

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**CARACTERIZAÇÃO LITO-ESTRUTURAL DO DEPÓSITO DE
COBRE DAS MINAS DO CAMAQUÃ, CAÇAPAVA DO SUL, RS.**

Fernando Cesar Caramello

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Corrêa de Abreu

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-10/19)

SÃO PAULO

2010

TF
C259
FC.c

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DEDALUS - Acervo - IGC



30900028384

**CARACTERIZAÇÃO LITO-ESTRUTURAL DO DEPÓSITO DE
COBRE DAS MINAS DO CAMAQUÃ, CAÇAPAVA DO SUL, RS**

Fernando Cesar Caramello



MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-10/19)

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Gustavo Corrêa de Abreu (Orientador)

Prof. Dr. Johann Hans Daniel Schorscher (Relator)

Profa. Dra. Maria Irene Bartolomeu Raposo (CTF)

Tf
C259
FC 0

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOLOGIA

CARTEIRA DE MEMBRO DO INSTITUTO DE GEOLOGIA
CORREIO DAS MONTANHAS, CAMPANHA DE 1911



Estimado Senhor Caríssimo

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(1911-1912)

Ilmo. Sr. Dr. ...

Prof. Dr. ...
Prof. Dr. ...
Prof. Dr. ...

Trabalho de Formatura 10/19

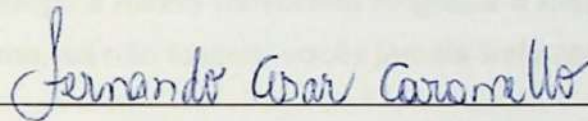
Título: Caracterização lito-estrutural do depósito de cobre das Minas do Camaquã, Caçapava do Sul, RS.

Aluno: Fernando Cesar Caramello

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Corrêa de Abreu

Instituto de Geociências – Departamento de Geologia Sedimentar e Ambiental (GSA)

De acordo,



Fernando Cesar Caramello

Aluno



Gustavo Corrêa de Abreu

Orientador

São Paulo, 08 de Novembro de 2010.

AGRADECIMENTOS

Agradeço inicialmente o Prof. Gustavo de Abreu, pela colaboração e apoio na elaboração e desenvolvimento do projeto. Obrigado pela confiança.

Agradeço ao pessoal da Votorantim Metais (Julio, Juliano, Hécio e Saulo) pela ajuda diária, e pelo apoio depositado na realização do projeto.

Aos amigos da turma de 2006, agradeço de coração pela participação na vida geológica e na minha vida. Os momentos vividos com vocês serão inesquecíveis. Valeu pessoal.

Agradeço aos amigos mais próximos (Stephano, Gustavo, Marcus, Lucas, Diego, Ligia, Fares, Marcos Flor, Scheila, Cintia, Denise, Paula, Fabi, Tiago Nulo, Sergio, Renato e Victor). Espero que a formatura não leve vocês para longe.

Por fim, agradeço a minha namorada Angélica e minha família pelo apoio e carinho. Sem dúvidas nenhuma, se não fossem vocês jamais teria conquistado mais esse objetivo.

RESUMO

As Minas do Camaquã localizam-se no município de Caçapava do Sul, região centro-sudoeste do estado do Rio Grande do Sul. O complexo das Minas do Camaquã é composto pelas cavas Piritas, Intermediária, Uruguai e São Luiz (subsolo).

Este trabalho busca caracterizar lito-estruturalmente a jazida de cobre das Minas do Camaquã, buscando compreender a estratigrafia dos litotipos da área e o posicionamento das mineralizações de cobre, através da aplicação de técnicas de mapeamento geológico detalhado das minas de cobre.

As rochas sedimentares das Minas do Camaquã pertencem ao Grupo Santa Bárbara composto por conglomerados e arenitos, principalmente.

As mineralizações de cobre (calcopirita, bornita e calcocita) aparecem junto aos planos de falhas, no preenchimento de fraturas de tensão (T) e em zonas brechadas. As mineralizações apresentam-se na forma de filões maciços e disseminações próximas as zonas de falhas e fraturas. Essas estruturas mineralizadas estão dispostas preferencialmente, segundo a direção NNW a NW.

A análise estrutural em estereogramas permitiu observar, que as camadas das rochas sedimentares das Minas do Camaquã estão dispostas na direção NE, mergulhando para NW. Observou-se também, que as fraturas e falhas normais estão dispostas preferencialmente segundo a direção NW, mergulhando tanto para NE, quanto para SW.

ABSTRACT

The Camaquã's mines are located in the Caçapava do Sul city, southern region of the Rio Grande do Sul state. The Mines of Camaquã complex is composed of the open pit Piritas, Intermediária, Uruguai and São Luiz (underground).

This work aims to characterize litho-structural the copper deposit of Mines Camaquã, try to understand the stratigraphy of rocks of the area and main controll of the copper mineralization, by applying techniques of detailed geological mapping of the copper mines.

The sedimentary rocks of Mines Camaquã belong to the Santa Barbara group, composed of conglomerates and sandstones, mainly.

The copper mineralization (chalcopryite, bornite and chalcocite) are inside fault planes, filling tension fractures (T) and brecciated zones. The mineralization ore is present as massive veins and disseminations near fault zones and fractures. These mineralized structures are conditioned mainly in NNW to NW direction.

Structural analysis of stereograms allowed to observe, that the layers of sedimentary rocks of Mines Camaquã, are arranged in a NE direction, dipping to NW. It was also noted that the fractures and normal faults are arranged preferably according to the NW, plunging both NE and SW.

ÍNDICE

1. Introdução	1
1.1. Localização da área de estudo.....	1
2. Metas e Objetivos	3
3. Revisão Bibliográfica	3
3.1. Contexto Geológico Regional.....	3
3.2. Contexto Tectônico	5
3.3. Geologia Local	7
3.4. Mineralização	7
3.5. Metalogênese	9
4. Modelos Genéticos para Depósitos de Cobre.....	10
4.1. Depósitos de cobre hospedados em sedimentos	10
4.2. Depósitos tipo IOCG (<i>Iron Oxide – Copper – Gold</i>).....	11
4.3. Depósitos tipo SEDEX (Depósitos sedimentares-exalativos)	13
4.4. Depósitos tipo Pórfiro	13
4.5. Depósitos tipo VMS (Sulfetos Maciços Vulcanogênicos).....	14
4.6. Depósitos magmáticos Cu-Ni-PGE	15
4.7. Depósitos epitermais.....	15
4.8. Discussão	16
5. Materiais e Métodos	19
6. Desenvolvimento do Trabalho	22
7. Resultados	23
7.1. Geologia Local	23
7.1.1. Cava Piritas	23
7.1.2. Cava Intermediária	27
7.1.3. Cava Uruguai.....	29
7.2. Geologia Estrutural	31
8. Conclusão	42
9. Referências Bibliográficas	44

ANEXOS

ANEXO I – Banco de dados (DVD)

ANEXO II – Mapas geológicos (Cavas Piritas, Intermediária, Uruguai e Minas do Camaquã)

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localização da área de estudo	2
Figura 2. Esboço geológico da Província Mantiqueira e mapa geológico do Supergupo Camaquã e áreas adjacentes (Almeida, R.P 2005)	6
Figura 3. Minas do Camaquã: cavas Piritas, Uruguai e Intermediária	8
Figura 4. Ilustração de um modelo genético de depósito pórfiro de Cu	14
Figura 5. Exemplo de amostras serradas, que contribuíram para uma melhor visualização de suas características texturais e mineralógicas	21
Figura 6. Cava Piritas	25
Figura 7. Cava Piritas	26
Figura 8. Cava Intermediária	27
Figura 9. Cava Intermediária	28
Figura 10. Cava Uruguai	30
Figura 11. Estereograma (em projeção polar) e diagrama do tipo roseta de densidade das medidas de acamamento das Minas do Camaquã	31
Figura 12. Estereogramas (em projeção polar) das medidas de acamamento, das cavas Piritas, Intermediária e Uruguai	33
Figura 13. Estereograma (em projeção polar) e diagrama do tipo roseta de densidade das medidas de fraturas das Minas do Camaquã	34
Figura 14. Estereogramas (em projeção polar) e diagramas do tipo roseta de densidade das medidas de fraturas, das cavas Piritas, Intermediária e Uruguai	36
Figura 15. Estereogramas das medidas de falhas das Minas do Camaquã	37
Figura 16. Estereogramas (em projeção polar) e diagrama tipo roseta de densidade das medidas de falhas normais e inversas, das cavas Piritas, Intermediária e Uruguai ...	39
Figura 17. Estruturas observadas na cava Piritas	40
Figura 18. Estruturas observadas na cava Intermediária	41

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Características dos principais depósitos tipo IOCG no mundo (modificada de Williams <i>et. al.</i> 2005).	12
Tabela 2. Características dos principais modelos genéticos para depósitos de cobre	18
Tabela 3. Cronograma das atividades executadas no projeto.	22

1. Introdução

As Minas de cobre do Camaquã localizam-se no município de Caçapava do Sul, região centro-sudoeste do Rio Grande do Sul. O distrito cuprífero do Camaquã constituiu a principal jazida de cobre conhecida no sul do Brasil, explorada por mais de 100 anos.

Diversos trabalhos de pesquisa foram realizados na região. De 1928 a 1936, o Serviço Geológico e Mineralógico realizou uma série de atividades de prospecção, tendo como consequência dessa atividade, a criação da Companhia Brasileira de Cobre (CBC) no ano de 1942, em parceria com o Governo do Estado do Rio Grande do Sul. A atividade de mineração de cobre persistiu até maio de 1996, quando ocorreu a exaustão das reservas economicamente viáveis.

O minério é constituído por sulfetos de cobre (calcopirita, bornita e calcocita, principalmente), que estão disseminados nos conglomerados e arenitos do Grupo Santa Bárbara ou são encontrados preenchendo falhas, formando filões maciços. Os depósitos mais importantes foram às minas: Uruguai (céu aberto) e São Luiz (subsolo).

O presente projeto realizou mapeamento geológico de detalhe nas cavas Piritas (1:500), Intermediária (1:500) e Uruguai (1:750) e semi-detálhe (1:2000) englobando a região ao redor das minas, com objetivo de caracterizar lito-estruturalmente a jazida de cobre e o posicionamento das mineralizações.

A realização de mapas geológicos detalhados, perfis e seções geológicas das minas e tratamento dos dados estruturais, assim como, comparações com trabalhos já realizados, forneceram um detalhamento maior da área de estudo e uma contribuição para o conhecimento lito-estrutural da área, com enfoque no comportamento das mineralizações de cobre. Posteriormente estes estudos poderão contribuir com futuros trabalhos de exploração mineral do cobre e outros elementos na região.

1.1. Localização da área de estudo

A área de estudo situa-se na localidade das Minas do Camaquã, pequena vila pertencente ao município de Caçapava do Sul, região centro-sudoeste do Rio Grande do Sul. O principal acesso a região, partindo de Porto Alegre é feito através da BR-290, depois pela BR-153, posteriormente segue-se pela RS-625, uma estrada de terra que dá acesso a vila da mina. As Minas do Camaquã estão localizadas nas coordenadas geográficas com latitude 30°54' sul e longitude 53°26' oeste (Figura 1).

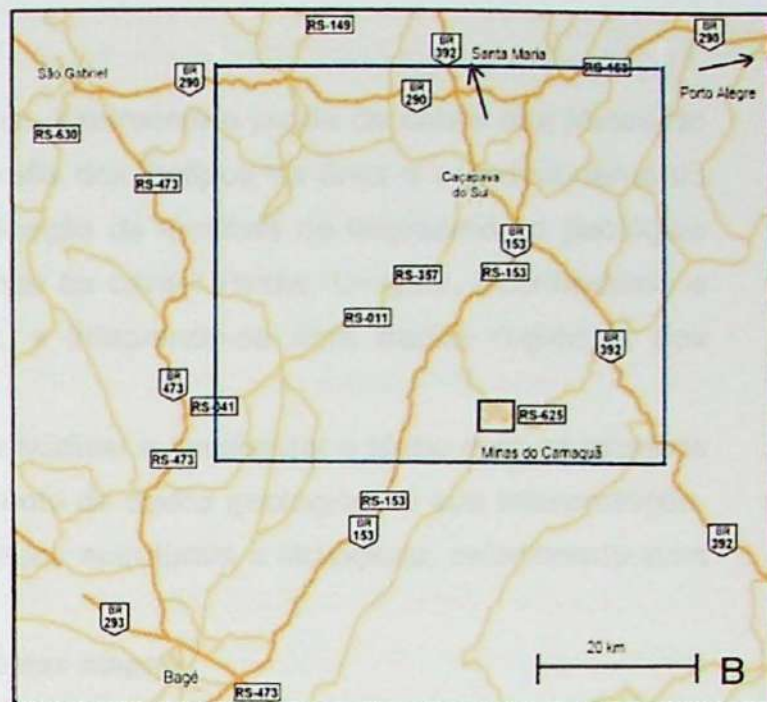
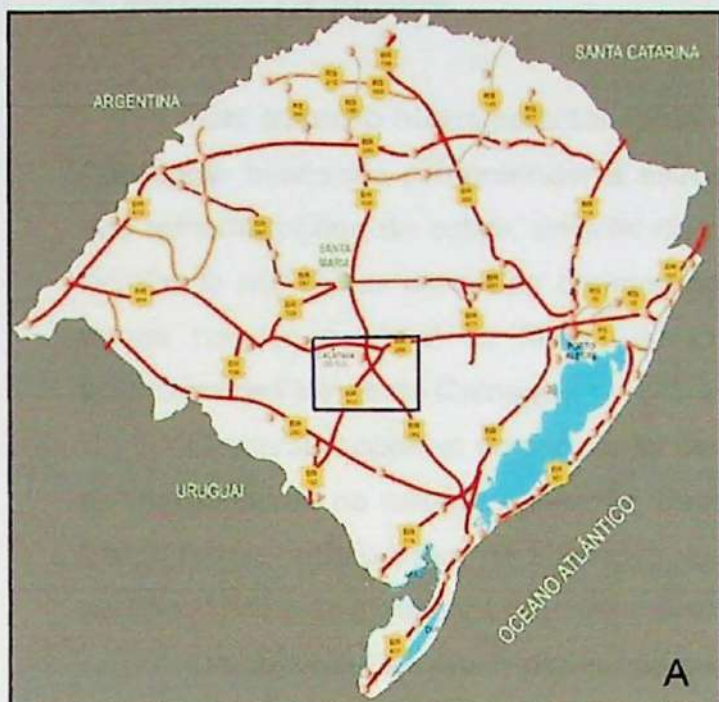


Figura 1. A) Mapa de localização da região das Minas do Camaquã, no estado do Rio Grande do Sul; B) Mapa com as principais vias rodoviárias de acesso a Vila das Minas do Camaquã; C) Imagem de satélite Quickbird de alta resolução das cavas Piritas, Uruguai e Intermediária (Fornecida pela empresa Votorantim Metais).

2. Metas e Objetivos

Este trabalho busca caracterizar lito-estruturalmente a jazida de cobre das Minas do Camaquã, buscando compreender a estratigrafia dos litotipos da área e o posicionamento das mineralizações de cobre, através da aplicação de técnicas de mapeamento geológico detalhado das minas de cobre, compreendendo as cavas: Piritas, Uruguai, Intermediária e outras pequenas cavas da Mina São Luiz, e integrando-se com dados regionais dos arredores das Minas do Camaquã.

O principal objetivo do projeto foi contextualizar e familiarizar o aluno com as técnicas de mapeamento de campo, aquisição, tratamento de dados geológicos e sua interpretação. Desta forma, enfatizou-se na obtenção de dados estruturais e litológicos, relacionado com as ocorrências de mineralizações de cobre.

Os objetivos se subdividiram nas seguintes etapas:

- 1- Obter dados litológicos e estruturais nas cavas, Piritas, Uruguai, Intermediária e regiões circunjacentes.
- 2- Interpretações dos dados lito-estruturais, posicionando-se as mineralizações de cobre.
- 3- Confeção de mapas geológicos de detalhe das cavas Piritas (1:500), Intermediária (1:500) e Uruguai (1:750), e semi-detalhe (1:2000), composto pela integração das 3 cavas mapeadas em detalhe e de pequenas cavas da mina São Luiz.

3. Revisão Bibliográfica

3.1. Contexto Geológico Regional

Nas regiões sul e sudeste do Brasil ocorrem rochas sedimentares e vulcânicas posteriores aos eventos orogênicos que deram origem ao Supercontinente Gondwana e anteriores a instalação de bacias intracratônicas paleozóicas. Essas rochas depositaram-se em bacias de dimensões variadas associadas a estruturas rúpteis e extensionais do embasamento.

Denominadas por Almeida, F.F.M. (1969), como bacias de transição, essas bacias formaram-se no período denominado de “estágio de transição”, que corresponde sob a visão da tectônica de placas, à fase tardia da colisão continental, conhecida também como fase molássica.

Dentre essas bacias, destacam-se, as bacias do Jaibaras no nordeste, Itajaí, Castro, e também a Bacia do Camaquã na região sul. Segundo Almeida, F.F.M. (1969), encontra-se

praticamente toda a sucessão estratigráfica do estágio de transição preservada, desde o final do tecto-orogênese brasileira até os estágios de instalação das sinéclises das Bacias Sedimentares Fanerozóicas do leste brasileiro.

A Bacia do Camaquã compõe-se de rochas sedimentares e vulcânicas, que inicialmente foram interpretadas como depósitos de bacias relacionadas à orogenia brasileira (Fragoso-Cesar 1991, Paim *et al.* 2000), posteriormente, foram re-interpretadas como bacias transcorrentes de fases tardias do evento colisional (Fernandes *et al.* 1992, Machado & Sayeg 1992 *in* Fambrini *et al.* 2006) ou ainda interpretadas como, bacias distensionais anorogênico tipo *riffs* (Fragoso-Cesar *et al.* 2003, Fambrini 2003, Almeida, R.P. *et al.* 2010).

As coberturas sedimentares e vulcânicas da Bacia do Camaquã estão sobre o embasamento metamórfico do Escudo Gaúcho, esse embasamento está relacionado à Orogenia Brasileira, que segundo Fragoso-Cesar *et al.* (2003), pode ser compartimentado em três estruturas principais: (i) Cinturão Dom Feliciano, cinturão móvel transpressivo caracterizado por zonas de cisalhamento, dobramento, metamorfismo e intrusões graníticas; (ii) Terreno Rio Vacacaí, terreno intraoceânico acrescido à borda continental e (iii) Cráton Rio de La Prata (Figura 2A).

A geologia da Bacia do Camaquã tem sido estudada por diversos autores, desde os primeiros trabalhos de Carvalho (1932) até trabalhos recentes de Almeida, R.P. (2005) e Toniolo *et al.* (2007). Diversas propostas estratigráficas foram elaboradas, na maioria das vezes distintas, refletindo interpretações diversas sobre a geologia da região.

