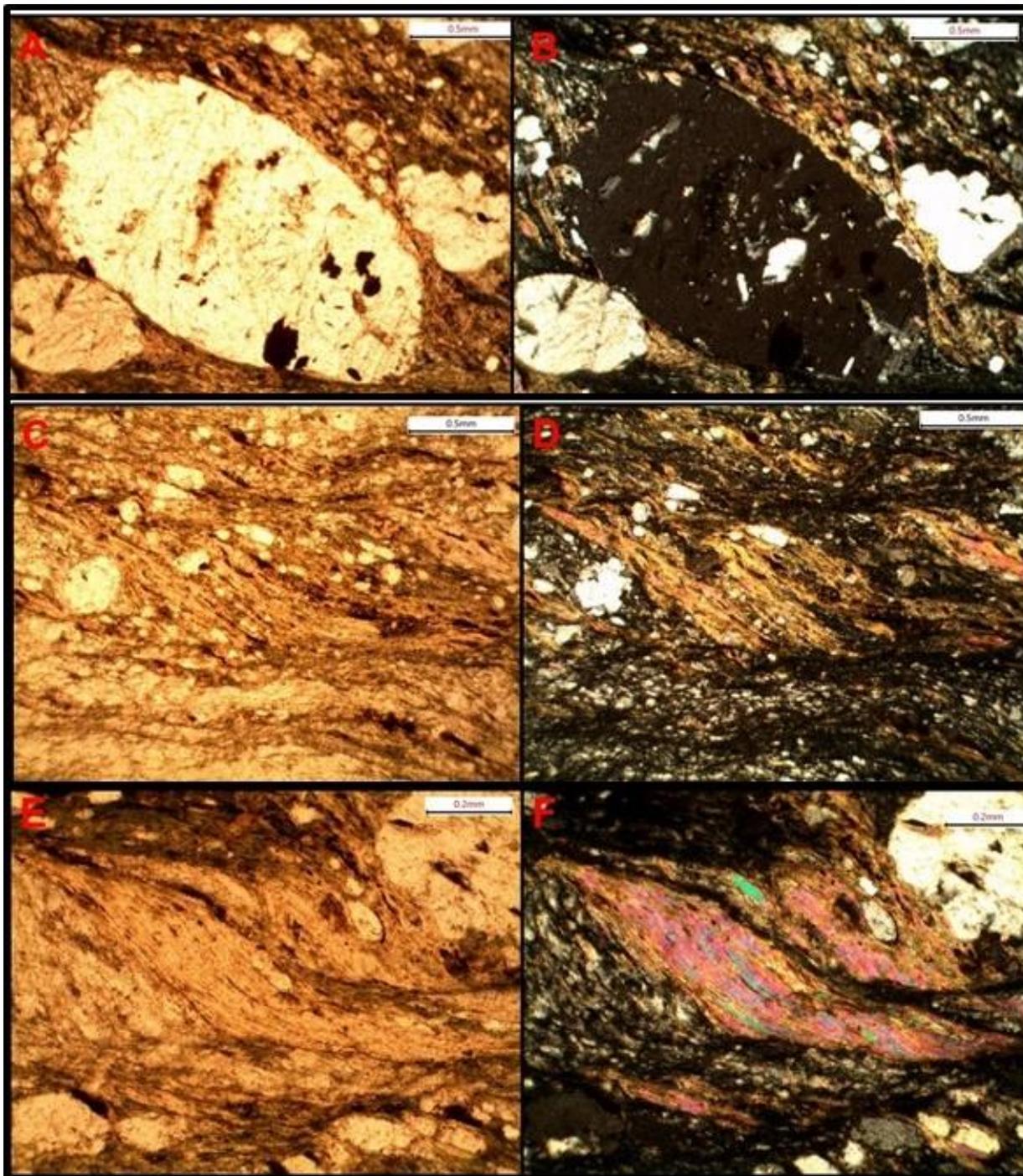


Fonte: autor.

O desenvolvimento da foliação S_2 foi observado em lâminas, como uma clivagem de crenulação espaçada (cerca de 0,6mm), gradacional, marcada pelo plano axial das dobras da foliação S_1 (Fig 27).

As rochas apresentam microestruturas que indicam movimento (Fig 28), evidenciado pelas assimetrias em sombras de pressão em feldspatos com recristalização de quartzo e feldspato em suas caudas, bandas de cisalhamento marcadas pela muscovita evidenciando pares S-C de até 1,5mm e minerais de muscovita assimétricos apresentando estrutura do tipo *mica-fish*. Essas estruturas apresentam movimento sinistral com o topo para SW.

Figura 28 – Fotomicrografias das estruturas identificadas nas lâminas. A) Sombra de pressão em grão de feldspato com assimetria nas caudas demonstrando movimento sinistral, 5x, luz natural e em B) luz polarizada. C) Pares S-C demonstrando cinemática sinistral, 5x, luz natural e em D) luz polarizada. E) Muscovita com estrutura tipo mica-*fish* demonstrando cinemática sinistral, 10x, luz natural e em F) luz polarizada.