Este projeto usará a proposta estratigráfica mais recente, realizada por pesquisadores do Instituto de Geociências-USP que desde 1995 mapeiam, em semi-detalle, diversas áreas chaves da Bacia do Camaquã. (Fambrini 2003, Fragoso-Cesar *et al.* 2003, Almeida, R.P. 2005, entre outros).

Os depósitos sedimentares e vulcânicos gerados entre o Ediacarano e início do Eopaleozóico são divididos em cinco unidades, da base para o topo (Fragoso-Cesar *et al.* 2003): Grupo Maricá (depósitos siliciclásticos marinhos e fluviais), Grupo Bom Jardim (depósitos aluviais e lacustres e rochas vulcânicas intermediárias e básicas), Formação Acampamento Velho (rochas vulcânicas ácidas e básicas), Grupo Santa Bárbara (depósitos siliciclásticos aluviais e costeiros) e Grupo Guaritas (depósitos continentais aluviais e costeiros), além da suíte intrusiva Rodeio Velho (intrusões subvulcânicas básicas a intermediárias), totalizando aproximadamente 10.000 metros de espessura (Figura 2B).

Durante a evolução tectônica, a Bacia do Camaquã foi subdividida em três sub-bacias, devido a soerguimentos de altos do embasamento.

A Sub-Bacia Ocidental, separada do resto da bacia pelo Alto Caçapava do Sul é composta pelos grupos: Maricá, Bom Jardim, Formação Acampamento Velho e Santa Bárbara. A Sub-Bacia Central, localizada entre os Altos Caçapava do Sul e Serra das

Encantadas é composta pelos grupos: Bom Jardim, Santa Bárbara e Guaritas. A Sub-Bacia Oriental, dividida do resto da bacia pelo alto da Serra das Encantadas é composta exclusivamente pelo Grupo Santa Bárbara (Almeida, R.P. 2005).

3.2. Contexto Tectônico

Devido a sua grande espessura, aproximadamente 10.000 metros, o Supergrupo Camaquã representa um dos principais registros de eventos posteriores ao Ciclo Brasileiro e anteriores a instalação de bacias intracratônicas paleozóicas.

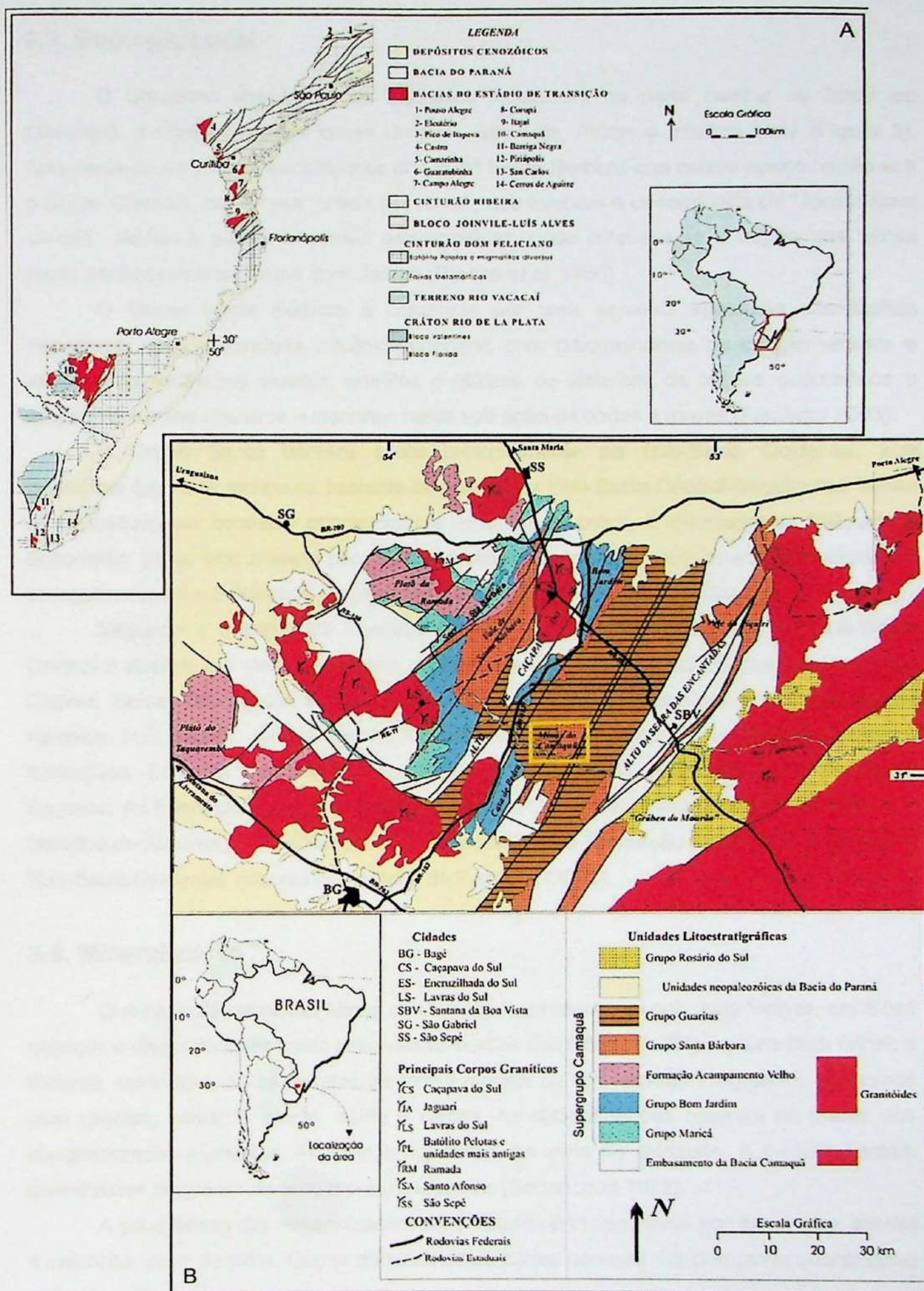
Segundo Almeida, R.P (2005) dados geoquímicos das rochas vulcânicas do Grupo Bom Jardim e Formação Acampamento Velho, são o principal elemento utilizado para interpretação do contexto tectônico da Bacia do Camaquã, porém, para as unidades posteriores aos eventos vulcânicos, as propostas de classificação são baseadas e interpretadas em modelos geotectônicos regionais.

A posição estratigráfica do Supergrupo Camaquã, sobre sucessões deformadas e metamorizadas durante os eventos orogênicos neoproterozóicos e por estar localizado entre dois domínios distintos (Terreno Rio Vacacaí e Cinturão Dom Feliciano), muitos autores relacionaram a Bacia do Camaquã com o Ciclo Brasileiro.

Fragoso-Cesar (1991) interpretou a cobertura da Bacia do Camaquã como preenchimento de bacias de antepaís em um modelo baseado na tectônica de placas, relacionadas a espessamento crustal nos orógenos do tectonismo brasileiro, dividindo assim as coberturas em dois conjuntos distintos: uma Antefossa Camaquã e uma Bacia de Retroarco.

Nos anos 90, predominou um modelo de bacias transcorrentes intracontinentais adotados principalmente por Machado e Sayeg (1992). Nesse modelo a bacia seria gerada por subsidência tectônica em regiões de afastamento dentro de zonas de cisalhamento transcorrentes tardi a pós-orogênicas. Segundo Almeida, R.P (2005), Machado e Sayeg basearam-se nas características das falhas que afetam tanto o embasamento quanto as coberturas, não havendo distinção entre as estruturas deformadoras das coberturas e as estruturas relacionadas com a formação da bacia.

Trabalhos recentes baseados em mapeamento de semi-detalle das principais exposições do Supergrupo Camaquã (Fragoso-Cesar *et al.* 2003; Fambrini 2003; Almeida, R.P. 2005) assumem um modelo de bacias distensionais, tipo *riffs*. Esse modelo é fundamentado no estilo de preenchimento, na distribuição espacial dos sistemas deposicionais e em análises de proveniência, que revelaram a ausência de migração lateral de áreas fonte, típicas de bacias transcorrentes. Esse modelo desvincula a Bacia do Camaquã do Ciclo Brasileiro, considerando o vulcanismo do Grupo Bom Jardim e Formação Acampamento Velho como intraplaca.



3.3. Geologia Local

O Complexo das Minas do Camaquã localiza-se na parte central da Bacia do Camaquã, é composto pelas cavas Uruguai, São Luiz, Piritas e Intermediária (Figura 3). Apresenta-se em rochas siliciclásticas do Grupo Santa Bárbara que ocorre nessa região sob o Grupo Guaritas, como uma "janela estrutural", que também é denominada de "Janela Bom Jardim", devido a outras propostas estratigráficas, onde colocava-se a região das minas como pertencentes ao Grupo Bom Jardim (Ribeiro *et al.* 1966).

O Grupo Santa Bárbara é composto por uma espessa sucessão siliciclástica depositada após a atividade vulcânica principal, com predominância de conglomerados e arenitos de ambientes aluviais, arenitos e ritmitos de sistemas de leques submarinos e arenitos e ritmitos costeiros e marinhos rasos sob ação de ondas e marés (Fambrini 2003).

O Grupo Santa Bárbara aflora principalmente na Sub-Bacia Ocidental, sua localidade-tipo. Mas tornou-se bastante conhecido na Sub-Bacia Central (região das Minas do Camaquã), por hospedar principalmente as minas de cobre. É intensamente fraturado e basculado, tendo sido afetado por eventos tectônicos regionais, relacionado com ciclos de soerguimentos e subsidências da Bacia do Camaquã (Almeida, R.P. 2005).

Segundo o trabalho de Fambrini (2003), o Grupo Santa Bárbara na Sub-Bacia Central é dividido em cinco formações, da base para o topo: Estância Santa Fé, Passo da Capela, Seival, Rincão dos Mouras e Formação João Dias. Trabalhos mais recentes de Almeida, R.P. (2005), na Sub-Bacia Ocidental, definiram o grupo nessa região em cinco formações: Estância Santa Fé, Seival, Serra dos Lanceiros, Arroio Umbu e Pedra do Segredo. As Formações Serra dos Lanceiros, Arroio Umbu e Pedra do Segredo descritas no trabalho de Almeida, R. P. (2005), são correlacionáveis à Formação Rincão dos Mouras da Sub-Bacia Ocidental, descrita no trabalho de Fambrini (2003).

3.4. Mineralização

O minério de cobre das Minas do Camaquã apresenta-se sob duas formas, em filões maciços e disseminações muito próximas as bordas dos filões. Os filões preenchem falhas e fraturas, apresentando os sulfetos de forma maciça ou em massas irregulares, associado com quartzo, hematita, clorita, barita e calcita. As disseminações ocorrem na matriz dos conglomerados e arenitos. Próximo a superfície, na zona de oxidação, o minério contém quantidades pequenas de ouro e prata associado (Bettencourt 1972).

A paragênese das mineralizações é constituída principalmente por calcopirita, bornita e calcocita, além de pirita. Outros minerais secundários ocorrem em pequenas quantidades como covelita e crisocola.



Figura 3: Minas do Camaquã: A) Cava Piritas; B) Cava Uruguai; C) Cava Intermediária.

O minério filoneano é condicionado por falhamentos, que possuem direção, variando entre N50°W e N80°W e mergulhos quase verticais. Em algumas regiões as falhas formam zonas brechadas e juntas, originando no corpo mineralizado uma zona de *stockwork* (Bettencourt 1972, Ribeiro 1991).

A mineralização disseminada, presente na matriz dos conglomerados e arenitos, ocorre principalmente na região sudeste da Mina Uruguai, predominando nos contatos litológicos e próximos as bordas de fraturas e falhas. Essa mineralização é caracterizada principalmente por calcocita e calcopirita.

3.5. Metalogênese

Diversos modelos genéticos sobre a origem do minério foram propostos nos mais de 100 anos de exploração do cobre.

No início da lavra, onde os filões eram mais espessos, o modelo hidrotermal-magmático foi adotado. Leinz e Almeida (1941) relacionaram a gênese do cobre como de origem hidrotermal-magmático, pois o minério era encontrado preenchendo fraturas e formando filões de até 1 metro de espessura, produzindo alterações nas rochas encaixantes, além de zonas brechadas e *stockworks*. Desse modo, rochas graníticas ou mesmo rochas andesíticas do Supergrupo Camaquã seriam responsáveis pelas mineralizações, gerando fluidos hidrotermais que ascenderiam através de fraturas nas rochas adjacentes (Laux, J.H.; Lindenmayer, Z.G. 2000).

Beckel (1990) propôs que a gênese dos depósitos das Minas do Camaquã, seriam semelhantes aos depósitos do Tipo Pórfiro. O modelo do tipo pórfiro implica um ambiente constituído por arcos vulcano-plutônicos cálcio-alcalinos, do tipo arco de ilha ou margem continental ativa, relacionados com fenômenos de subducção de placa oceânica, com presença de lavas andesíticas e dacíticas. Esse tipo de depósito é produto de grandes sistemas hidrotermais, relacionado com grandes plútons, alojados em pequenas profundidades, com características diagnósticas como grandes quantidades de fraturamento e de alterações eminentemente pervasivas nas encaixantes. Porém, esse corpo intrusivo em profundidades próximas as zonas mineralizadas proposto por Beckel, nunca foi encontrado.

Devido à diminuição de espessura dos filões e a descoberta de concentrações expressivas de sulfetos disseminados e estratiformes nos conglomerados e arenitos das Minas do Camaquã, além da descoberta de disseminações de sulfetos no Cerro dos Martins e Mina Santa Maria, regiões próximas as Minas do Camaquã, surgiu à hipótese de um modelo sedimentar singenético-diagenético para os depósitos de cobre.

Os trabalhos de Veigel e Dardenne (1990) propuseram que sedimentos finos encontrados no interior da bacia, eram a fonte principal dos elementos metálicos, descrevendo assim que a mineralização disseminada era relacionada com a evolução

diagenética das rochas sedimentares encontradas na região. Rochas vulcânicas pertencentes ao Supergrupo Camaquã são consideradas como uma das fontes detríticas e possivelmente fonte dos metais encontrados nos sedimentos das Minas do Camaquã (Laux, J.H.; Lindenmayer, Z.G. 2000).

À medida que a lavra do minério aprofundou-se e a extração tornando-se economicamente inviável, surgiram os modelos hidrotermais do tipo epitermal, baseados, principalmente nos elevados teores de ouro (Au). A sugestão desse modelo deu-se principalmente porque os modelos descritos anteriormente, tipo pórfiro e sedimentar-diagénético, não foram aceitos como um todo. As características presentes nas Minas do Camaquã que foram importantes para elaboração desse modelo foram: (i) Filões com cobre e elevadas concentrações de ouro, controlados por fraturas e falhas; (ii) estilo do fraturamento e preenchimento na forma de *stockworks* (Laux, J.H.; Lindenmayer, Z.G. 2000).

4. Modelos Genéticos para Depósitos de Cobre

Após uma sucinta revisão da literatura sobre os diversos modelos genéticos adotados nas Minas do Camaquã, este capítulo apresentará diversos tipos ou modelos genéticos para depósitos de cobre adotados mundialmente.

4.1. Depósitos de cobre hospedados em sedimentos

Segundo Cox (2003) os depósitos de cobre hospedados em sedimentos são divididos em três tipos ou modelos, que são descritos baseados na forma dos depósitos e nos ambientes de deposição. Os três tipos são: *reduced-facies* Cu, *redbed* Cu e *Revett* Cu.

Os depósitos de cobre hospedados em sedimentos se apresentam como corpos tabulares a lenticulares, podendo ser formados durante ou após a deposição dos sedimentos. Os ambientes tectônicos favoráveis são *rifts* intracontinentais, aulacógenos e margens continentais passivas, principalmente.

- *Reduced-facies* (Cu); *stratabound*, depósitos de sulfetos de cobre disseminados que se sobrepõem, ou são intercalados com seqüências *red-beds* ou derrames basálticos subaéreos. São hospedados em rochas lacustres ou marinhas de fácies redutoras, como rochas clásticas de granulação fina e carbonáticas. *Rifts* Intracontinentais ou aulacógenos com restrita circulação marinha são ambientes ideais para a formação desses depósitos. Sulfetos de cobre, como calcopirita, covelita e bornita são minerais diagnósticos.

Exemplos: Depósitos Kupferschiefer e Depósitos Zâmbia.

- *Redbed* (Cu); são corpos mineralizados *stratabound* de cobre disseminado e sulfetos de cobre, com ausência ou presença de prata, urânio e vanádio associado. Esses corpos ocorrem em zonas reduzidas de sequências *redbeds*, e segundo Cox (2003), 90% dos depósitos tipo *redbed* são hospedados em arenitos e conglomerados. Esses depósitos ocorrem em bacias delimitadas por falhas, como *rifts* e bacias molássicas.

Os principais minerais presentes são, calcocita, pirita, bornita e prata nativa, além da ocorrência predominante de cobre nativo.

Exemplos: Depósito Chingola – Zâmbia

- *Revett* (Cu); são mineralizações *stratabound* de cobre disseminado e sulfetos de zinco com prata, ocorrem em limites redox, associado com as mudanças de coloração de sequências *redbeds*. São hospedados em sequências espessas de arenito e ocorrem, nos mesmos ambientes tectônicos dos depósitos tipo *redbeds*. Calcocita, calcopirita, bornita e prata nativa, são os principais minerais destes depósitos.

Exemplos: Depósitos Spar Lake e Montanore – USA

4.2. Depósitos tipo IOCG (*Iron Oxide – Copper – Gold*)

Nas últimas décadas os depósitos tipo IOCG, tornaram-se um alvo atraente para exploração mundial de cobre, a pesquisa e estudo das características desse tipo de depósito colaboraram com a descoberta de grandes depósitos, como, Candelaria-Chile, Sossego-Brasil, entre outros.

O termo IOCG foi inicialmente introduzido com a descoberta do depósito gigante de Cu-U-Au no sul da Austrália, denominado de *Olympic Dam*. Os depósitos IOCG, são corpos ricos em óxidos de ferro (> 20% Fe total) de origem hidrotermal, onde brechas, veios, disseminações e filões maciços com enriquecimento, por vezes polimetálico (Cu, Ag, Au, U, Co, Nb, P), são associados com eventos hidrotermais e zonas de falhas de escala continental. (Hitzman 2000, Corriveau 2009).

Segundo Hitzman (2000), os depósitos IOCG estão associados com três ambientes tectônicos. **Depósitos associados com bacias de colapso orogênico** (*Orogenic Basin Collapse*), que consiste em *rifts* continentais ou margens continentais passivas, contendo espessas sequências de rochas sedimentares incluindo rochas vulcânicas máficas; **Depósitos associados com magmatismo anorogênico** (*Anorogenic magmatism*), presente na grande maioria em áreas intra-continentais; e **Depósitos associados com ambientes extensionais ao longo de margens continentais** (*Extension along a subduction-related continental margin*), ocorrendo predominantemente em sequências vulcânicas, como nos depósitos do Chile e Peru.

Segundo os trabalhos de Williams *et al.* (2005), os depósitos tipo IOCG, são definidos pelas seguintes características: (i) presença de cobre, com ou sem ouro associado, como metal econômico; (ii) minério de origem hidrotermal e forte controle estrutural; (iii) abundância de magnetita (Fe_3O_4) e/ou hematita (Fe_2O_3); (iv) ausência de relação espacial com intrusões ígneas. Ainda por Williams *et al.* (2005) a profundidade onde são formados os depósitos tipo IOCG é de até 10 km da superfície, como por exemplo, o depósito de *Olympic Dam* na Austrália.

As rochas hospedeiras desses depósitos, assim como a idade, não são diagnósticas, mas as zonas de alteração como, alterações regionais Ca-Na (anfíbólios, escapolita, albita) sobrepostas a alterações locais de potássio (K-feldspato, biotita) e óxido de ferro (magnetita, hematita) são comuns nos depósitos IOCG. As paragêneses minerais variam consideravelmente entre os variados depósitos, mas os principais são hematita, magnetita com baixo teor de titânio, bornita, calcopirita, calcocita e pirita. A mineralogia de ganga principal consiste em barita, epidoto, k-feldspato, apatita, carbonato, clorita e albita.

Na tabela abaixo estão descritas algumas características dos três maiores depósitos IOCG no mundo, onde podem ser observadas as relações dos depósitos com zonas de cisalhamentos, mostrando um controle estrutural do minério e a ausência de rochas hospedeiras e tempo geológico diagnósticos.

Tabela 1. Características dos principais depósitos tipo IOCG no mundo (modificada de Williams *et. al.* 2005).

Depósitos	Tamanho e concentração de elementos associados	Mineralogia do minério	Estruturas e rocha hospedeira	Idade
Olympic Dam - Austrália	2950 Mt; 1,2% Cu; 0,5 g/t Au e 0,6 g/t Ag	hm, cpy, py, qtz, bar e chl	Brechas associados com lineamentos; granito tipo A	1590 Ma
Candelaria - Chile	470 Mt; 1,0% Cu; 0,2 g/t Au; 3,1 g/t Ag.	cpy, py ± hm, mo, ouro, bt, qtz e ep.	Próximos a contatos litológicos e zonas de cisalhamento; rochas metavulcânicas	115 Ma
Salobo - Brasil	789 Mt; 1,0% Cu; 0,5 g/t Au; (Fe, Cu, Ag, As, Mo, U, Co)	cpy, bor ± hm, mo, ouro, bt, qtz, chl	Dentro de um sistema de cisalhamento; metagrauvacas, anfíbolitos, quartzitos, BIF e gnaisses.	2576-2562 Ma

Legenda: hm – hematita, cpy – calcopirita, py – pirita, qtz – quartzo, bar – barita, mo – molibdênio, chl – clorita, bt – biotita, bor – bornita e ep – epidoto

4.3. Depósitos tipo SEDEX (Depósitos sedimentares-exalativos)

Os depósitos SEDEX são responsáveis por 60% das reservas mundiais de chumbo e 50% das reservas de zinco, tendo assim um elevado destaque mundial na produção de chumbo e zinco. *Broken Hill* e *Sullivan*, localizados na Austrália e Canadá, respectivamente, são uns dos principais exemplos de depósitos SEDEX no mundo. Os depósitos de Pb-Zn de Boquira (BA) e Castelhão (GO), são exemplos brasileiros de depósitos SEDEX.

O termo foi originalmente aplicado a depósitos de sulfetos laminados, em que se acreditava que teriam sido formados por exalações de fluidos mineralizantes no fundo oceânico, no entanto, atualmente esses fluidos são considerados também diagenéticos ou tardi-diagenéticos, circulantes desde profundidades até a superfície, nos sedimentos de *riftes*, podendo assim gerar mineralizações discordantes em falhas e fraturas.

Os depósitos SEDEX apresentam-se como corpos, na maioria das vezes tabulares, enriquecidos predominantemente em galena, esfalerita e sulfetos de ferro com prata associada, raramente com cobre e ouro. Foram depositados a partir de fluidos hidrotermais em bacias sedimentares localizadas em *riftes* continentais ou margens continentais passivas.

Os corpos de minérios apresentam-se geralmente como lentes estratiformes extensas, constituídos por sulfetos maciços ou disseminados. Alguns depósitos apresentam evidências de um canal de alimentação por onde teriam passado as soluções mineralizantes, em alguns casos, zonas de falhas constituem esses caminhos.

As rochas hospedeiras incluem folhelhos, folhelhos carbonosos, arenitos e carbonatos. Os minerais de minério constituintes dos depósitos tipo SEDEX são pirita, pirrotita, esfalerita e galena, com calcopirita subordinada. Carbonato, sericita, K-feldspato, Na-feldspato e quartzo, são os principais minerais de ganga destes depósitos. Zonas de alteração, com, cloritização, silicificação e albitização, estão presentes principalmente nas áreas adjacentes dos depósitos estratiformes (Goodfellow, W; Lydon, L. 2007).

4.4. Depósitos tipo Pórfiro

Os depósitos tipo pórfiro são importantes fontes mundiais de Cu, Mo, Au, Ag e Sn. Representam aproximadamente 60% da produção mundial de cobre e 90% da produção de molibdênio.

Os depósitos tipo pórfiro são de grande a médio porte, em que os minérios primários são estruturalmente controlados, além de serem espacialmente e geneticamente relacionados com intrusões porfíricas félsicas a intermediárias, que incluem, dioritos, monzonitos, granodioritos, granitos e tonalitos.

Evidências geológicas mostram que os corpos ígneos que geraram os minérios, foram colocados em níveis relativamente rasos na crosta, aproximadamente 4 a 5 km. Os depósitos tipo pórfiro estão localizados no topo dos plútons, podendo estar localizados, dentro da intrusão, como em áreas adjacentes. A distribuição mundial dos depósitos tipo pórfiro é controlada por cinturões orogênicos, onde a deformação da crosta é causada pela colisão de duas placas tectônicas. Depósitos localizados na costa oeste da América do Sul, principalmente no Chile são os melhores exemplos de depósitos formados em zonas de colisão de placas tectônicas (Figura 4).

As estruturas relacionadas aos depósitos pórfiros podem resultar numa grande variedade de estilos de mineralização, como veios, *stockworks*, fraturas e brechas. As alterações hidrotermais são extensas e pervasivas, que consistem em uma zona interior potássica, caracterizada por K-feldspato e / ou biotita (\pm anfibólio \pm magnetita \pm anidrita) e uma zona exterior de alterações propiliticas que consistem em quartzo, clorita, epidoto, calcita e, localmente, albita associado com pirita (Sinclair, 2009).

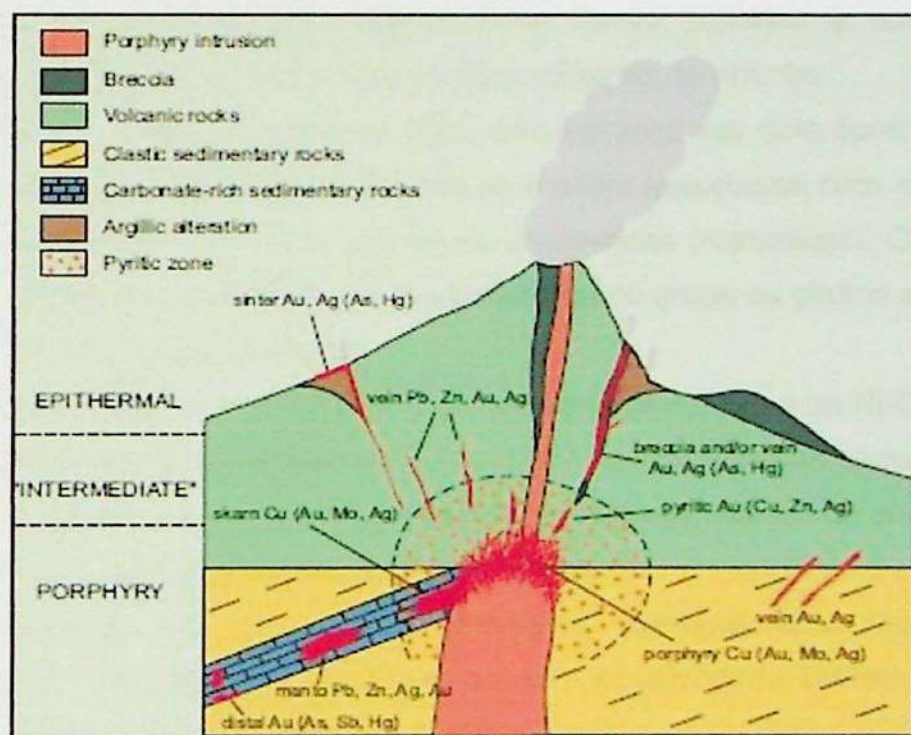


Figura 4. Ilustração de um modelo genético de depósito pórfiro de Cu, associado com uma intrusão pórfirica sub-vulcânica, rodeado por uma zona de alteração pirítica (Sinclair, 2009).

4.5. Depósitos tipo VMS (Sulfetos Maciços Vulcanogênicos)

Os depósitos de sulfetos maciços têm sua origem associada com vulcanismo submarino, e são formados devido à precipitação química das exalações que acompanham o vulcanismo, em ambientes marinhos, desde arcos de ilhas a dorsais meso-oceânicas. Os depósitos VMS associam-se a rochas predominantemente vulcânicas, lavas ou rochas

piroclásticas, com natureza que varia desde félsica à máfica. Os principais minerais de minério encontrados nesses depósitos são esfalerita, calcopirita e galena.

Os depósitos VMS podem ser divididos em duas mineralizações distintas, classificadas segundo a quantidade de sulfeto: (i) Minério maciço, mineralizações estratiformes onde os sulfetos representam (>40%) da composição mineral da rocha; (ii) Minério disseminado, que ocorre na região subjacente ao minério maciço.

Os depósitos VMS são fontes importantes de Zn, Cu, Pb, Ag, Au, Co, Sn, Se e Mn. São classificados em diversos tipos de depósitos como, tipo Kuroko, Chipre, Besshi, etc, que se referem à localidade geográfica, onde foram descritos inicialmente (Galley *et al.* 2007).

4.6. Depósitos magmáticos Cu-Ni-PGE

Constituem-se de depósitos sulfetados contendo níquel, cobre e por vezes elementos do grupo da platina (PGE), que ocorrem em diversas rochas magmáticas máficas e ultramáficas. Os magmas são originados no manto superior e contém pequenas quantidades de níquel, cobre, PGE e quantidades variáveis de enxofre.

Os depósitos magmáticos Cu-Ni-PGE, são divididos em dois tipos: o primeiro tipo tem níquel e cobre como elementos econômicos e estão associados com *sills* máficos e/ou ultramáficos diferenciados e rochas vulcânicas ultramáficas (Komatiitos). O segundo tipo é explorado principalmente pela presença dos elementos do grupo da platina e está associada com intrusões máficas e ultramáficas.

Os corpos máficos e ultramáficos que hospedam os minérios de Ni-Cu, são divididos em três grupos principais: (i) *Meteorite-Impact Mafic*, que fundem as camadas basais que contém minério sulfetado; (ii) *Rift and Continental flood basalt*, associado com *sills* máficos e diques; (iii) Rochas vulcânicas ultramáficas (Komatiitos).

Os depósitos de Ni-Cu são formados principalmente no arqueano e paleoproterozóico. Os minerais de minério presentes são calcopirita, bornita, pirita, pirrotita e pentlandita (Eckstrand, O.R.; Hulbert, L.J. 2007).

4.7. Depósitos epitermais

Os depósitos epitermais são formados em ambientes relativamente rasos, a partir de sistemas hidrotermais que estão a 1,5 km da superfície da Terra. São comumente associados com centros de vulcanismo e magmatismo.

Os depósitos epitermais incluem veios e disseminações em sedimentos, rochas sedimentares, rochas vulcânicas e em alguns casos em rochas metamórficas. Ouro e prata são os principais minerais de minério, mas alguns depósitos podem conter quantidades de

cobre, chumbo e zinco. Os depósitos são geralmente jovens, de idade terciária e quaternária, e podem ter a mesma idade da rocha hospedeira, quando estas forem de origem exclusivamente vulcânica.

Os depósitos epitermais são comumente subdivididos em dois tipos: *high sulphidation* e *low sulphidation*.

- *High Sulphidation*: são hospedados em rochas exclusivamente vulcânicas, como andesitos. A mineralogia do minério é composta por ouro nativo, calcopirita, galena e esfalerita. Quartzo e barita são os principais minerais de ganga. Alunita, kaolinita, pirofilita e clorita são os minerais de alteração, que apresentam na maioria das vezes zoneamentos verticais.

- *Low Sulphidation*: são hospedados em rochas sedimentares, vulcânicas e plutônicas. Os depósitos hospedados em rochas vulcânicas e plutônicas apresentam relação espacial com centros intrusivos, veios e fraturas circunjacentes a falhas. A mineralogia do minério é constituída principalmente por ouro, galena e calcopirita. Quartzo, barita, clorita, calcita e anidrita são os minerais de ganga.

Os depósitos tipo *low sulphidation* também podem estar hospedados em rochas sedimentares clásticas, contendo principalmente ouro associado com sulfetos, ouro nativo, pirita e sulfetos de Hg-Sb. Normalmente a mineralização é mais jovem do que a rocha sedimentar hospedeira (Taylor, 2007).

4.8. Discussão

Após essa descrição sucinta sobre alguns tipos de depósitos de cobre e uma breve discussão sobre os modelos genéticos adotados para as Minas do Camaquã, pode-se avaliar as possibilidades de que alguns modelos ou tipos genéticos de depósitos de cobre não se aplicam às Minas do Camaquã.

Os depósitos magmáticos Cu-Ni-PGE não podem ser adotados e não se aplicam as Minas do Camaquã, pois as mineralizações de cobre não estão alojadas ou associadas com rochas magmáticas máficas e/ou ultramáficas, típicas desses depósitos, e sim, hospedadas em rochas sedimentares, compostas predominantemente por conglomerados e arenitos.

Os depósitos tipo VMS (Sulfetos Maciços Vulcanogênicos) não se aplicam também, pois estruturas lenticulares extensas, rochas hospedeiras vulcânicas predominantes e paragêneses minerais compostas por esfalerita, galena e pirrotita, características desses depósitos, não são encontrados nas Minas do Camaquã.

Os depósitos tipo Pórfiro apresentam estruturas mineralizadas em forma de veios, *stockworks*, fraturas e brechas, semelhantes às estruturas observadas e descritas na Minas do Camaquã, além da paragênese mineral, composta por calcopirita, bornita, pirita e calcocita. Mas segundo o autor desse trabalho, apesar da semelhança nas estruturas e

paragênese, o modelo genético tipo Pórfiro não se aplica ao modelo das Minas do Camaquã, pois os ambientes tectônicos de formação e rochas hospedeiras das mineralizações de cobre, típicas dos depósitos pórfiros, não são evidenciados na região.

Os depósitos tipo SEDEX, também não podem ser aplicados ao modelo das Minas do Camaquã, uma vez, que as rochas hospedeiras são compostas por folhelhos, folhelhos carbonosos, arenitos e carbonatos, e a paragênese mineral principal constituída por pirrotita, esfalerita, pirita e galena, sendo assim, diferente das rochas e paragênese, observadas e encontradas nas Minas.

Os depósitos sedimentares singenético-diagenético não podem ser adotados para a mineralização de cobre, uma vez, que as mineralizações cupríferas são encontradas preenchendo falhas e fraturas, com controle estrutural claro, além de não formarem estruturas estratiformes e lenticulares, típicas dos depósitos sedimentares. Ao menos que a fonte do cobre tenha sofrido um processo de remobilização.

O autor deste projeto, apesar da necessidade de mais informações para uma interpretação final, conclui preliminarmente que o depósito das Minas do Camaquã, assemelha-se ao depósito tipo IOCG. Os ambientes de formação, estruturas descritas, como brechas, falhas, fraturas, filões maciços mineralizados e a paragênese mineral composta por hematita, calcopirita, pirita, calcocita e bornita, são elementos que fazem o autor a chegar a esta conclusão preliminar.

Abaixo, encontra-se uma tabela de comparação das principais características dos tipos e modelos de depósitos de cobre adotados mundialmente, com as características dos depósitos de cobre das Minas do Camaquã.

Tabela 2. Características dos principais tipos e modelos genéticos para depósitos de cobre.

Depósitos	Ambientes Tectônicos	Estrutura e geometria	Rochas hospedeiras	Principais minerais	Controle
Cobre hospedado em sedimentos	<i>Rifts</i> intracontinentais, aulacógenos e margens continentais passivas	Corpos tabulares a lenticulares	Rochas dásticas de granulação fina, carbonatos, arenitos e conglomerados	Calcopirita, covelita, bornita, calcocita, pirita, prata nativa e cobre nativo	Sedimentar e/ou litológico
IOCG	<i>Rifts</i> continentais, margens continentais passivas, áreas intracontinentais, ambientes extensionais	Brechas, veios, filões maciços e disseminações, associados com zonas de falha	-	Hematita, magnetita, calcopirita, bornita, calcocita e pirita	Estrutural
SEDEX	<i>Rifts</i> continentais e margens continentais passivas	Corpos tabulares e lentes estratiformes extensas	Folhelhos, folhelhos carbonosos, arenitos e carbonatos	Pirita, pirrotita, esfalerita, galena com calcopirita subordinada	Sedimentar ou estrutural
Pórfiro	Cinturões orogênicos	Veios, <i>stockworks</i> , fraturas e brechas	Intrusões porfíricas félsicas a intermediárias (dioritos, monzonitos, granitos, tonalitos e granodioritos)	Calcopirita, bornita, calcocita, molibdenita e pirita	Litológico e estrutural
VMS	Arcos de ilha e dorsais meso-oceânicas	Estratiformes ou disseminados	Rochas vulcânicas, lavas ou rochas piroclásticas	Esfalerita, galena e calcopirita	Litológico
Magmáticos Ni-Cu-PGE	<i>Rifts</i> e margens continentais ativas	<i>Sills</i> , veios e diques	Rochas magmáticas máficas e ultramáficas	Calcopirita, bornita, pirita, pirrotita e pentlandita	Litológico e estrutural
Epitermais	Centros de vulcanismo e magmatismo	Veios e disseminações, associados com zonas de falha	Rochas vulcânicas, plutônicas e rochas sedimentares clásticas	Ouro, calcopirita, galena e esfalerita	Litológico e estrutural
Depósitos Minas do Camaquã	Bacia de antepaís; bacia transcorrente ou bacia de <i>rift</i>	<i>Stockworks</i> , brechas, veios, disseminações e filões maciços	Conglomerados e arenitos	Calcopirita, bornita, calcocita, hematita e pirita	Estrutural

(-) Não diagnóstico.