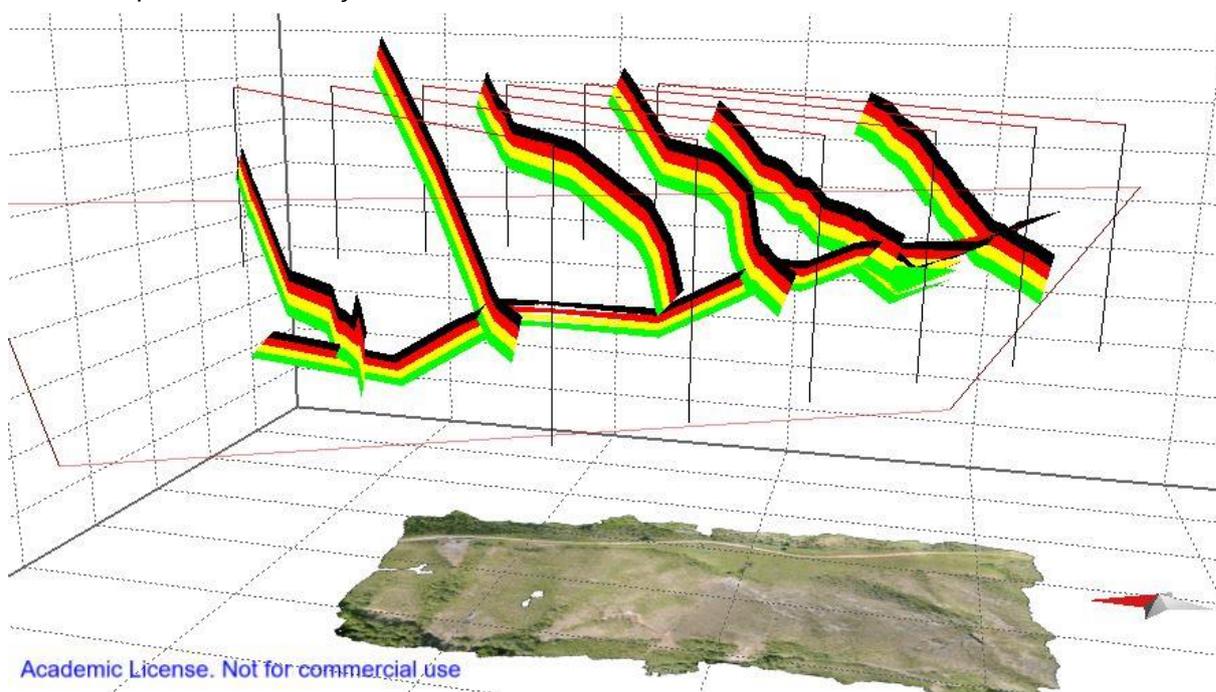


Fonte: autor.

9.4 – Modelagem geológica

A orientação das estruturas planares e lineares adquiridas em campo foram projetadas para as sete seções geológicas. A aplicação do método *kink-band* permitiu a produção automática dos horizontes geológicos em 2d, conforme mostrado na figura 29 em 3d e nas figuras 30, 31, 32, 33, 34, 35 e 36 em 2d.

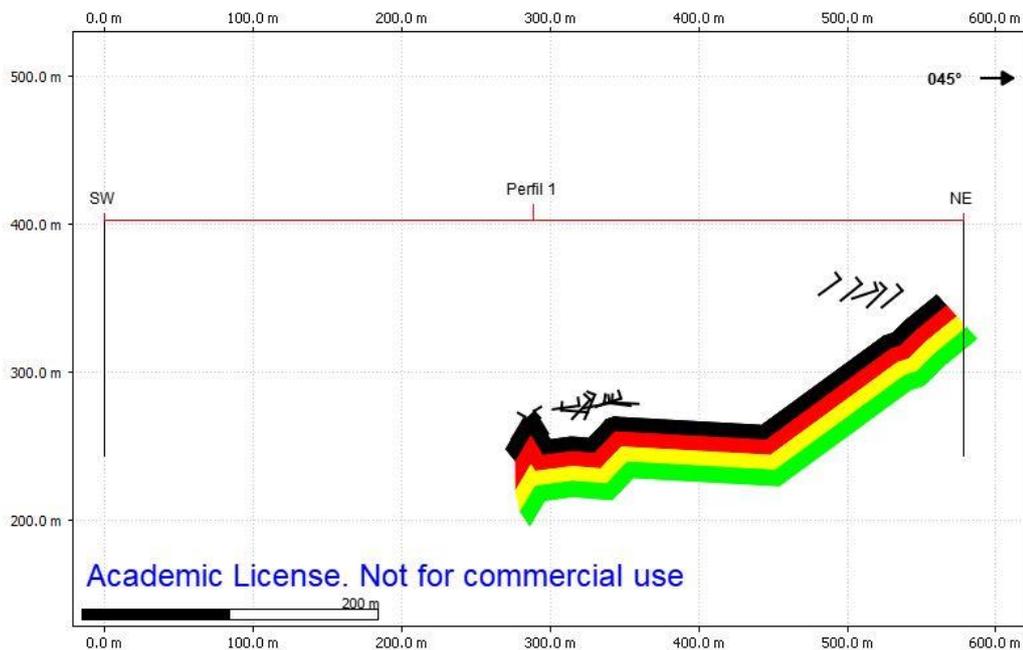
Figura 29 - Visualização 3d das seções geológicas 2d. A rosa dos ventos indica a direção do norte (seta vermelha). De norte para sul são mostrados as seções 1, 2, 3, 4, 5 e 6. A seção 7 é mostrada de forma oblíqua as demais seções.



Fonte: Autor.

A seção 1 se inicia com um mergulho inclinado da foliação até a cota 260m onde assume uma horizontalidade, marcando a inflexão de uma dobra antiforme suave simétrica. O flanco continua horizontal por cerca de 100m onde sofre uma mudança no mergulho marcando uma zona com maior dobramento (Fig 30).

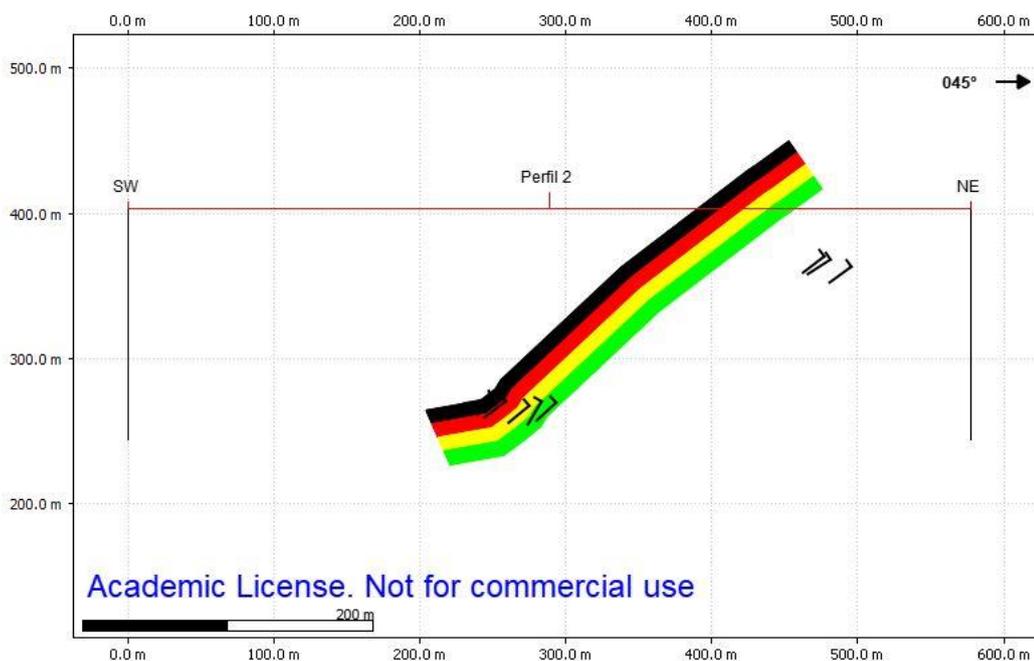
Figura 30 - Seção geológica 1 produzida pela projeção das estruturas de campo e a aplicação do método kink-band.