5. Materiais e Métodos

O trabalho de campo foi realizado durante o mês de janeiro e fevereiro de 2010, totalizando 32 dias consecutivos de campo. O trabalho teve como objetivo o reconhecimento da área e levantamentos de pontos, com descrição litológica e estrutural de cada ponto levantado, para posterior confecção de mapas geológicos de detalhe (1:500 e 1:750) e semi-detalhe (1:2000). No total foram levantados 360 pontos na região das Minas do Camaquã.

Para obter-se um maior grau de detalhamento dos pontos levantados, bem como de maior precisão, daquele obtido apenas com o GPS (*Global Positioning System*), foram utilizadas nas cavas, a técnica levantamento a trena e bússola.

Essa técnica consiste na marcação de um ponto central na bancada da cava, obtendo medições de distância com trena e com rumo da bússola, além das dimensões do lado esquerdo e lado direito, em cada ponto das bancadas. A declividade foi definida com medidas verticais em cada ponto, registrando a diferença de cota do ponto inicial. Com essa técnica foi possível ter uma precisão da localização dos pontos e consequentemente das estruturas, dos litotipos e locais de amostragem.

Dos 360 pontos levantados na região das Minas do Camaquã, 101 pontos foram levantados na cava Piritas, 44 pontos na cava Uruguai, 48 pontos na cava Intermediária e 167 pontos nas proximidades das minas e em outras ocorrências de cobre. Foram ainda coletadas 144 amostras, que foram divididas conforme suas localidades de origem.

Os dados obtidos em campo foram agrupados e relacionados em tabelas, formando assim, um banco de dados do projeto. O banco de dados está inserido ao Trabalho de Formatura como anexo I (DVD), é composto por:

- Tabela Geral de Pontos: As planilhas do arquivo foram divididas em cava Piritas, Uruguai, Intermediária, Região CBC e Regional. Essa tabela inclui todos os dados obtidos no campo, dados de GPS, descrição litológica sucinta, medidas do acamamento, medidas de fraturas/falhas, de lineação, além de relacionar as fotos e amostras com cada ponto de origem.
- Fotos do Campo: Inclui todas as fotos tiradas no período de trabalho de campo, com sua descrição associada.
- Fotos de Amostras: Inclui todas as fotos de amostras serradas, acompanhadas de descrição e respectiva numeração. Esse trabalho foi auxiliado pela Prof. Dr. Gianna Maria Garda e pelo seu orientando, Felipe Antonialli.

Devido à falta de mapas topográficos de detalhe (1:500) da região das cavas, a elaboração inicial dos mapas foi realizada com ajuda de imagem de satélite Quickbird, gentilmente fornecida pela empresa Votorantim Metais e com as medidas obtidas em campo

como, distância e rumo entre os pontos levantados, medidas da largura e desnível das bancadas.

Após a elaboração dos mapas topográficos, foram adicionados aos mapas, os pontos levantados, as medidas do acamamento e medidas de fraturas e falhas. Cada medida efetuada foi plotada no local de origem, tendo assim um controle estrutural de detalhe. Também foram adicionadas as litologias de cada ponto, assim como os possíveis contatos litológicos e as regiões onde são encontradas mineralizações de cobre.

Os dados estruturais obtidos em campo foram tratados em estereogramas, separados por localidade e tipo de estrutura (acamamento, fraturas, falhas normais e falhas inversas). Inicialmente o trabalho de confecção dos estereogramas deu-se de forma manual, para uma melhor visualização e manuseio dos dados. Posteriormente esses dados foram tratados em programas computacionais.

As medidas de acamamento foram tratadas através de projeção polar, e as medidas de fraturas e falhas foram tratadas em diagramas tipo-roseta de densidade, com objetivo de ajudar na interpretação estrutural da área. O programa utilizado para o tratamento de dados foi o programa StereoNett.

Após a realização do trabalho de campo as 144 amostras coletadas foram organizadas e selecionadas para corte e amostragem. O corte das amostras com disco diamantado ocorreu na Sala de Preparação de Amostras do Instituto de Geociências, e teve como principal objetivo, possibilitar o aluno uma melhor visualização das características intrínsecas das amostras, além de fornecer material para laminação (Figura 5). Concomitantemente ao corte, as amostras serradas foram fotografadas e descritas, contribuindo assim para elaboração do banco de dados do projeto.

Paralelamente aos trabalhos descritos acima, foi realizado uma pesquisa bibliográfica na literatura nacional e internacional, de modo a fornecer um maior entendimento da Bacia do Camaquã, principalmente sobre as Minas do Camaquã, as mineralizações de cobre e modelos genéticos adotados para depósitos de cobre.

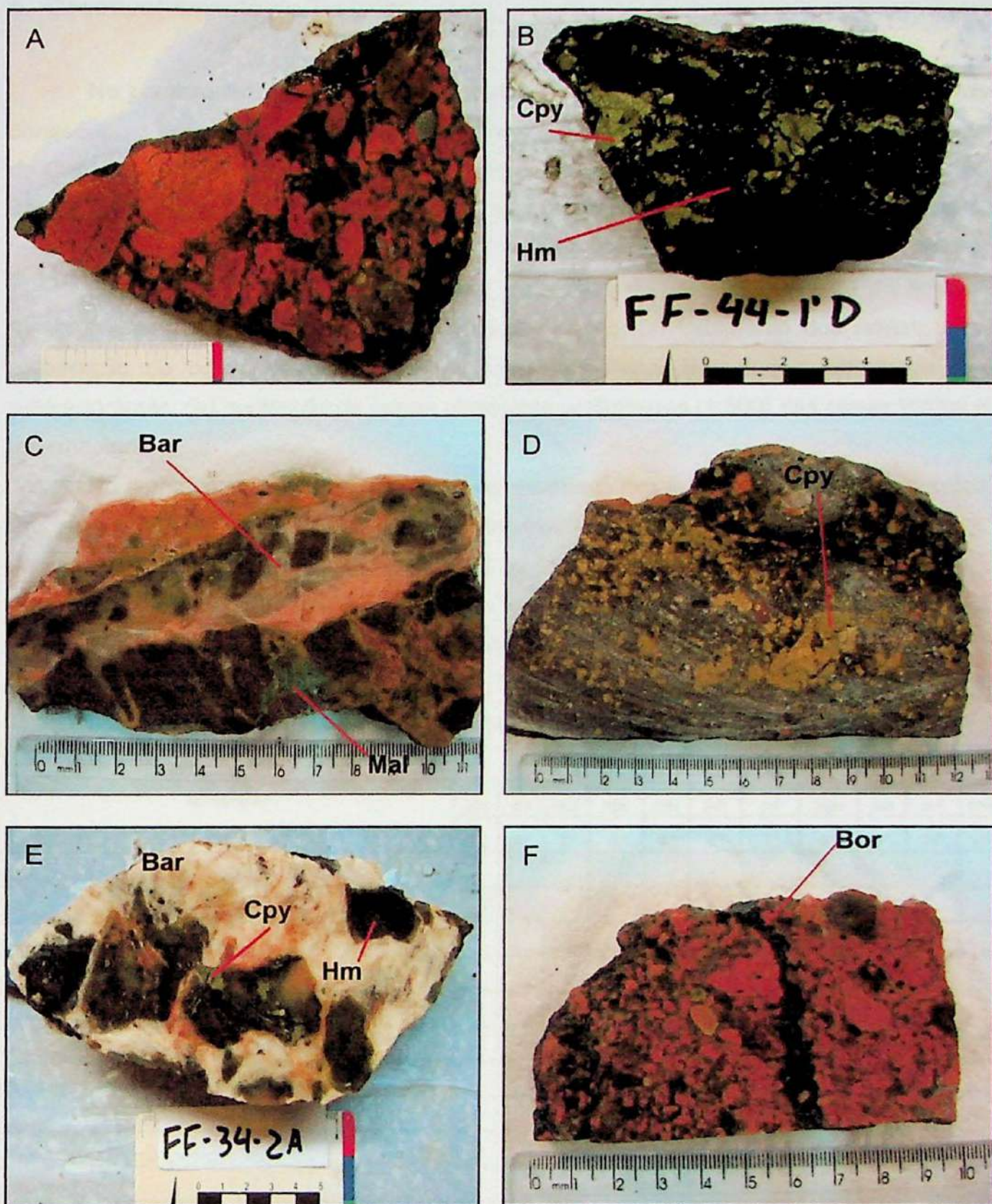


Figura 5. Exemplo de amostras serradas, que contribuíram para uma melhor visualização de suas características texturais e mineralógicas. A) Cava Piritas, conglomerado com clastos de até 4 cm; B) Cava Piritas, veio de hematita com calcopirita associada; C) Cava Piritas, veio preenchido por barita com malaquita associada; D) Cava Piritas, veio preenchido por calcopirita; E) Cava Piritas, veio de barita com hematita e calcopirita; F) Cava Uruguai, presença de bornita na matriz do conglomerado. Legenda: Bar – barita, Bor – bornita, Cpy – calcopirita, Hm – hematita, Mal – malaquita

6. Desenvolvimento do Trabalho

No primeiro estágio de trabalho foi realizado o trabalho de campo. Durante 32 dias consecutivos entre os meses de janeiro e fevereiro ficamos hospedados na Vila das Minas do Camaquã, distrito de Caçapava do Sul. Foram levantados no total 360 pontos na região das minas, desse total, a grande maioria foi levantada nas cavas Piritas, Uruguai e Intermediária.

Posteriormente ao trabalho de campo, realizou-se no primeiro semestre do projeto: (i) corte e descrição das amostras coletadas em campo; (ii) tratamento dos dados, com elaboração do banco de dados; (iii) tratamento preliminar dos dados estruturais em estereogramas; (iv) confecção de mapas geológicos preliminares (1:500) das cavas Piritas e Intermediária;

No segundo semestre realizou-se, o complemento dos mapas geológicos de detalhe das cavas Piritas (1:500), Uruguai (1:750) e Intermediária (1:500) e semi-detalhe (1:2000) da região das Minas do Camaquã e confecção de perfis e seções geológicas, que auxiliaram na interpretação final dos mapas geológicos. Os resultados obtidos foram comparados com a bibliografia consultada, possibilitando o estabelecimento de conclusões.

Tabela 3. Cronograma das atividades executadas no projeto.

Atividades	Período de trabalho										
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov
	1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º	8º	9º	10º	11º
Consulta bibliográfica											
Trabalho de campo											
Descrição macroscópica e separação das amostras											
Corte e re-descrição das amostras											
Elaboração de banco de dados											
Elaboração de mapas geológicos preliminares											
Elaboração de estereogramas e interpretações estruturais											
Elaboração de perfis e seções geológicas											
Elaboração do mapa geológico final											
Monografia											

7. Resultados

7.1. Geologia Local

As Minas do Camaquã localizam-se na parte central da Bacia do Camaquã, denominada de Sub-Bacia Central. As mineralizações de cobre estão hospedadas em conglomerados e arenitos do Grupo Santa Bárbara. As unidades litológicas encontradas e observadas na região das Minas do Camaquã serão descritas separadamente por cavas.

7.1.1. Cava Piritas

As rochas observadas e descritas em campo foram subdivididas em duas unidades litológicas, unidade dos conglomerados e unidade dos arenitos.

A unidade dos conglomerados é predominante na cava Piritas, aparece quase na totalidade da área, sendo constituída por conglomerados grossos, mal selecionados, com clastos sub-arredondados e de granulação bastante variável, desde clastos milimétricos até blocos de 40 cm. A composição litológica dos clastos também é bastante diversificada, compostos por fragmentos de rochas como, granitos, gnaisses, quartzitos, riolitos e milonitos (Figura 6).

Intercalações centimétricas (< 50 cm) de arenito fino a médio no conglomerado, são observados freqüentemente. São constituídos por cristais bem selecionados, sub-arredondados, com presença de estratificações cruzadas em algumas regiões, mas com predomínio de estratificação plano-paralela.

Nas partes superiores da cava, a unidade dos conglomerados é composta por conglomerados com blocos de rochas, freqüentemente superiores a 20 cm, indicando assim um ambiente de deposição de alta energia. Já nas partes inferiores, próxima a base da cava, os conglomerados apresentam-se com clastos menores, indicando um ambiente de baixa energia, diferente do observado nas partes superiores.

A unidade dos arenitos aflora principalmente na parte leste da cava, onde aparece colocado por um conjunto de falhas normais e no extremo oeste, onde aflora como lentes menores. A unidade apresenta arenitos de granulação fina, com coloração cinza claro, grãos bem selecionados, sub-arredondados, e com intercalações centimétricas de siltitos laminados, que apresentam marcas de ondas, laminação cruzada e brechas de ressecamento (Figura 6).

As unidades litológicas são cortadas freqüentemente por conjuntos de fraturas e falhas de comportamentos cinemáticos diversos. As mineralizações de cobre, presente na cava estão sempre inseridas nesses conjuntos de falhas e fraturas, aparecendo junto aos planos de falhas, no preenchimento de fraturas de tensão (T) e zonas brechadas (Figura 7).

Na parte oeste da cava, são encontrados conglomerados com alteração de sulfeto, de coloração amarelada, cortadas por vênulas e fraturas preenchidas, de intensa mineralização (Figura 6).

As mineralizações são compostas por sulfetos de cobre (calcopirita e bornita, principalmente) e hematita. Barita, calcita, quartzo e malaquita, também ocorrem preenchendo fraturas e falhas, e associando-se paralelamente com as mineralizações de cobre (Figura 7).

Disseminações de calcopirita e bornita na matriz dos conglomerados e arenitos estão presentes, apenas em regiões próximas às bordas de fraturas e falhas. Zonas de brechas também são observadas na cava, e são relacionados principalmente com as regiões de ocorrência de hematita e barita, em zona de falha (Figura 7).

Em torno das fraturas e de falhas, observa-se uma coloração esverdeada nas rochas, apontando para um processo de cloritização. Malaquita (carbonato de cobre) também é observado com frequência, é formada devido à ação intempérica nos sulfetos de cobre e por reação com o carbonato presente na matriz das rochas, aparecendo no preenchimento de fraturas e falhas, ou em zonas superficiais. São encontradas também diversas falhas com estrias, onde é observado preenchimento mineral de hematita e malaquita, principalmente.



Figura 6. Cava Piritas; A) Conglomerado estratificado, com clastos de até 40 cm; B) Intercalação do arenito fino a médio com conglomerado; C) Conglomerado polimítico com clastos de até 20 cm; D) Arenito fino de coloração cinza; E) Zona fraturada com intensa mineralização.

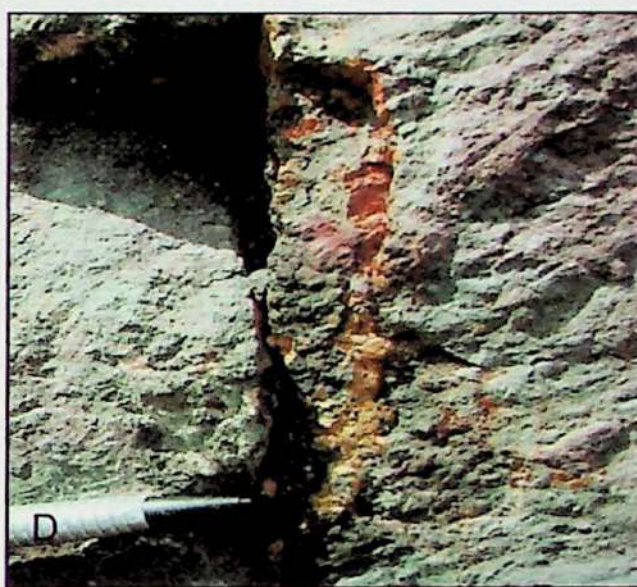
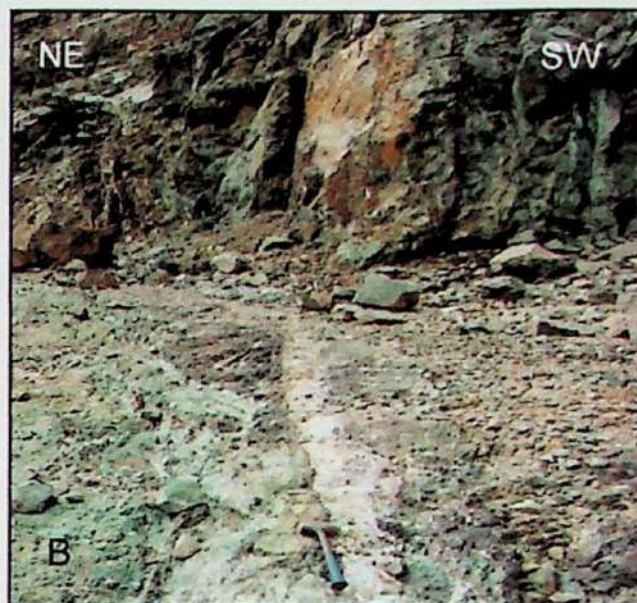
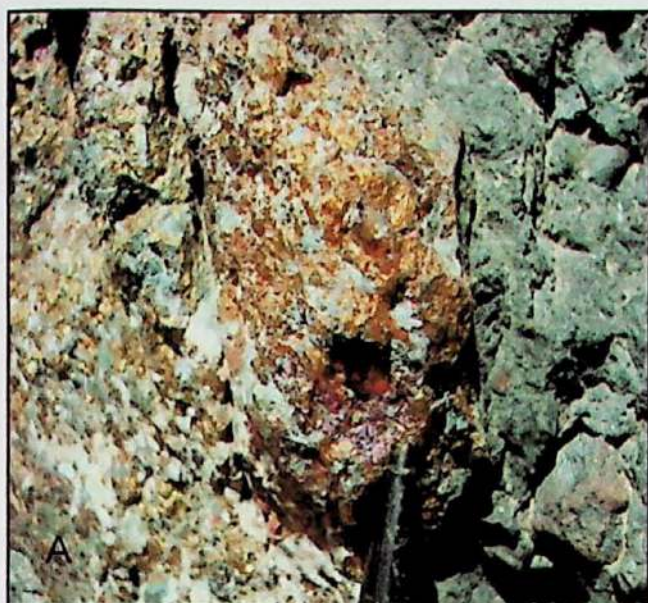


Figura 7. Cava Piritas; A) Veio mineralizado com calcopirita e bornita; B) Fraturas preenchidas por hematita e barita; C) Plano de falha preenchido por hematita; D) Fratura no arenito preenchida por calcopirita e hematita; E) Brecha em veio de barita, rumo 240°/80°.

7.1.2. Cava Intermediária

Na cava Intermediária afloram os mesmos litotipos observadas e descritas na cava Piritas, compostas principalmente por conglomerados e arenitos.

A unidade dos conglomerados é composta por conglomerados com clastos de granulação bastante variável, desde diâmetros milimétricos até 5 cm. No entanto, a granulometria desses clastos é, em média, inferior àqueles observados nas cavas Piritas e Uruguai. Os clastos são compostos, principalmente, por fragmentos de riolitos, gnaisses, granitos e milonitos (Figura 8).

Nas bancadas inferiores, a oeste da cava, encontram-se arenitos de granulação fina à média, de coloração cinza claro, bem selecionados, com intercalações centimétricas (< 20 cm) de conglomerados (Figura 8). O contato do arenito com o conglomerado ocorre de duas maneiras, por falha num lado, e por acamamento noutro.

As litologias dessa cava são intensamente basculadas e fraturadas, com disposição de fraturas e falhas em orientações diversas, indicando múltiplos eventos de deformação rúptil. A disposição do acamamento aparece em diferentes orientações, ora para SW, ora para NE, indicando a existência de prováveis estruturas sinformais e antiformais. As fraturas e falhas que cortam essas rochas estão preenchidas por hematita, barita, malaquita e sulfetos de cobre, principalmente.

As mineralizações ocorrem sempre nos planos de falhas e no preenchimento de fraturas. Nas proximidades dessas zonas de falhas e fraturas, ainda há poucos centímetros de distância destas, são encontrados e observados disseminações de sulfetos de cobre na matriz de conglomerados e arenitos, assim como, rochas cuja matriz é de coloração esverdeada, indicando presença de cloritização. São encontradas também estrias nos planos dessas falhas, onde observam-se a presença de preenchimento por hematita e malaquita (Figura 9).



Figura 8. Cava Intermediária; A) Arenito de coloração cinza; B) Conglomerado com clastos de até 5 cm.



Figura 9. Cava Intermediária; A) Plano de fraturas, de direção NNW, preenchido por barita; B) Plano de falha com estrias e preenchimento mineral de hematita; C) Veio com malaquita e calcocita; D) Calcopirita disseminada na matriz do conglomerado; E) Zona fraturada e mineralizada com sulfetos e seus respectivos óxidos.

7.1.3. Cava Uruguai

A cava Uruguai foi a mais explorada da região das Minas do Camaquã, localizando-se a oeste da cava Piritas, sendo que grande parte de sua área central de exposição, está coberta por água, o que dificultou o mapeamento das áreas de interesse em maior detalhe.

Assim como nas demais cavas, as unidades aflorantes principais na cava Uruguai são compostas por arenitos e conglomerados. A unidade dos conglomerados é composta por conglomerados estratificados de granulação variável, com clastos milimétricos até clastos de 20 cm de diâmetro, bem selecionados, com grãos sub-arredondados e compostos por fragmentos rochosos de granito, milonito e riolito (Figura 10).

Também são observadas intercalações centimétricas (< 20 cm) de arenito no conglomerado, essas são compostas por cristais de granulação fina, bem selecionada, sub-arredondada, com porções ricas em muscovita detrítica.

A unidade dos arenitos aflora na porção oeste da cava, e o contato com o conglomerado ocorre de duas maneiras, contato por acamamento de forma gradual na porção norte da unidade e contato por falha normal na porção sul (Figura 10). A unidade do arenito é composta por arenitos de coloração marrom, com granulação fina, grãos bem selecionados, sub-arredondados, com estratificação plano-paralelo bem marcada e visível.

As mineralizações de cobre ocorrem sempre preenchendo os planos de falhas e fraturas. As disseminações de sulfetos de cobre na matriz de arenitos e conglomerados, próximas a zonas de falhas e fraturas, não são observados com tanta frequência, como nas cavas Piritas e Intermediária.

Os minerais de minério das mineralizações constituem-se em calcocita, bornita e calcopirita principalmente. Barita e hematita, também ocorrem preenchendo fraturas e falhas, relacionando-se paralelamente as zonas mineralizadas de cobre. A malaquita, carbonato de cobre secundário, é produto da oxidação e intemperismo dos sulfetos de cobre presentes, podendo preencher fraturas e planos de falhas, bem como outras cavidades menores, e também percolando e depositando-se em superfícies de exposição da cava.

Na região leste da cava, região com maior abundância de zonas mineralizadas, ocorrem conglomerados com alteração de sulfetos, de coloração amarelada, com presença de vênulas e fraturas, preenchidas por hematita, bornita, calcocita e calcopirita, além da presença abundante de pirita.

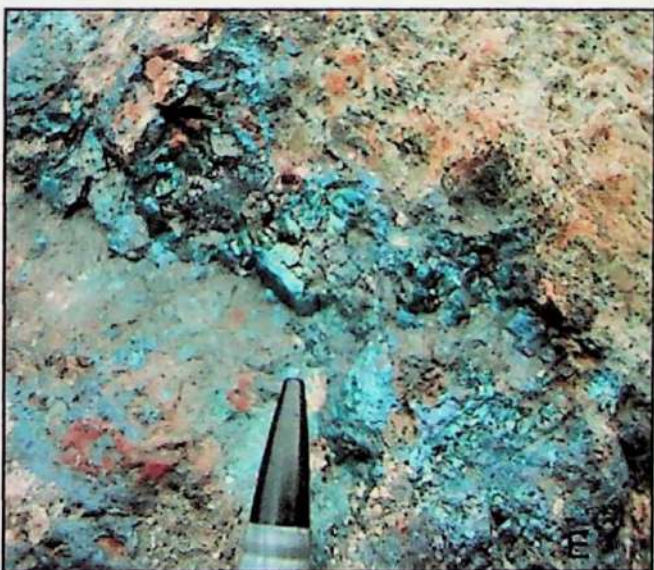
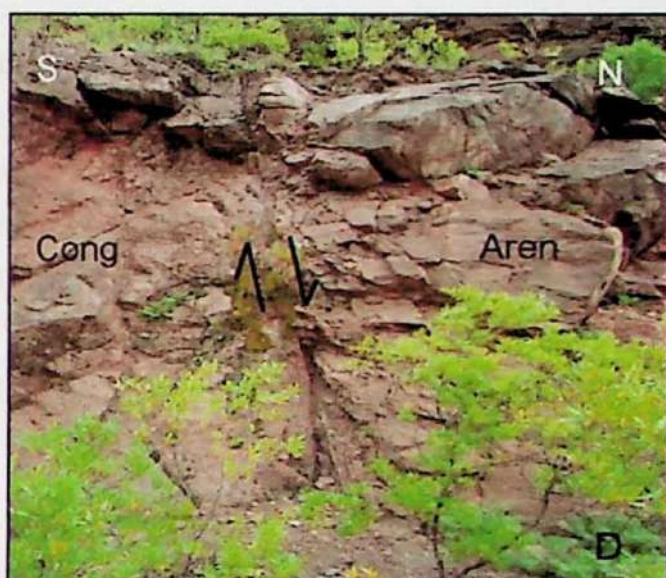


Figura 10. Cava Uruguai; A) Conglomerado estratificado com clastos de até 5 cm; B) Arenito de coloração marrom, com granulação fina; C) Contato gradual do conglomerado com o arenito; D) Contato entre o conglomerado e arenito, por falha normal; E) Plano de falha preenchida por bornita; F) Zona fraturada de coloração amarelada, com intensa mineralização.

Legenda: Cong – conglomerado; Aren – arenito

7.2. Geologia Estrutural

A marcante presença de fraturamentos e falhamentos, e conseqüente basculamento das camadas, são assinaturas estruturais marcantes nas rochas sedimentares das Minas do Camaquã. As medidas coletadas, principalmente na cava Piritas, indicam preliminarmente que mais de um evento tectônico rúptil atuou na região.

Foi possível identificar planos de falhas, tanto de comportamento normal, quanto inversa, com estrias preenchidas de hematita e malaquita; zonas brechadas e fraturas de tensão (T), preenchidas principalmente por sulfetos de cobre, barita e hematita.

Acamamento

Nas Minas do Camaquã foram coletadas um total de 186 medidas de atitude do acamamento, 69 medidas de falhas normais, 9 medidas de falhas inversas e 203 medidas de fraturas. A superfície de acamamento, presente nas rochas das Minas do Camaquã são freqüentemente cortadas por falhas e fraturas de comportamentos cinemáticos diversos.

Pelos estereogramas dessas medidas estruturais, observa-se, que o acamamento das rochas sedimentares presentes nas Minas do Camaquã estão dispostas preferencialmente segundo a direção, entre $N20^{\circ} - 80^{\circ}E$, mergulhando $25^{\circ} - 40^{\circ}$ para NW (Figura 11).

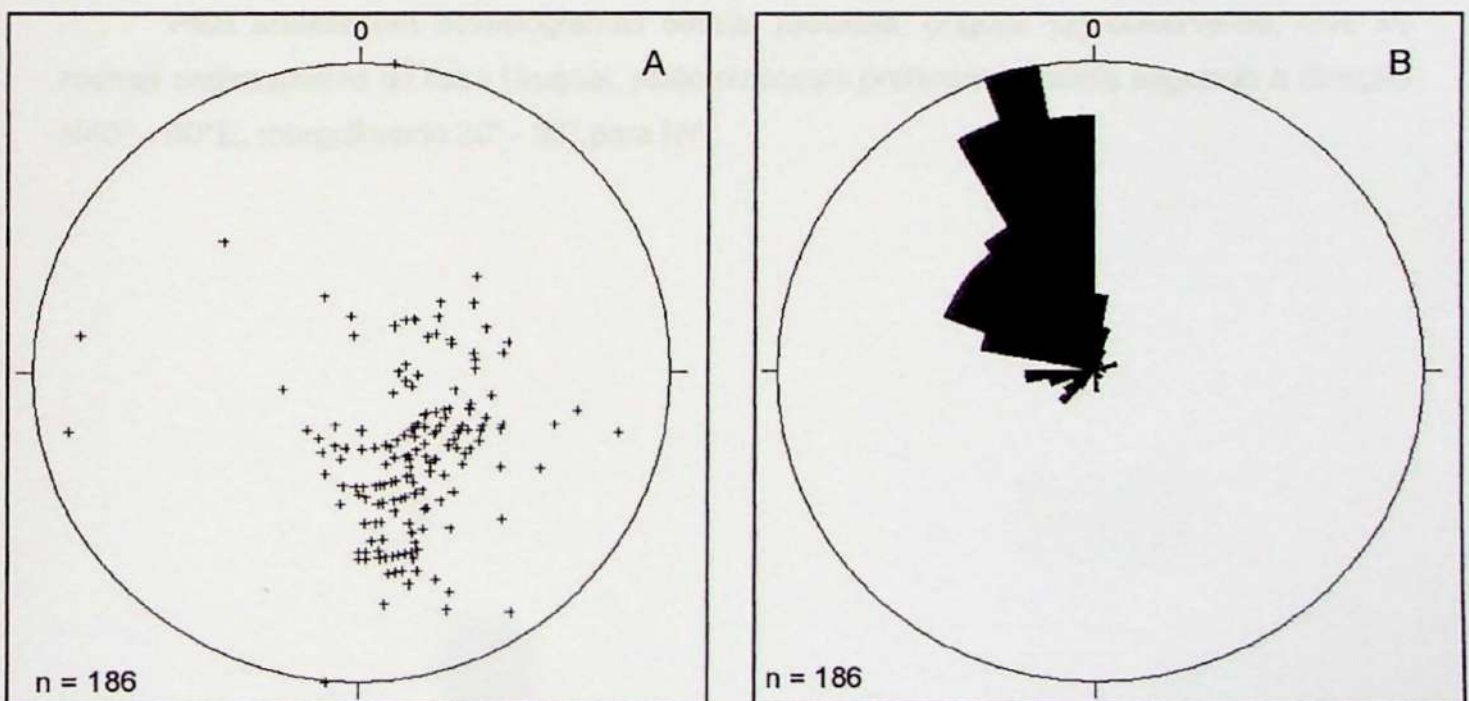


Figura 11. Estereograma (A - em projeção polar) e diagrama tipo roseta de densidade (B) das medidas de acamamento das Minas do Camaquã, mostrando a disposição das camadas segundo a direção, entre $N20^{\circ} - 80^{\circ}E$, mergulhando $25^{\circ} - 40^{\circ}$ para NW.

(n = quantidade de medidas)

Na cava Piritas foram coletadas 105 medidas de atitude do acamamento, onde observa-se também, essas superfícies de acamamento cortadas freqüentemente por falhas e fraturas, de comportamentos cinemáticos diversos.

Pela análise em estereogramas dessas medidas, (Figura 12) observa-se, que o acamamento das rochas sedimentares presentes na cava Piritas estão dispostas preferencialmente segundo a direção $N60^{\circ} - 80^{\circ} E$, mergulhando $25^{\circ} - 40^{\circ}$ para NW.

Na cava Intermediária foram coletadas 41 medidas de atitude do acamamento, onde observa-se, intenso basculamento das rochas aflorantes. As rochas da cava Intermediária estão dispostas em diversas orientações, podendo observar estruturas sinformais e antiformais (Figura 18). Possivelmente esse basculamento deve-se ao evento deformacional que ocorreu na região.

Pela análise em estereogramas e principalmente pela densidade de medidas de acamamento, conclui-se, que a direção preferencial das camadas sedimentares é $N10-20^{\circ}W$, mergulhando $15^{\circ} - 35^{\circ}$ para SW (Figura 12). Mas como podem ser observadas nos estereogramas, as camadas sedimentares da cava Intermediária, estão dobradas, formando estruturas sinformais e antiformais.

Na cava Uruguai foram coletadas 40 medidas de atitude do acamamento. Observa-se nas rochas da cava, menor intensidade de basculamento das camadas sedimentares, quando comparada com as cavas Piritas e Intermediária.

Pela análise em estereogramas dessas medidas, (Figura 12) observa-se, que as rochas sedimentares da cava Uruguai, estão dispostas preferencialmente segundo a direção $N40^{\circ} - 80^{\circ}E$, mergulhando $20^{\circ} - 35^{\circ}$ para NW.

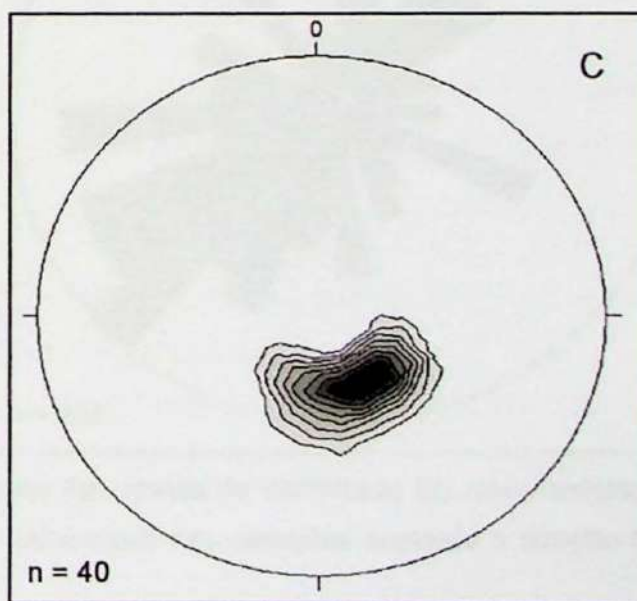
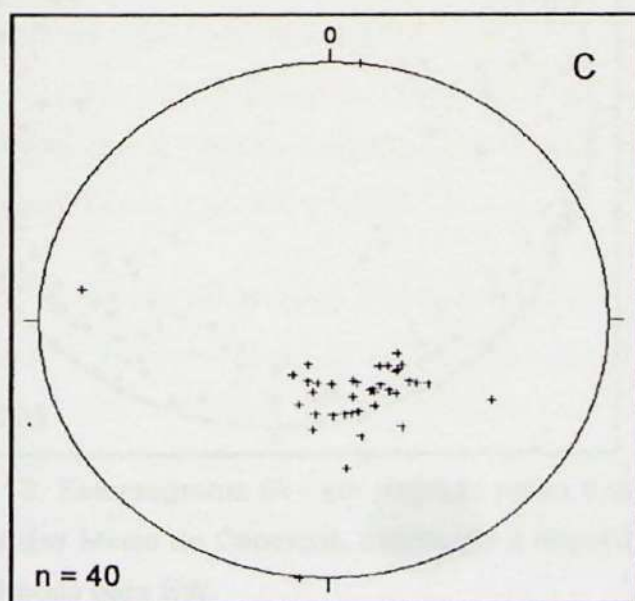
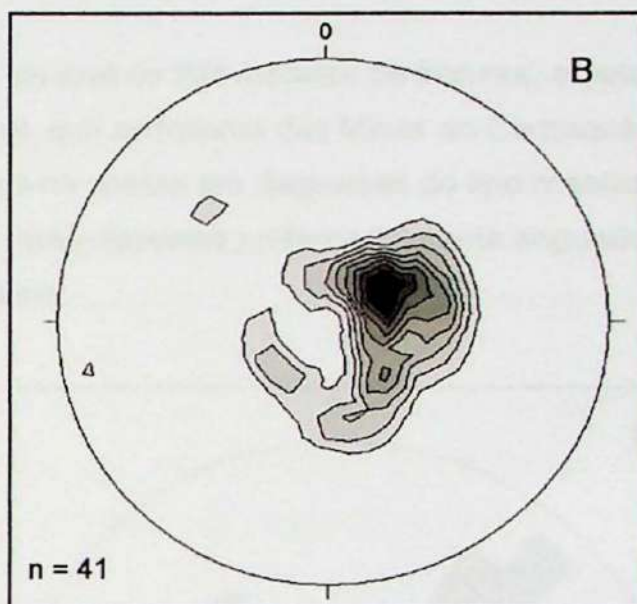
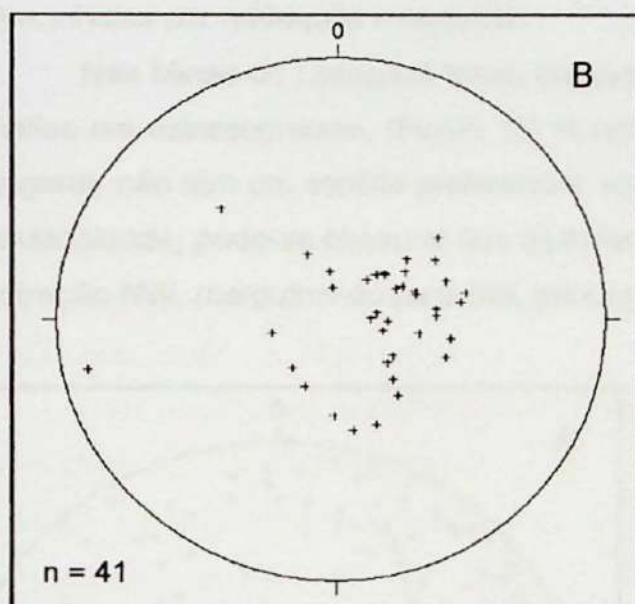
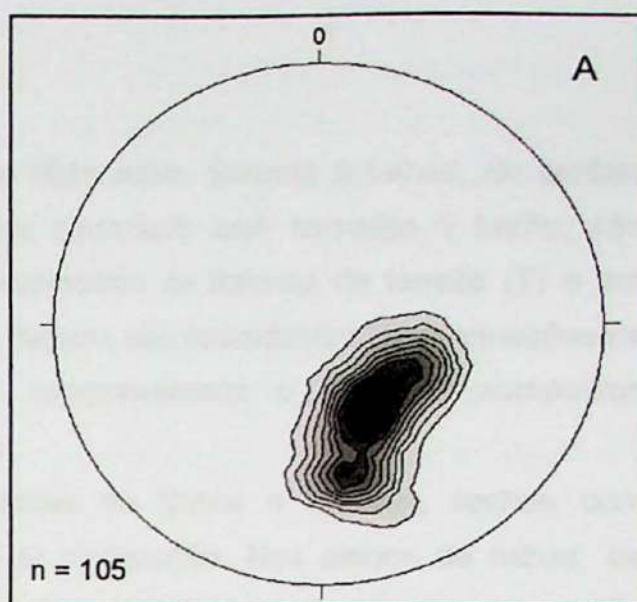
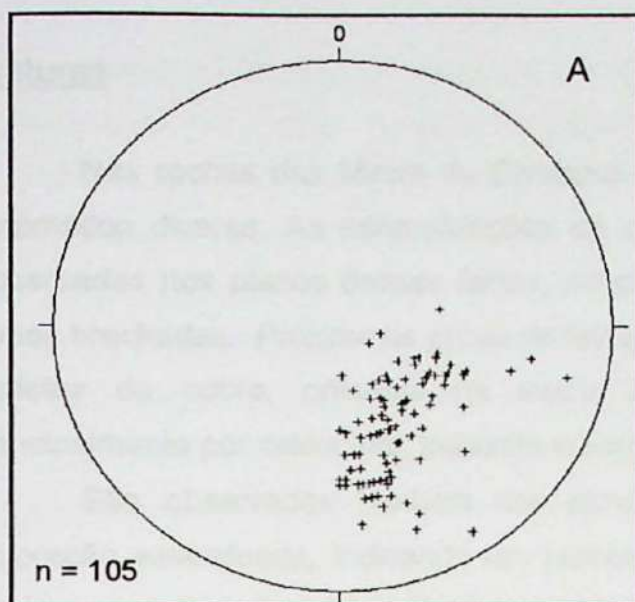