Fonte: autor.

A seção 2 mostra um mergulho mais acentuado da foliação, sofrendo uma mudança de mergulho mais a SW marcando a inflexão de uma dobra antiforme suave (Fig 31).

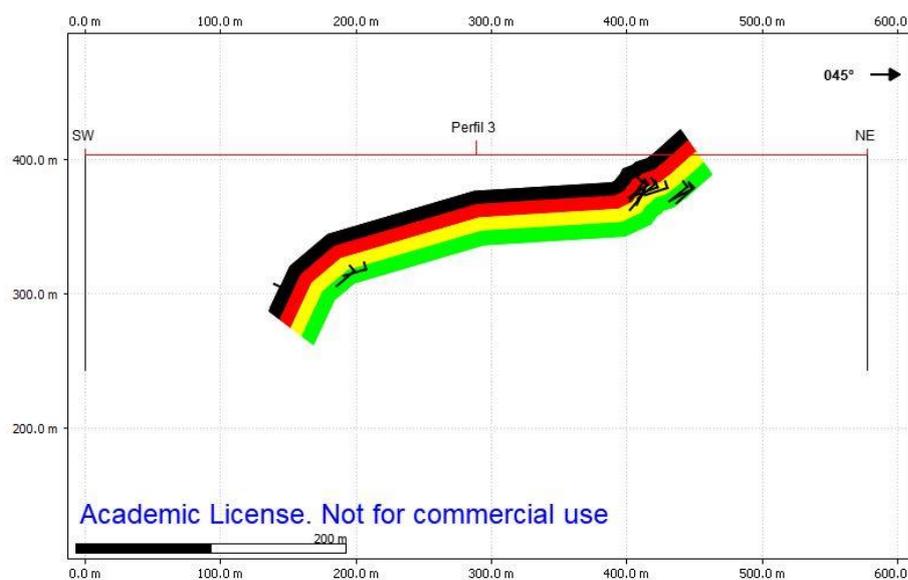
Figura 31 - Seção geológica 2 produzida pela projeção das estruturas de campo e a aplicação do método *kink-band*.



Fonte: autor.

A seção 3 se inicia com um mergulho moderado e em cerca de 30m sofre uma inflexão marcando uma dobra antiforme suave. Mantendo o baixo mergulho por cerca de 200m ela sofre uma mudança brusca no ângulo de mergulho marcando uma dobra antiforme assimétrica recumbente (Fig 32).

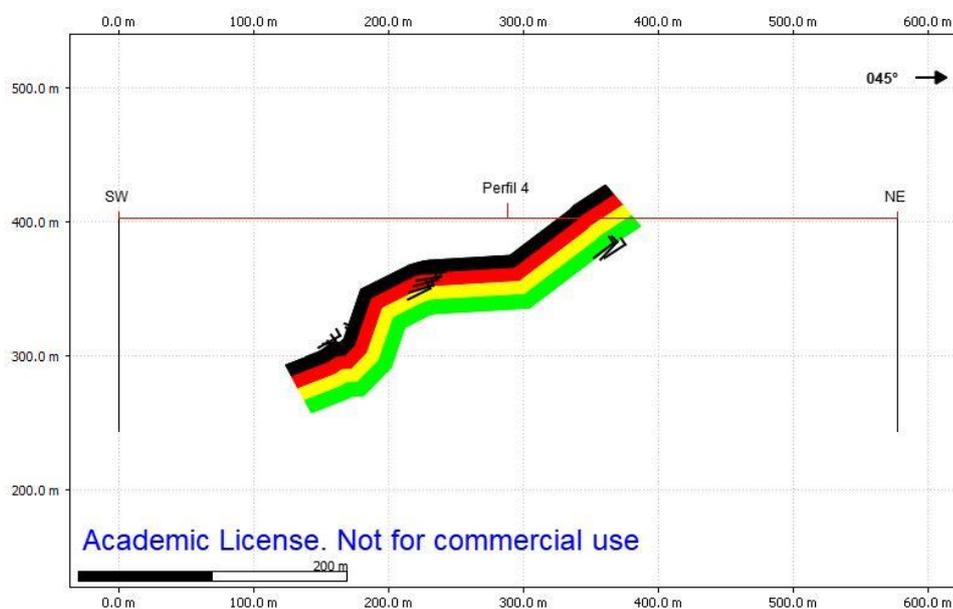
Figura 32 - Seção geológica 3 produzida pela projeção das estruturas de campo e a aplicação do método *kink-band*.



Fonte: autor.

A seção 4 apresenta a primeira dobra (de cima para baixo) sinforme, suave e simétrica, com a foliação se iniciando em ângulo mediano, seguindo de uma horizontalidade marcando o maior flanco da dobra antiforme assimétrica (Fig 33).