Figura 12. Estereogramas (em projeção polar) das medidas de atitude do acamamento; A) Cava Piratas, acamamento das rochas sedimentares dispostas segundo a direção N60° - 80°E; B) Cava Intermediária, acamamento das rochas dispostas segundo a direção N10° - 20°W; C) Cava Uruguai, acamamento das rochas dispostas segundo a direção N40° - 80°E.

(n = quantidades de medidas)

Fraturas

Nas rochas das Minas do Camaquã são observadas fraturas e falhas, de caráter cinemático diverso. As mineralizações de cobre, associado com hematita e barita, são observadas nos planos dessas falhas, no preenchimento de fraturas de tensão (T) e em zonas brechadas. Próximo as zonas de falhas e fraturas são encontradas disseminações de sulfetos de cobre, presente na matriz dos conglomerados e arenitos, compostos principalmente por calcopirita, calcocita e bornita.

São observadas também nas proximidades de falhas e fraturas, rochas com coloração esverdeada, indicando um processo de cloritização. Nos planos de falhas, de caráter normal ou inverso, são observadas lineações de estria que freqüentemente estão preenchidas por malaquita e hematita.

Nas Minas do Camaquã foram coletadas um total de 203 medidas de fraturas, e pela análise em estereogramas, (Figura 13) observa-se, que as fraturas das Minas do Camaquã, no geral, não têm um sentido preferencial. Apenas na análise em diagramas do tipo rosetas de densidade, pode-se observar que as fraturas estão dispostas preferencialmente segundo a direção NW, mergulhando para SW, principalmente.

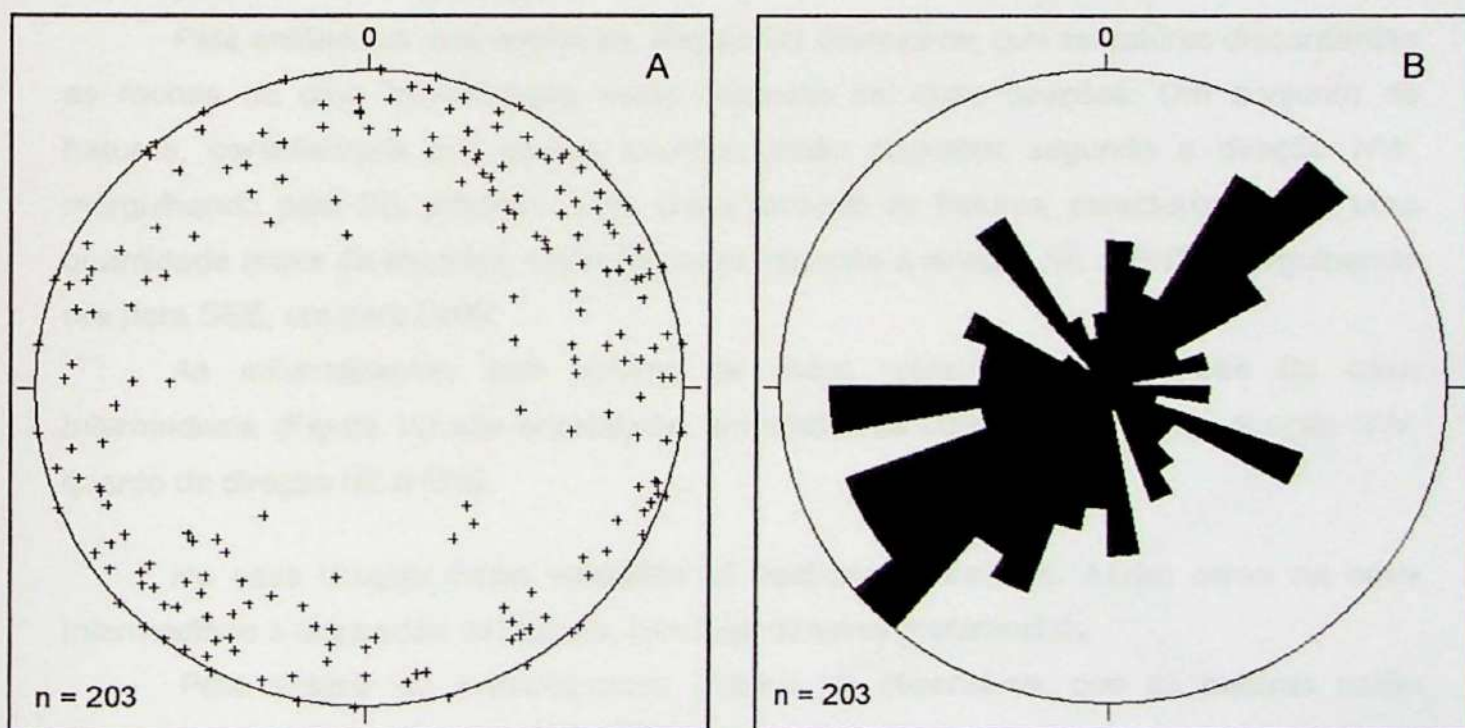


Figura 13. Estereograma (A - em projeção polar) e diagrama tipo roseta de densidade (B) das medidas de fraturas das Minas do Camaquã, mostrando a disposição preferencial das camadas segundo a direção NW, mergulhando para SW.

(n = quantidade de medidas)

Na cava Piritas foram coletadas um total de 103 medidas de fraturas discordantes ao acamamento, nas rochas da cava. Pela análise em estereogramas, (Figura 14), observa-se, que as fraturas estão dispostas segundo a direção N30° - 70°W, mergulhando 70°- 85° para SW ou para NE. Um segundo conjunto de fraturas estão dispostas segundo a direção N20° - 30°E, mergulhando 70°-80° para SE, principalmente.

As mineralizações de sulfetos de cobre, composta principalmente por calcopirita e bornita, ocorrem em fraturas de tensão (T), associadas com hematita e barita. Essas mineralizações estão dispostas preferencialmente segundo as estruturas encontradas entre as direções N30° - 70°W.

Estruturas	Quantidade de medidas	(%)
Fraturas	103	100%
Fraturas com sulfetos de cobre	30	29,10%

Na cava Intermediária foram coletadas um total de 67 medidas de fraturas. A análise preliminar em campo mostrou que as fraturas não têm uma direção preferencial de disposição, como na cava Piritas.

Pela análise em estereogramas, (Figura 14) observa-se, que as fraturas discordantes as rochas da cava Intermediária, estão dispostas em duas direções. Um conjunto de fraturas, caracterizada por poucas medidas, estão dispostas segundo a direção NW, mergulhando para SE, principalmente. Outro conjunto de fraturas, caracterizada por uma quantidade maior de medidas, estão dispostas segundo a direção NE a ENE, mergulhando ora para SSE, ora para NNW.

As mineralizações com sulfetos de cobre presentes nas fraturas da cava Intermediária (Figura 18) são encontradas em ambos os conjuntos, tanto de direção NW, quanto de direção NE a ENE.

Na cava Uruguai foram coletadas 33 medidas de fraturas. Assim como na cava Intermediária a disposição de fraturas, tem duas direções preferenciais.

Pela análise em estereogramas, (Figura 14) observa-se, que as fraturas estão dispostas segundo a direção NW, mergulhando ora para NE, ora para SW e segundo a direção NE, mergulhando tanto para NW, como para SE.

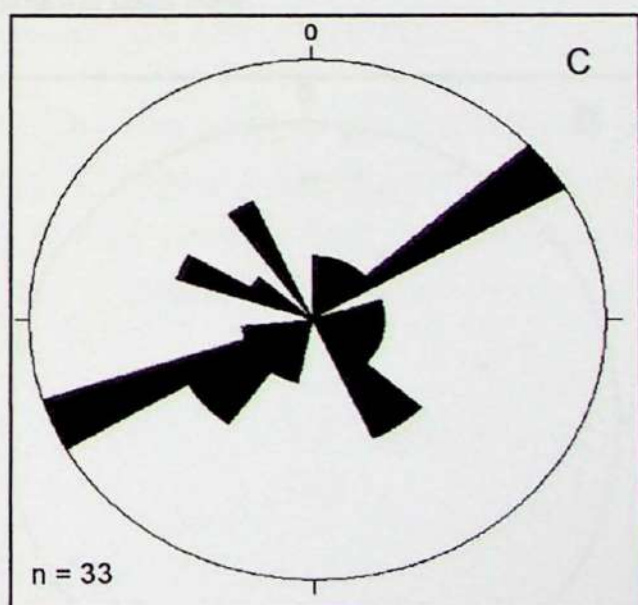
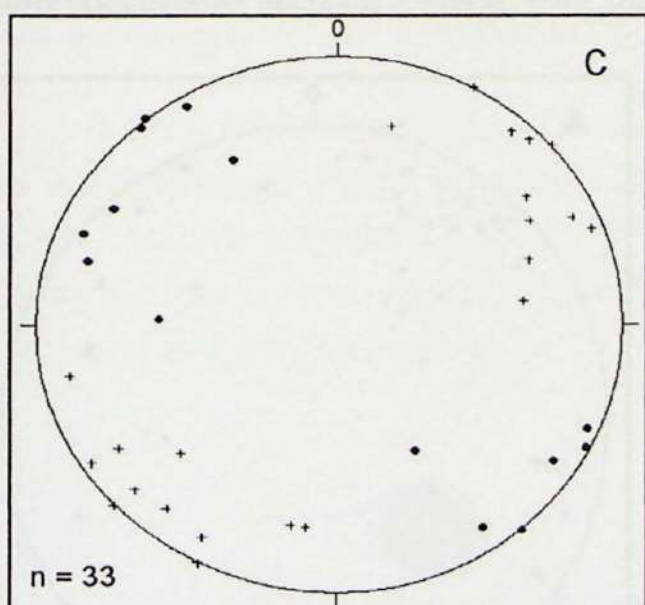
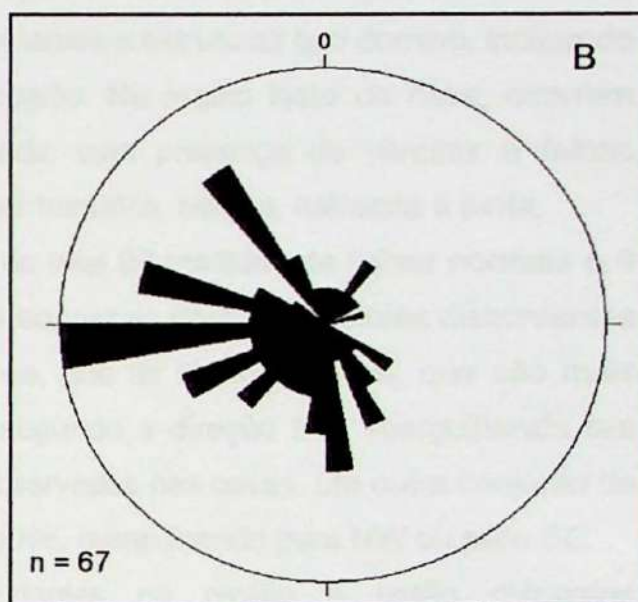
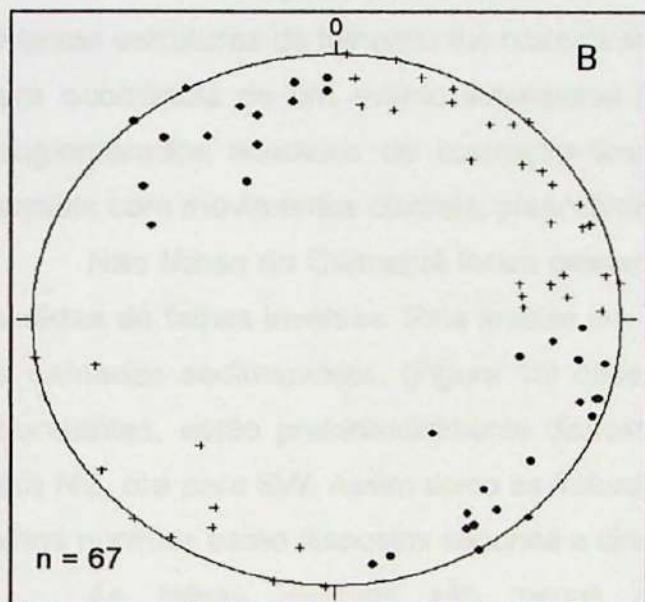
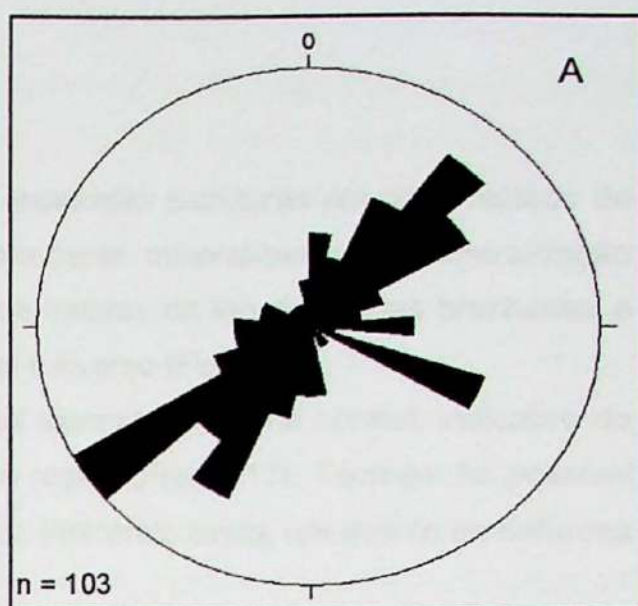
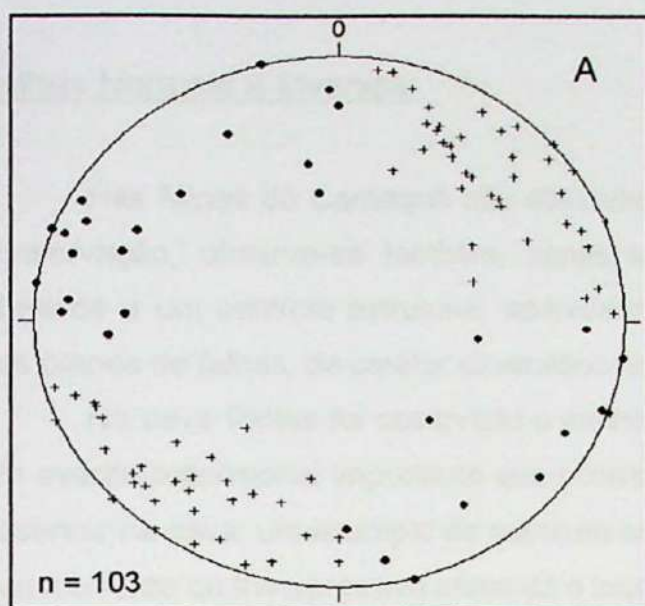


Figura 14. Estereogramas (em projeção polar) e diagramas do tipo roseta de densidade, das medidas de fraturas; A) Cava Piritas; B) Cava Intermediária; C) Cava Uruguai.

(n = quantidade de medidas)

Símbolos: (+) Fraturas NW; (•) Fraturas NE a ENE.

Falhas Normais e Inversas

Nas Minas do Camaquã são observadas excelentes estruturas em ótimo estado de conservação, observa-se também, zonas intensamente mineralizadas. A mineralização obedece a um controle estrutural, aparecendo em fraturas de tensão, zonas brechadas e nos planos de falhas, de caráter cinemático normal e inverso (Figura 17).

Na cava Piritas foi observado o melhor dos exemplos de falha normal, indicativo de um evento extensional importante que ocorreu na região (Figura 17). Também foi possível observar na cava, um exemplo de estrutura em flor, indicando ainda, um evento de natureza transcorrente ou transpressiva afetando o local.

Na cava Uruguai, mas precisamente na região oeste da cava, foi possível observar diversas estruturas de falhamentos normais semelhantes a estruturas tipo dominó, indicando para ocorrência de um evento extensional na região. Na região leste da cava, ocorrem conglomerados alterados de coloração amarelada, com presença de vênulas e falhas normais com movimentos dextrais, preenchidas por hematita, bornita, calcocita e pirita.