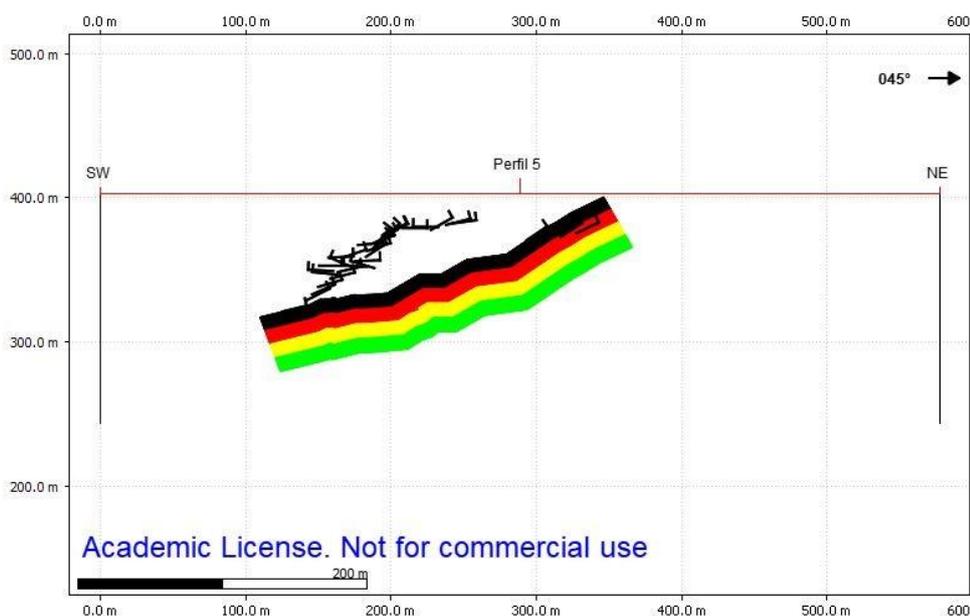
Figura 33 - Seção geológica 4 produzida pela projeção das estruturas de campo e a aplicação do método *kink-band*.



Fonte: autor.

Na seção 5 não é visto nenhuma dobra de maior amplitude, porém é possível perceber a diferença entre os mergulhos ao longa da seção que ficam representados como pequenas dobras abertas na seção (Fig 34).

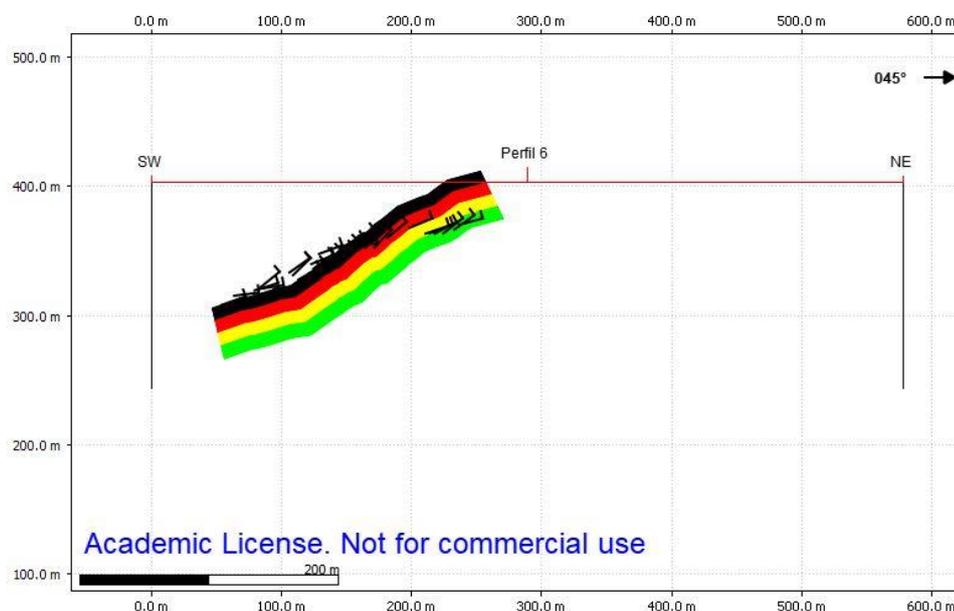
Figura 34 - Seção geológica 5 produzida pela projeção das estruturas de campo e a aplicação do método *kink-band*.



Fonte: Autor

Na seção 6, assim como na 5, não apresenta nenhuma dobra de tamanho considerável, estando a foliação mergulhando para SW com algumas variações no ângulo de mergulho (Fig 35). A variação na foliação pode ser reflexo das dobras assimétricas no flanco das dobras regionais.

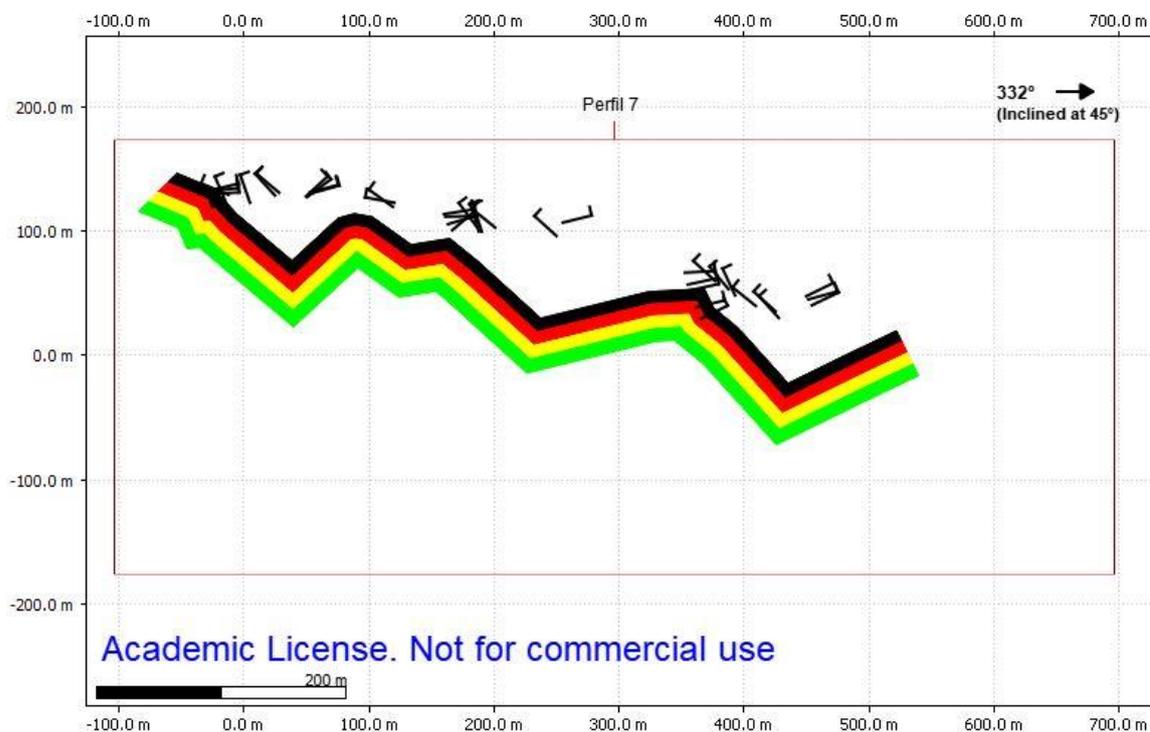
Figura 35 - Seção geológica 6 produzida pela projeção das estruturas de campo e a aplicação do método *kink-band*.



Fonte: autor.

A seção 7, diferente dos demais, foi elaborado com uma inclinação de 45° e na direção NW-SE. Essa seção buscou intersectar os planos axiais das maiores dobras vistas nas seções 1,2,3 e 4. É possível ver uma sequência de dobramentos sinformes e antiforme, com as dobras variando de suaves a serradas de forma simétricas, sem indicar uma vergência principal de movimento (Fig 36).

Figura 36 - Seção geológica 7 produzida pela projeção das estruturas de campo e a aplicação do método *kink-band*.



Fonte: autor.

Dos 252 pontos, 63 eram afloramentos contendo mineralização cuprífera. Esses pontos foram plotados no modelo afim de analisar a distribuição espacial desses afloramentos, na figura 37 é possível ver a localização desses pontos. No modelo 3D, é possível analisar um alinhamento entre os pontos mineralizados na direção SW, como visto na figura 38. O alinhamento entre os pontos mineralizados coincide com os eixos das dobras modeladas na seção 7, que mergulham para SW.

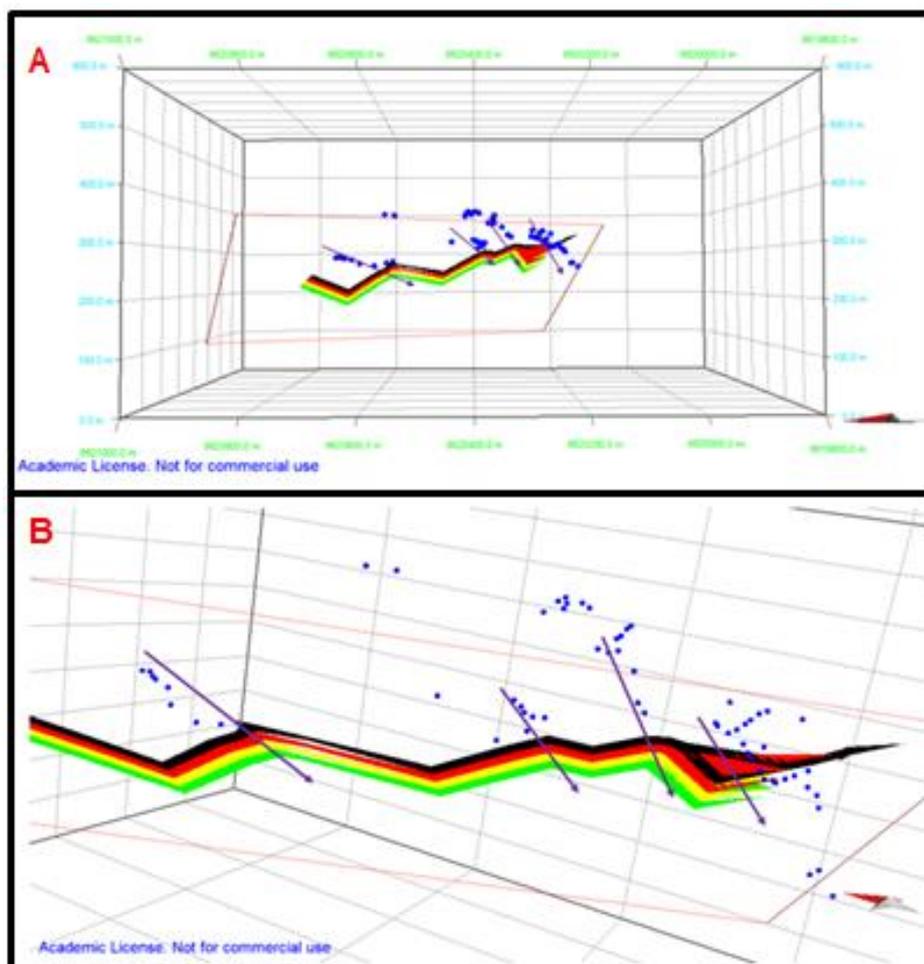
Os pontos mineralizados também apresentam uma concentração nas zonas de charneiras quando vemos os perfis elaborados a SW-NE, não demonstrando alinhamento, mas se encontram próximos às zonas de inflexão das dobras (Fig 39).

Figura 37 - Mapa mostrando a localização dos pontos mineralizados.



Fonte: autor.