Nas Minas do Camaquã foram coletados no total 69 medidas de falhas normais e 9 medidas de falhas inversas. Pela análise em estereogramas dessas estruturas discordantes as camadas sedimentares, (Figura 15) observa-se, que as falhas normais, que são mais abundantes, estão preferencialmente dispostas segundo a direção NW, mergulhando ora para NE, ora para SW. Assim como as fraturas observadas nas cavas, um outro conjunto de falhas normais estão dispostos segunda a direção NE, mergulhando para NW ou para SE.

As falhas inversas são menos abundantes na região e estão dispostas preferencialmente segundo a direção ENE, mergulhando para SSE.

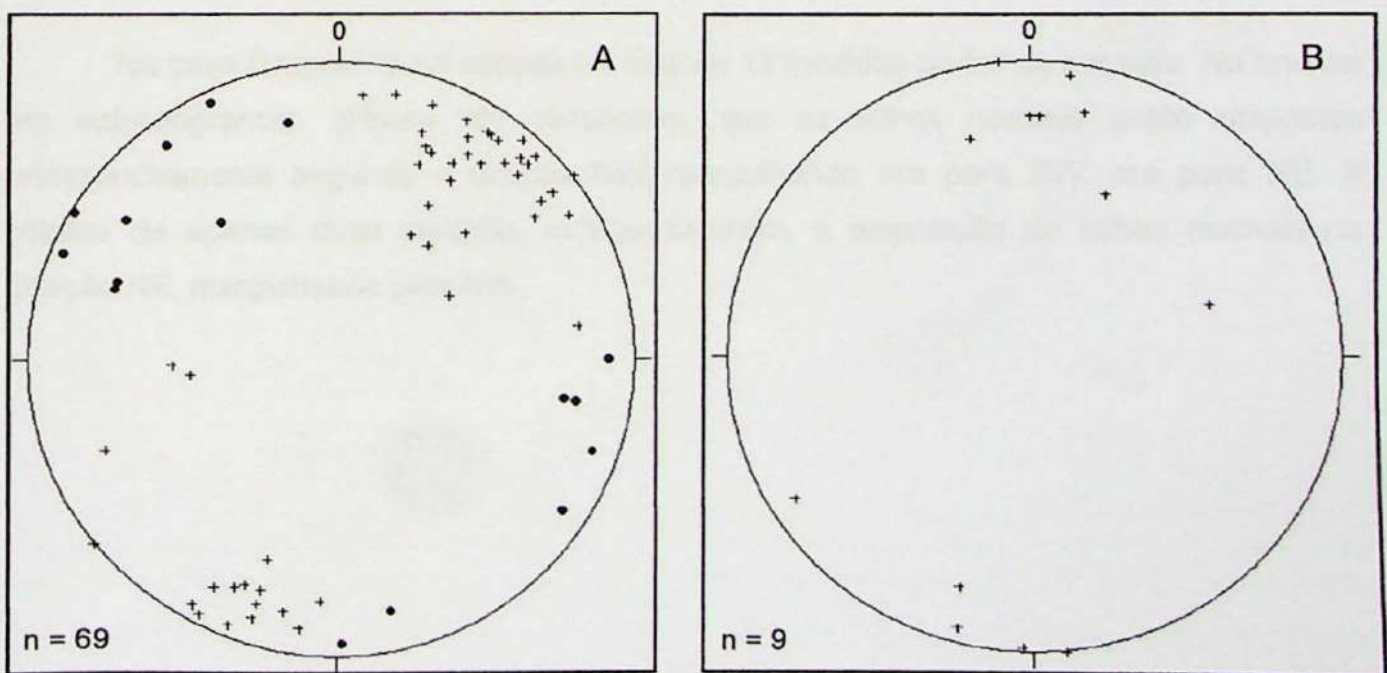


Figura 15. Estereogramas (em projeção polar) das medidas de falhas das Minas do Camaquã; A) Falhas Normais; B) Falhas Inversas. (n = quantidade de medidas; (+) Falhas NW; (•) Falhas NE)

Na cava Piritas, mais precisamente na porção leste da cava, observa-se, falhas normais com atitude $14^{\circ}/70^{\circ}$ e $212^{\circ}/62^{\circ}$ (Figura 17), onde estão relacionados com a colocação do arenito, observa-se também, falhas normais na porção oeste, relacionados com zonas de intensa mineralização de cobre. Ainda, na parte leste da cava Piritas, observa-se, o melhor exemplo de falha inversa com atitude $58^{\circ}/80^{\circ}$.

As mineralizações de cobre, na maioria das vezes, associada com hematita e barita, ocorrem preenchendo planos de falhas normais com movimento dextral, principalmente.

Na análise em estereogramas, (Figura 16) observa-se, que as falhas normais estão dispostas preferencialmente segundo a direção $N40^{\circ} - 70^{\circ}W$, mergulhando $65^{\circ} - 80^{\circ}$ para SW. Outro conjunto de medidas de falhas, evidencia ainda a presença de falhas normais de direção NE, mergulhando para SE. As mineralizações com sulfetos de cobre ocorrem nas falhas normais de direção, entre $N40^{\circ} - 70^{\circ}W$, principalmente.

Devido a pouca quantidade de dados de falhas inversas, não foi possível realizar uma análise mais completa, mas a direção preferencial das falhas inversas são as mesmas observadas para as falhas normais, da cava Piritas.

Na cava Intermediária foram coletadas no total 15 medidas de falhas normais e 7 medidas de falhas inversas. As falhas normais ocorrem principalmente na delimitação do corpo de arenito que aflora na porção sudeste da cava. Na análise em estereogramas, (Figura 16) observa-se, que as falhas normais estão dispostas preferencialmente na direção NE, mergulhando ora para SE, ora para NW. Outro conjunto de falhas normais, caracterizadas por poucas medidas, estão dispostas na direção NW, mergulhando preferencialmente para NE, principalmente. As falhas inversas estão dispostas preferencialmente segundo a direção ENE, mergulhando para SSE (Figura 18).

Na cava Uruguai foram coletas um total de 13 medidas de falhas normais. Na análise em estereogramas, (Figura 16) observa-se, que as falhas normais estão dispostas preferencialmente segundo a direção NW, mergulhando ora para SW, ora para NE. A coletas de apenas duas medidas, indicam também, a disposição de falhas normais na direção NE, mergulhando para NW.

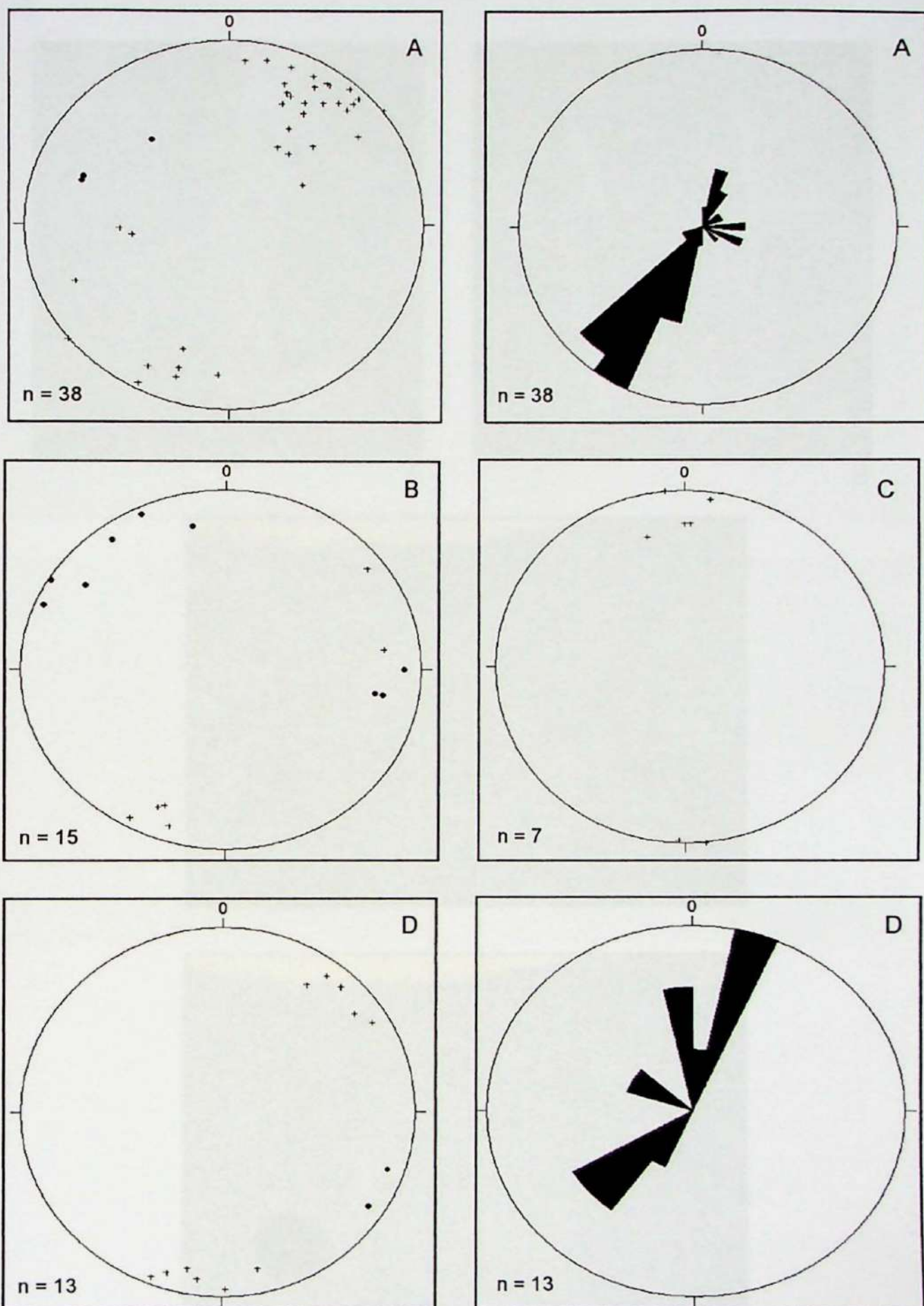
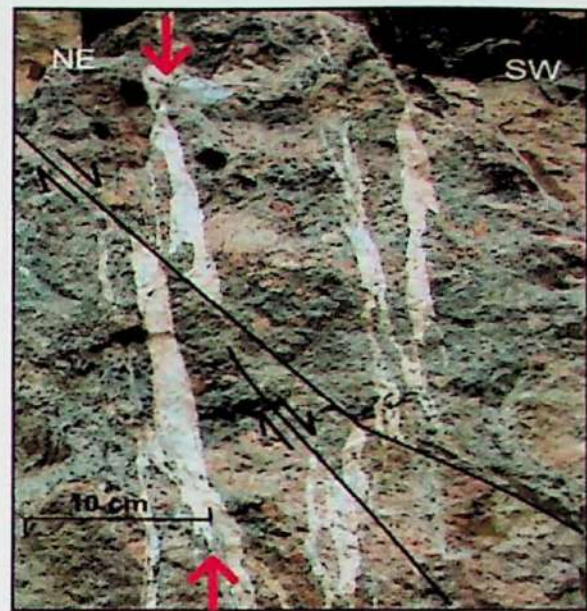


Figura 16. A) Estereograma (em projeção polar) e diagrama do tipo de densidade, das medidas de falhas normais da cava Piritas; B) Estereograma das medidas de falhas normais da cava Intermediária; C) Estereograma das medidas de falhas inversas da cava Intermediária; D) Estereograma e diagrama do tipo roseta de densidade, das medidas de falha normais da cava Uruguai.

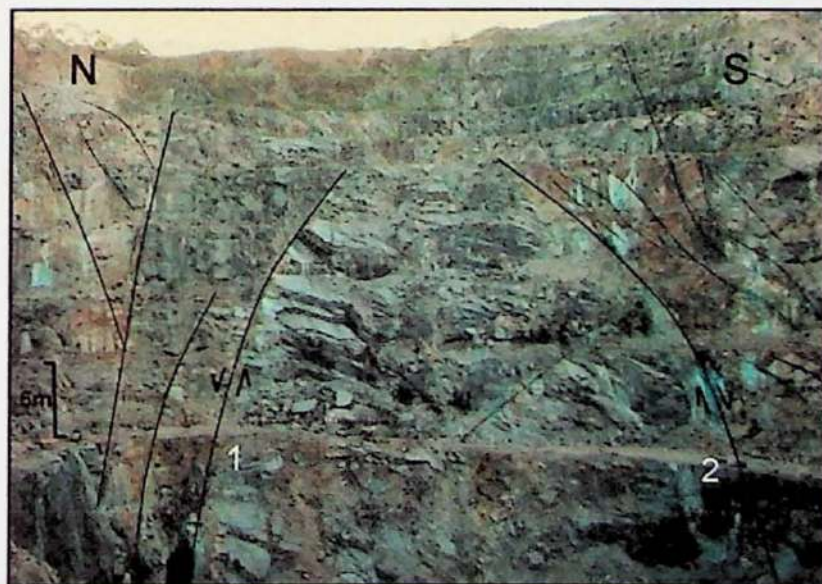
(n = quantidade de medidas; (+) Falhas normais NW; (•) Falhas normais NE.



A



B



C

Figura 17. Cava Piritas: A) Brecha em veio de barita, atitude $40^{\circ}/42^{\circ}$; B) Fraturas tipo T preenchida por barita, indicando compressão NW, presença de falhas de sentido dextral. As setas vermelhas indicam a direção do esforço principal; C) Falhas normais e sua interpretação cinemática, (1) atitude $14^{\circ}/70^{\circ}$, (2) $212^{\circ}/62^{\circ}$.

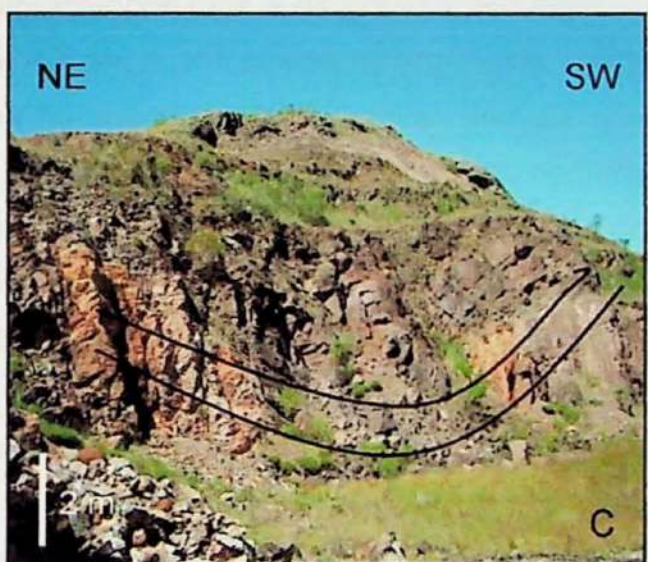
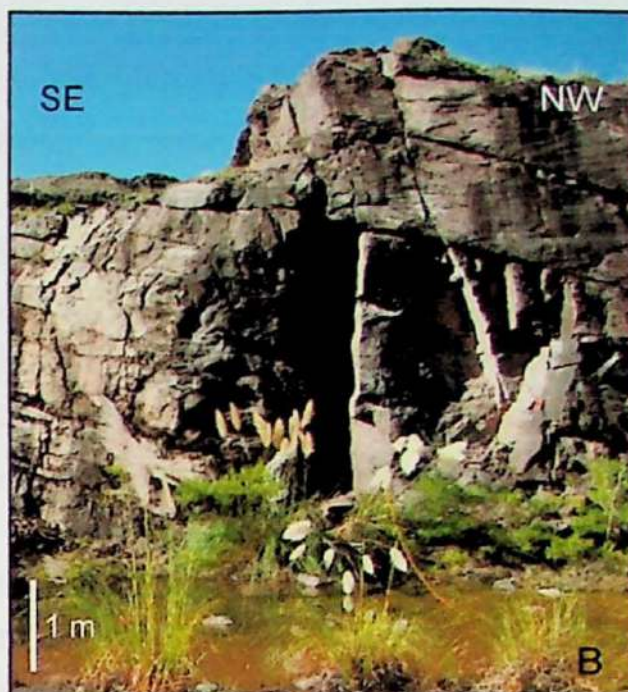


Figura 18. Cava Intermediária: A) Plano de falha com calcocita e malaquita; B) Fraturas com atitude $300^{\circ}/80^{\circ}$; C) Rochas sedimentares dobradas, formando uma estrutura sinforme; D) Conjunto de fraturas preenchidas por barita e malaquita (1 – $182^{\circ}/85^{\circ}$; 2 – $321^{\circ}/80^{\circ}$; 3 – $270^{\circ}/82^{\circ}$); E) Falha inversa preenchida por barita e malaquita, com atitude $182^{\circ}/70^{\circ}$.

8. Conclusão

A caracterização lito-estrutural dos depósitos de cobre das Minas do Camaquã, através do mapeamento geológico de detalhe, permitiu o reconhecimento das litologias presentes nas cavas, a caracterização das estruturas discordantes às rochas e sua interpretação, possibilitando o posicionamento das mineralizações de cobre.

As Minas do Camaquã localizam-se na parte central da Bacia do Camaquã, composto pelas cavas Piritas, São Luiz, Uruguai e Intermediária. As unidades litológicas, pertencentes ao Grupo Santa Bárbara, que afloram nas Minas do Camaquã são compostas por arenitos e conglomerados, principalmente.

A unidade dos conglomerados é predominante nas cavas das Minas do Camaquã, aparece quase na totalidade da área das cavas Piritas e Intermediária. A unidade dos conglomerados é constituída por conglomerados grossos, mal selecionados, com clastos sub-arredondados e de granulação bastante variável, desde clastos milimétricos até blocos de 40 cm. A composição litológica dos clastos também é bastante diversificada, compostos por fragmentos de rochas como, granitos, gnaisses, quartzitos, riolitos e milonitos

A unidade dos arenitos aflora na parte leste da cava Piritas, onde aparece colocado por um conjunto de falhas normais e no extremo oeste, onde aflora como lentes menores. Nas cavas Intermediária e Uruguai, o arenito aflora na porção oeste da área, e seu contato com o conglomerado ocorre de duas maneiras, por acamamento e contato por falha normal.

Nas cavas Piritas e Intermediária, a unidade apresenta arenitos de granulação fina, com coloração cinza claro, grãos bem selecionados e sub-arredondados. Na cava Uruguai, a unidade dos arenitos é composta por arenitos de coloração marrom, com granulação fina, grãos bem selecionados, sub-arredondados, com estratificação plano-paralelo bem marcada e visível.