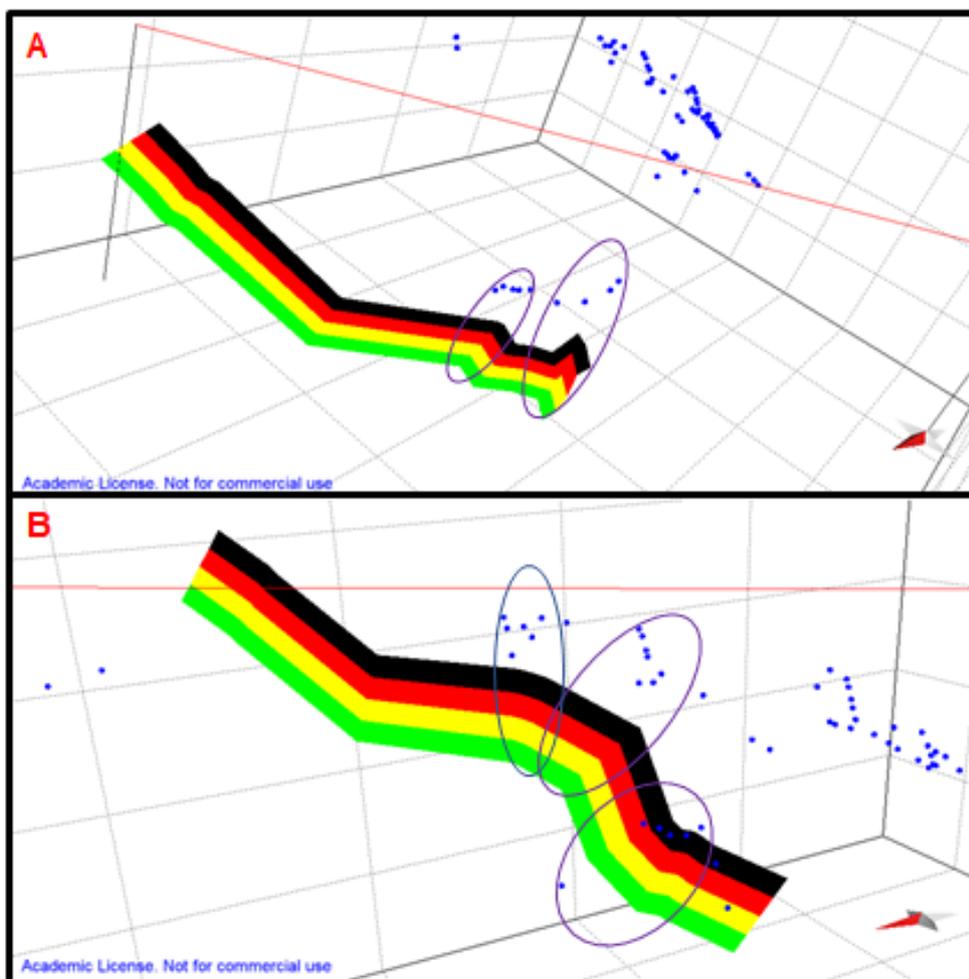
Figura 38 – Representação 3d da seção geológica 7 com os pontos mineralizados inseridos no modelo. Setas indicando tendência direcional da posição dos pontos mineralizados.



Fonte: autor.

Os pontos mineralizados também apresentam uma concentração nas zonas de charneiras quando vemos os perfis elaborados a SW-NE, não demonstrando alinhamento, mas se encontram próximos às zonas de inflexão das dobras (Fig 39).

Figura 39 -Representação 3d da seção geológica 1 e 4. A) Seção 1 com pontos mineralizados próximo as charneiras das dobras. B) Seção 4 ilustrando a mesma situação que a seção 1.



Fonte: autor.

10 – DISCUSSÃO DOS RESULTADOS E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com os resultados obtidos na etapa de campo e a modelagem estrutural foi possível definir que os padrões de dobramento na área de estudo tendem a formar dobras suaves a cerradas, assimétricas, antiformais e sinformais, com vergência para SW. Esse padrão de direção do deslocamento foi verificado também nas microestruturas, onde o topo delas seguem a direção SW com movimento sinistral, seguindo o padrão observado em campo.

Na análise microscópica foi possível verificar que a rocha passou por pelo menos, dois eventos deformacionais. Evidenciado pelas foliações reliquias dentro dos grãos de feldspato e a geração da clivagem de crenulação.

Foi observado que a mineralização é mais marcante ao longo dos planos da foliação, tendendo a se concentrar nas charneiras das dobras. A relação entre a mineralização e sua percolação através de estruturas rúpteis já é bem relatada na bibliografia (RIBEIRO, 1966; RIBEIRO, 1978; REMUS, 2000). Em Rocha *et al.* (2013), além de indicar o controle rúptil, o autor destaca a disseminação da mineralização ao longo da foliação. Os dados adquiridos no presente trabalho sugerem que os locais onde a mineralização está hospedada, além de serem regidas pelas estruturas rúpteis, obedecem a estruturação dúctil se concentrando nas zonas de charneira das dobras.

Rocha *et al.* (2013) relatam a presença em subsuperfície de um corpo alongado de alto teor (0,80% Cu), tendo o *plunge* com caimento para SSW. Essa orientação é similar com: a vergência das dobras vistas em campo; o sentido de deslocamento das microestruturas; as dobras modeladas nos perfis estruturais (1 a 6); com o alinhamento dos pontos mineralizados; e com os eixos das dobras modeladas no seção 7. A área de estudo, assim como todo o CMPF, possui um forte controle estrutural devido a intrusão do CGCS, definindo a disposição da foliação metamórfica em todo o complexo (NARDI & BITENCOURT, 1989).

Esses indícios corroboram com a sugestão de, somado ao controle rúptil, a mineralização cuprífera também possui um controle dúctil na sua disposição no depósito de cobre do Andrade.

Esse controle somente foi observado diretamente em superfície, onde a mineralização é principalmente, segundo Rocha *et al.* (2013), oxidada devido ação supergênica (minério lixiviável). Podendo ser que o controle dúctil atue somente nessa zona oxidada do depósito.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, F. F. M. Origem e evolução da Plataforma Brasileira. **Bol. Div. Geol. Min.** v.241, p.1-36. 1967.

ALMEIDA, R. P.. **Tectônica e sedimentação do Ediacarano ao Ordoviciano: exemplos do Supergrupo Camaquã (RS) e do Grupo Caacupé (Paraguai Oriental)**. Tese de doutoramento. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

ASSEMBLEIA LEGISLATIVA DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, “COBRE” potencialidade a ser explorada, 1977.

BICCA, Marcos Müller. **Tectônica e Proveniência do Grupo Santa Bárbara, Região de Minas do Camaquã, RS**. 2013. 125 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

BIONDI, J.C. **Processos metalogenéticos e os depósitos minerais brasileiros**. 2003. Oficina de Textos, São Paulo, p. 100.

BITENCOURT, M.F. Metamorfitos da Região de Caçapava do Sul, RS: Geologia e relações com o corpo granítico. In: Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia, 1, 1983, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Geologia, 1983. p. 37-48.

CAMACHO, L.R. **Avaliação Ambiental na Mina do Cerro dos Andradas, Caçapava do Sul, RS, Brasil**. 2006. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química) - Universidade Luterana do Brasil.

CAMOZZATO, E.; TONIOLO, J. A.; LAUX, J. H. Metalogênese do Cinturão Dom Feliciano e Fragmentos Paleocontinentais Associados (RS/SC). In: **Metalogênese das Províncias Tectônicas Brasileiras**. 2014

CARRIVICK, J. L.; SMITH, M. W.; QUINCEY, D. J. **Structure From Motion in the Geosciences**. Londres, Reino Unido: John Wiley & Sons, Ltd., 2016.

CARVALHO, P. F. 1932. **Reconhecimento geológico no Estado do Rio Grande do Sul**. Rio de Janeiro, Serviço Geológico e Mineralógico do Brasil, p. 1-72 (Boletim 66).

CAWOOD, A. J. **LiDAR, UAV or compass-clinometer? Accuracy, coverage and the effects on structural models**. Ed. 98. Journal of Structural Geology. P67-82. 2017.

CHEMALE JR, F. Evolução Geológica do Escudo Sul-rio-grandense. In: HOLZ, M.; DE ROS, L.F. **Geologia do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: CIGO- UFRGS, V, 2000. p. 13-52.

COELHO, F. L. C. T.; BRITO, J. L. N. e S. **Fotogrametria Digital**. Rio de Janeiro: EdUERJ, 2007. 196p.

Comisión Chilena del Sobre (COCHILCO). Disponível em: <https://www.cochilco.cl/Paginas/Sala-de-Prensa/Noticias.aspx?ID=271> . Acesso em: 08 de setembro de 2018. Entrevista com **Jorge Cantallopts**

COWAN, E.J.; BEATSON, R.K.; ROSS, H.J.; FRIGHT, W.R.; MCLENNAN, T.J.; EVANS, T.R.; CARR, J.C.; LANE, R.G.; BRIGHT, D.V.; GILLMAN, A.J.; OSHUST, P.A.; TITLEY, M. **Practical Implicit Geological Modelling**. 5th International Mining Geology Conference. n. 8, 2003. Bendigo, Victoria.

DAVIS, George H.; REYNOLDS. **Structural geology of rocks and regions**. John Wiley & Sons, 1996.

DNPM. Disponível em: <http://sigmine.dnpm.gov.br/webmap/>. Acesso em 6 de setembro de 2019.

DONOSO MUÑOZ, Manuel J. El mercado del cobre a nivel mundial: evolución, riesgos, características y potencialidades futuras. **Ingeniare. Revista chilena de ingeniería**, v. 21, n. 2, p. 248-261, 2013.

EVANGELISTA, H. J. Microestruturas de rochas Metamórficas. *Departamento de Geologia–Escola de Minas/UFOP, Ouro Preto, MG*, 2003.

FLEUTY, M. J. **The description of folds**. Proceedings of the Geologists' Association, 74, n. 4,4 Junho 1964. 461-492.

FOSSÉN, H. **Geologia estrutural**. Tradução Fábio R. D. de Andrade. São Paulo. Oficina de Textos, 2012.

FRAGOSO-CESAR, A. R. S. O Cráton Rio de La Plata e o Cinturão Dom Feliciano no Escudo Uruguaio-SulrioGrandense. In: Congr. Bras. Geol., 31, 1980, Balneário Camboriú. **Anais Balneário Camboriú**: SBG, n.5, p. 2879-2892, 1980.

FRAGOSO-CESAR, A. R. S.; ALMEIDA, R. P.; FAMBRINI, G. L.; PELOSI, A. P. M. R.; JANIKIAN, L. A Bacia Camaquã: um sistema intracontinental anorogênico de rifts do Neoproterozóico III-Eopaleozóico no Rio Grande do Sul. In: Encontro Estrat. Rio Grande do Sul – Escudos e Bacias, 1, Porto Alegre: SBG, **Anais...** p.139-144. 2003.

FURTADO, S.M.A. **Contribuição aos estudos petrológico, geoquímico e metalogenético da ocorrência cuprífera de Cerro dos Andradas, Caçapava do Sul-RS.** 1980. Unpublished M.Sc.Thesis, Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 163p.

GROSHONG, Richard H. Jr. **3-D Structural Geology - A Practical Guide to Quantitative Surface and Subsurface Map Interpretation.** Netherlands: Springer, 2006.

HARRES, M. M. Minas do Camaquã (Caçapava do Sul, RS): a exploração de cobre no Rio Grande do Sul. In: **Minas do Camaquã, um estudo multidisciplinar.** São Leopoldo, Ed. Unisinos, 1999, p 21-53

HARTMANN, L. A.; CHEMALE JR, F.; PHILIPP, R. P. Evolução Geotectônica do Rio Grande do Sul no Pré-Cambriano. In: IANUZZI, R. ; FRANTZ, J. C. In: **50 anos de Geologia:** Instituto de Geociências. Contribuições.Porto Alegre: Comunicação e Identidade, CIGO e IG-UFRGS, 2007. 399 p.

ISAAKS, Edward H. & SRIVASTAVA, R. Mohan Srivastava. **An Introduction to Applied Geostatistics.** 1ª ed. Oxford University Press, 1990

KEAREY, Philip; KLEPEIS, Keith A.; VINE, Frederick J. **Tectônica Global.** Bookman Editora, 2014.

KUMAIRA, Sissa. **Análise e modelagem estrutural do Domo de Brasília.** Dissertação de mestrado – Programa de Pós-graduação em geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

LEINZ, V.; BARBOSA, A.; TEIXEIRA, E. Mapa Geológico Caçapava-Lavras. Porto Alegre: Secr. Agric. Ind. Com. Dep. Prod. Min, 1941. **Boletim 90.** 1:200.000

LISBOA, Isadora Pinto. **Estudo da mineralização do Depósito Andradas, Caçapava do Sul - RS.** 2018. 57 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Geologia, Universidade Federal do Pampa, Caçapava do Sul, 2018.

LOPES, Carina Graciniana et al. Provenance of the Passo Feio complex, Dom Feliciano Belt: Implications for the age of supracrustal rocks of the São Gabriel Arc, southern Brazil. **Journal Of South American Earth Sciences**, Brasil, v. 58, n. 9, p.9-16, 27 nov. 2014.

MACHADO, Bruno Nunes. **Geologia e paragênese mineral das mineralizações no granito Santo Ferreira, Sudeste de Caçapava do Sul – RS**. 2017. 89 f. Trabalho de Conclusão de Curso - Curso de Geologia, Universidade Federal do Pampa, Caçapava do Sul, 2017.

MICHELETTI, Natan; CHANDLER, Jim H.; LANE, Stuart N. Structure from motion (SFM) photogrammetry. 2015.

MOVE™. **Midland Valley Exploration**, 2015.

NARDI, L.V.S. & BITENCOURT, MF. **Geologia, petrologia e geoquímica do Complexo Granítico de Caçapava do Sul, RS**. Revista Brasileira de Geociências, 19:153-169. 1989

NARDI, L.V.S. & BITENCOURT, M.F. Magmatismo granítico e Evolução Crustal no Sul do Brasil. In: Iannuzzi R., Frantz J.C. (Eds.), **50 anos de Geologia**. Instituto de Geociências, vol. 1. Editora Comunicação e Identidade, Porto Alegre 399 p., 2007

PASSCHIER, C. W.; MYERS, J. S.; KRÖNER, A. **Geologia de Campo de Terrenos Gnáissicos de Alto Grau**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1993. 185 p.

PASSCHIER, C.W., & TROUW, R. A. J. **Microtectonics**. Belin, Springer-Verlag, 366p, 2005.

RAGAN, D. M. **Structural Geology: An Introduction to Geometrical Techniques**. 4ª Edição. Nova York, EUA. Cambridge University Press, 2009.

REMUS M.V.D. **Metalogênese dos depósitos hidrotermais de metais base e Au do Ciclo Brasileiro do Bloco São Gabriel, RS**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul-URGS, 170p, 1999.

REMUS, M. V. D. et al. The link between hydrothermal epigenetic copper mineralization and the Caçapava Granite of the Brasiliano Cycle in southern Brazil. **Journal Of South American Earth Sciences**, São Paulo, v. 13, p.191-216, jan. 2000.

REMUS, M.D.V., HARTMANN, L.A., MCNAUGHTON, N.J., FLETCHER, I.R. Shrimp U-Pb zircon ages of volcanism from the São Gabriel Block, southern Brazil. In: Simpósio sobre vulcanismo e ambientes associados. **Anais...** Boletim de Resumos, 83, 1999.

RIBEIRO M. J. Mapa Previsional do Cobre no Escudo Sul-Rio-Grandense. **Nota explicativa, geologia econômica nº 01, DNPM**. Brasília, 1978.

RIBEIRO, M.; BOCCHI, P. R.; FIGUEIREDO, P. M. Geologia da Quadrícula de Caçapava do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil. **Boletim DNPM DFPM**, Porto Alegre, 1966, n. 127, 1966.

ROCHA A.M.R.; DORNELES N.T.; GINDRI M.D.; VARGAS J.M.; ALVES T.C.; BENETTI F.A. Características da Mineralização Cuprífera no Projeto Primavera: a descoberta de um plunge mineralizado indicado por zona de alto teor de cobre no Depósito Andrade. In: Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia, 8, 2013, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Geologia, 2013.

ROWLAND, Stephen M.; DUEBENDORFER, Ernest M.; SCHIEFELBEIN, Ilsa M. *Structural analysis and synthesis: a laboratory course in structural geology*. John Wiley & Sons, 2013.

SARTORI, P.L.P. & KAWASHITA, K. 1985. Petrologia geocronologia do Batólito Granítico de Caçapava do Sul, RS./n:SIMP. SUL-BRAS. GEOL., 2, Florianópolis, 1985. *Atas ...Florianópolis, SBG*. p. 102-115.

SILVA, Rogério Marques et al. ESPAÇO E TEMPO NAS MINAS DO CAMAQUÃ EM CAÇAPAVA DO SUL/RS. 2008.

SUPPE, J. **Principles of Structural Geology**. [S.1.]: Prentice-Hall, 1985, 538 p.

TAVANI, S.; CORRADETI, A.; BILLI, A. **High precision analysis of an embryonic extensional fault-related fold using 3D orthorectified virtual outcrops: The viewpoint importance in structural geology**. Journal of Structural Geology. Vol.86. P 200-210. 2016.

TAVANI, S.; GRANADO, P.; CORRADETTI, A.; GIRUNDO M.; IANNACE, A.; ARBUÉS, P.; MUÑOZ J. A.; MAAZZOLI, S. Building a virtual outcrop, extracting geological information from it, and sharing the results in Google Earth via OpenPlot and Photoscan: Na example from the Khaviz Anticline (Iran). *Computers & Geosciences*, v. 63, p. 44-53, 2014.

TEIXEIRA, E. A mina de cobre de Camaquã, RS. Rio de Janeiro: **Boletim Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM** / Divisão de Fomento da Produção Mineral. 49, 47 p., 1941

TICKYJ, Hugo et al. Electron microprobe dating of monazite substantiates ages of major geological events in the southern Brazilian Shield. **Journal Of South American Earth Sciences**, São Paulo, v. 16, p.699-713, jan. 2004.

VOLLGGER, S. A.; CRUDEN, A.R.; AILLERES, L.; COWAN, E.J. Regional dome evolution and its control on ore-grade distribution: Insights from 3D implicit modelling of the Navachab gold deposit, Namibia. **Ore Geology Reviews**, Vol. 69, p. 268–284, 2015.

WESTOBY, Matthew J. et al. 'Structure-from-Motion photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. **Geomorphology**, v. 179, p. 300-314, 2012.