A região das Minas do Camaquã é intensamente basculada e fraturada. Nas cavas foram observadas estruturas discordantes as rochas como, planos de falhas de comportamento normal e inverso, fraturas de tensão (T) e zonas brechadas. As mineralizações de cobre, associada com hematita e barita, são observadas principalmente nos planos de falhas normais, no preenchimento de fraturas e em zonas brechadas, de direção NNW a NW, principalmente. Segundo Santos, M.G.M (2007) o evento gerador dessas estruturas relacionadas à mineralização de cobre, de direção NNW a NW é o evento deformacional mais antigo reconhecido na região.

O minério de cobre é constituído, principalmente, por bornita, calcocita e calcopirita, e apresenta-se principalmente na forma de filões maciços e disseminações muito próximas as bordas dos filões.

Através da análise em estereogramas, observou-se, que as camadas sedimentares das Minas do Camaquã, estão dispostas na direção, entre N20° - 80°E, mergulhando 25° - 40° NW, exceto as rochas da cava Intermediária, que estão dispostas preferencialmente na direção NW.

As fraturas e falhas nas Minas do Camaquã estão dispostas preferencialmente na direção NW, mergulhando ora para SW, ora para NE. Além das fraturas e falhas NW, observa-se também, fraturas e falhas dispostas na direção NE, mergulhando tanto para SE quanto para NW.

Os dados estruturais e suas interpretações corroboram com as pesquisas realizadas na área anteriormente (Bettencourt 1972, Almeida, R.P 2005 e Santos M.G.M 2007) principalmente, com relação à disposição de fraturas e falhas, associadas com as mineralizações de cobre.

9. Referências Bibliográficas

- ALMEIDA, F.F.M. (1969). Diferenciação Tectônica da Plataforma Brasileira. *In: SBG, Congr. Bras. Geol.*, 23, Salvador, 1969. Anais, p. 29-46.
- ALMEIDA, R.P. (2005). *Tectônica e Sedimentação do Ediacarano ao Ordoviciano: Exemplos do Supergrupo Camaquã (RS) e do Grupo Caacupé (Paraguai Oriental)*. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. Tese de Doutorado, 203p.
- ALMEIDA, R.P.; JANIKIAN, L.; FRAGOSO-CESAR, A.R.S.; FAMBRINI, G.L. (2010). *The Ediacaran to Cambrian Rift System of Southeastern South America: Tectonic Implications*. *In: Journal of Geology*, 2010, v. 118, p.145-161.
- BECKEL, J. (1990). *Metalogenia del Cu, Pb y Zn en la Cuenca de Camaquã durante el Ciclo Orogenico Brasileiro, Rio Grande del Sur (Brasil)*. Tese de Doutorado, Universidade de Salamanca, Espanha, 275p.
- BETTENCOURT, J.S. (1972). *A Mina de Cobre de Camaquã, Rio Grande do Sul*. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. Tese de Doutorado, 175p.
- CARVALHO, P.F. (1932). Reconhecimento geológico do Estado do Rio Grande do Sul. *Boletim do Serviço Geológico e Mineralógico*, Rio de Janeiro, 72p.
- CORRIVEAU, L. (2009). *Iron oxide copper-gold (\pm Ag \pm Nb \pm P \pm Ree \pm U) Deposits: A Canadian perspective*. Natural Resources Canada, Geological Survey of Canada.
- COX, D.P.; LINDSEY, D.A.; SINGER, D.A.; MORING, B.C.; DIGGLES, M.F. (2003). *Sediment-Hosted Copper Deposits of the World: Deposit Models and Database*. U.S. Geological Survey (USGS).
- ECKSTRAND, O.R.; HULBERT, L.J. (2007). *Magmatic nickel-copper-platinum group element deposits, in Goodfellow, W.D., ed., Mineral Deposits of Canada: A Synthesis of Major Deposit Types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces, and Exploration Methods: Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, Special Publication No. 5, p. 205-222.*
- FAMBRINI, G.L. (2003). *O Grupo Santa Bárbara (Neoproterozóico III) da Bacia do Camaquã, Rio Grande do Sul*. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. Tese de Doutorado, 263p.

- FAMBRINI, G.L.; ALMEIDA, R.P.; FRAGOSO-CESAR, A.R.S. (2006). Estratigrafia e evolução paleogeográfica do Grupo Santa Bárbara (Ediacarano) na Sub-Bacia Camaquã Ocidental, Rio Grande do Sul, Brasil. *Rev. Bras. Geoc.*, 36(3): 550-565.
- FERNANDES, L.A.D.; TOMMAS, A.; PORCHER, C.C. (1992). *Deformation patterns in the southern Brazilian branch of the Pan-African Dom Feliciano Belt: a reappraisal. J. South Am. Earth Sci.*, 5(1):77-96.
- FRAGOSO-CESAR, A.R.S. (1991). *Tectônica de Placas no Ciclo Brasileiro: as orogenias dos Cinturões Dom Feliciano e Ribeira no Rio Grande do Sul*. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. Tese de Doutorado, 366p.
- FRAGOSO-CESAR, A.R.S.; ALMEIDA, R.P.; FAMBRINI, G.L.; PELOSI, A.P.M.R.; JANIQUIAN, L. (2003). A Bacia do Camaquã: um sistema intracontinental anorogênico de *rifts* do Neoproterozóico III-Eopaleozóico no Rio Grande do Sul. *In: SBG, Enc. Estra.RS- Escudos e Bacias*, 1, *Anais*, p. 139-144.
- GALLEY, A.G.; HANNINGTON, M.D.; JONASSON, I.R. (2007). *Volcanogenic massive sulphide deposits, in Goodfellow, W.D., ed., Mineral Deposits of Canada: A Synthesis of Major Deposit-Types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces, and Exploration Methods: Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, Special Publication No. 5*, p. 141-161.
- GOODFELLOW, W.D.; LYDON, J.W. (2007). *Sedimentary exhalative (SEDEX) deposits, in Goodfellow, W.D., ed., Mineral Deposits of Canada: A Synthesis of Major Deposit Types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces, and Exploration Methods: Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, Special Publication. No. 5*, p. 163-183.
- HITZMAN, M.C., (2000). *Iron oxide-Cu-Au deposits: What, where, when, and why?, in Porter, T.M., ed., Hydrothermal iron oxide copper-gold and related deposits: A global perspective: PGC Publishing, Adelaide*, v. 1, p. 9- 25.
- LAUX, J.H.; LINDENMAYER, Z.G.; (2000). As Minas do Camaquã: um século de evolução de hipóteses genéticas. Capítulo, As Minas do Camaquã: um estudo multidisciplinar; RONCHI, L.H.; LOBATO, A.;1; Editora UNISINOS; São Leopoldo.
- LEINZ, V.; ALMEIDA, S.C. (1941). Gênese da jazida de cobre "Camaquam", município de Caçapava – Rio Grande do Sul. Secretaria dos Negócios de Agricultura Indústria e Comércio do Estado do Rio Grande do Sul, DPM, Boletim nº 88, 56 p.

- MACHADO, R.; SAYEG, H.S. (1992). Aplicação da análise geométrica e cinemática nos falhamentos que condicionaram a bacia molássica do Arroio Boci, RS. *In*: SBG/UNISINOS, I Workshop Sobre as Bacias Molássicas Brasileiras, São Leopoldo. Boletim de Resumos Expandidos, p. 73-76.
- PAIM, P.S.G.; CHEMALE, JR.F.; LOPES, R.C. (2000). A Bacia do Camaquã. *In*: M.Holtz & L. F. de Ros (eds) Geologia do Rio Grande do Sul. Ed: 1., Porto Alegre, Editora da UFRGS, p. 231-274.
- RIBEIRO, M.; BOCCHI, P.R.; FIGUEIREDO Fº, P.M.; TESSARI, R.I. (1966). Geologia da Quadrícula de Caçapava do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil. Boletim da Divisão de Fomento da Produção Mineral. DNPM, Rio de Janeiro, p. 127.
- RIBEIRO, M.J. (1991). *Sulfetos em sedimentos detríticos cambrianos do Rio Grande do Sul, Brasil*. Tese de Doutorado. IG-UFRGS, 416 pp.
- SANTOS, M.G.M. (2007). *Análise de paleotensões de estruturas rúpteis em sucessões do Grupo Santa Bárbara (Ediacarano, Bacia do Camaquã) na Mina Uruguai, Minas Camaquã (RS)*. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. Monografia de Trabalho de Formatura, 59p.
- SINCLAIR, W.D. (2009). *Porphyry deposits, in Goodfellow, W.D., ed., Mineral Deposits of Canada: A Synthesis of Major Deposit-Types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces, and Exploration Methods: Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, Special Publication No. 5, p. 223-243.*
- TAYLOR, B.E. (2007). *Epithermal gold deposits, in Goodfellow, W.D., ed., Mineral Deposits of Canada: A Synthesis of Major Deposit-Types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces, and Exploration Methods: Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, Special Publication No. 5, p. 113-139.*
- TONIOLO, J.A.; GIL, C.A.A.; SANDER, A. (2007). Metalogenia das Bacias Neoproterozóico-Eopaleozóicas do Sul do Brasil: Bacia do Camaquã. Projeto BANEIO, CPRM. Porto Alegre.
- VEIGEL, R.; DARDENNE, M. A. (1990). Paragênese e sucessão mineral nas diferentes etapas da evolução da mineralização Cu-Pb-Zn do distrito de Camaquã, RS. *Rev.Bras. Geoc.* 20(1/4): 55-67.

WILLIAMS, P.J.; BARTON, M.D.; JOHNSON, D.A.; FONTBOTÉ, L.; HALLER, A.; MARK, G.; OLIVER, N.H.S.; MARSCHIK, R. (2005). *Iron Oxide Copper-Gold Deposits: Geology, Space-Time Distribution and Possible Modes of Origin*. Society of Economic Geologists, Inc. *Economic Geology 100th Anniversary Volume*, pp. 371-405.

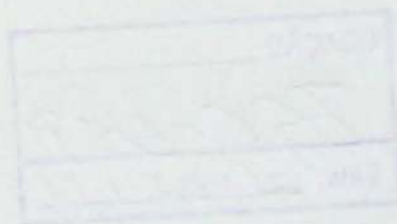


ANEXOS

ANEXO I – BANCO DE DADOS (DVD)

ANEXO II – MAPAS GEOLÓGICOS

- **Cava Piritas (1:500)**
- **Cava Intermediária (1:500)**
- **Cava Uruguai (1:750)**
- **Minas do Camaquã (1:2000)**



GEOCIÊNCIAS

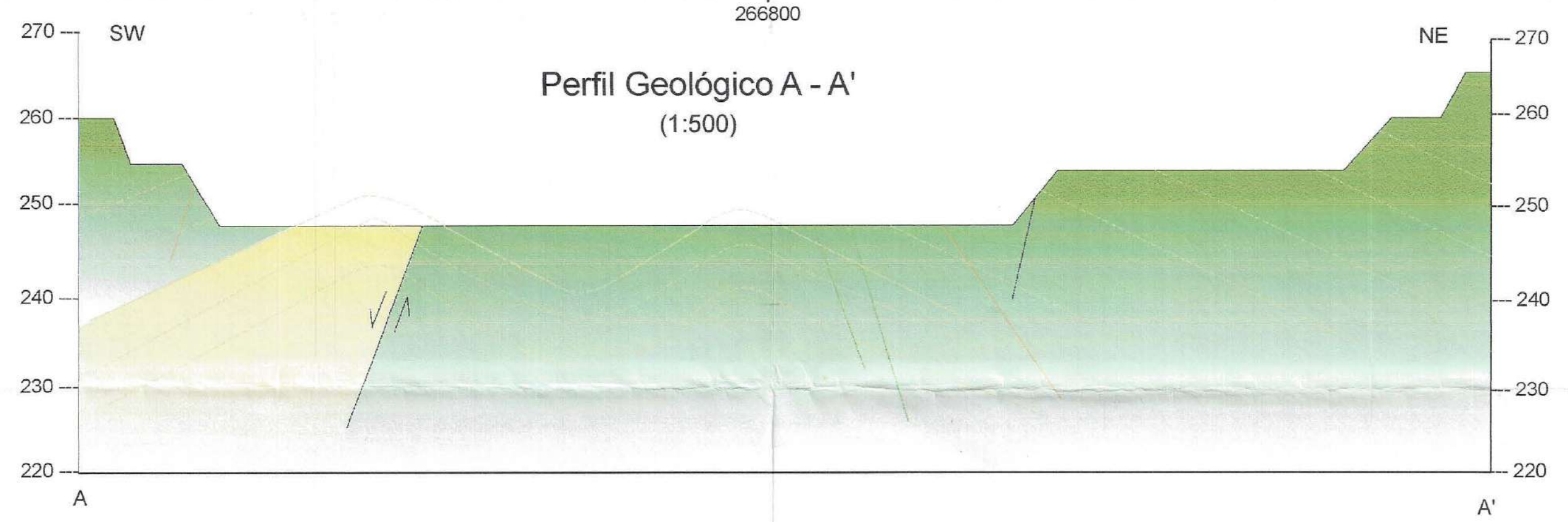
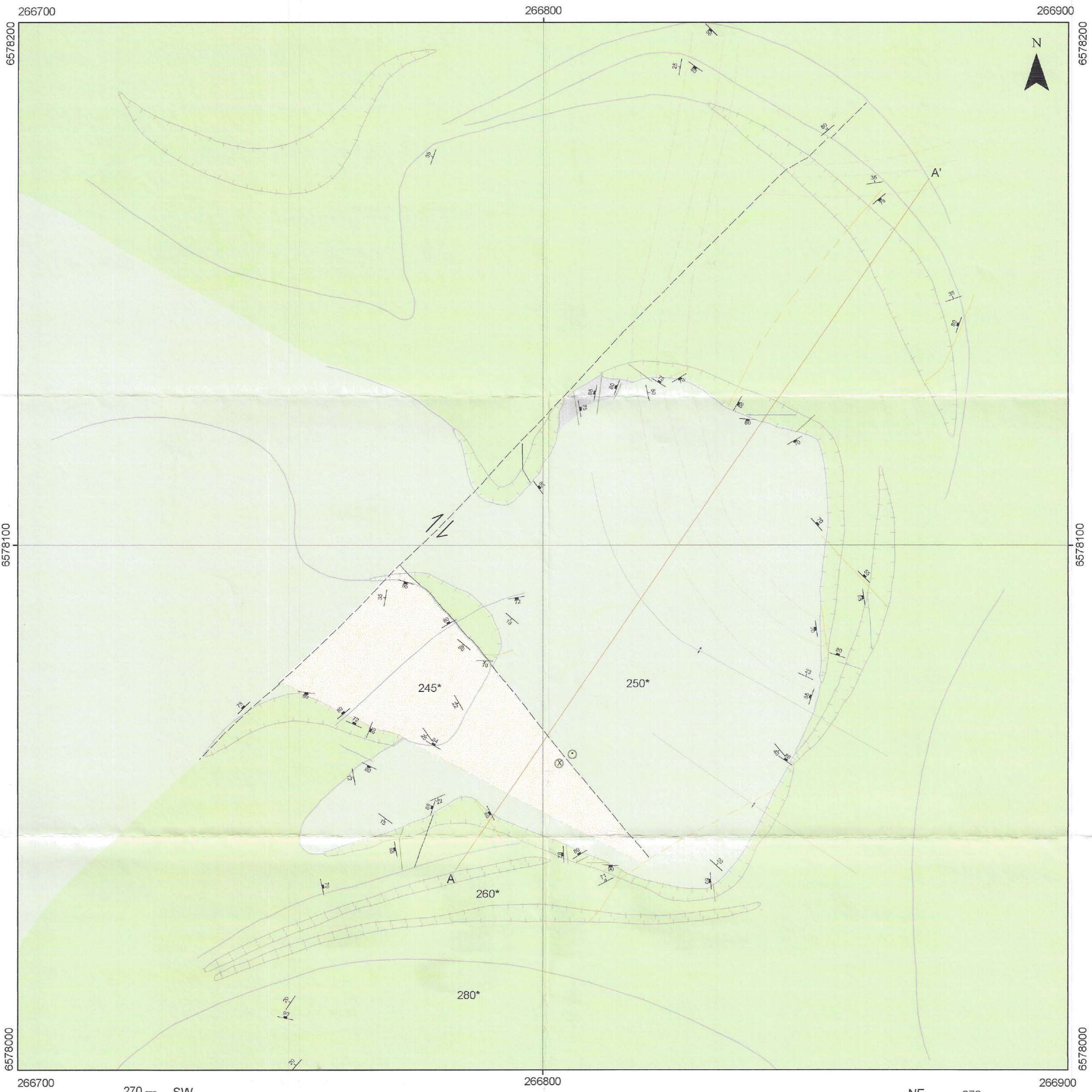
ANEXOS

ANEXO I - BANCO DE DADOS (DVD)

ANEXO II - MAPAS GEOLÓGICOS

- Carta Física (1:500)
- Carta Intermediária (1:500)
- Carta Original (1:500)
- Mapa do Campo (1:2000)

DOAÇÃO
<i>TGC-USP</i>
Data: <i>01.02.11</i>



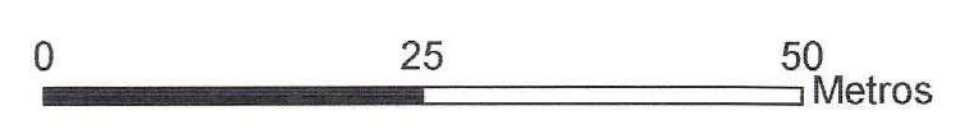
LEGENDA

- | | |
|-------------------|---|
| Conglomerado | Fratura/falha sem mineralização |
| Arenito | Fratura/falha preenchida por hematita |
| Zona mineralizada | Fratura/falha preenchida por hematita, barita e sulfetos de cobre |
| Base da cava | Fratura/falha preenchida por barita |
| Acamamento | Falha inferida |
| Fratura | Traço do acamamento |
| Falha Normal | Eixo Sinclinal |
| Falha Inversa | Eixo Anticlinal |
| | Cotas topográficas 255* |
| | Parede inclinada |
| | Perfil A - A' |

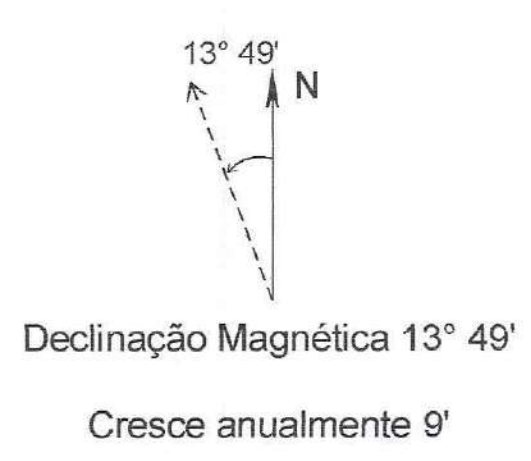
MAPA GEOLÓGICO - CAVA INTERMEDIÁRIA

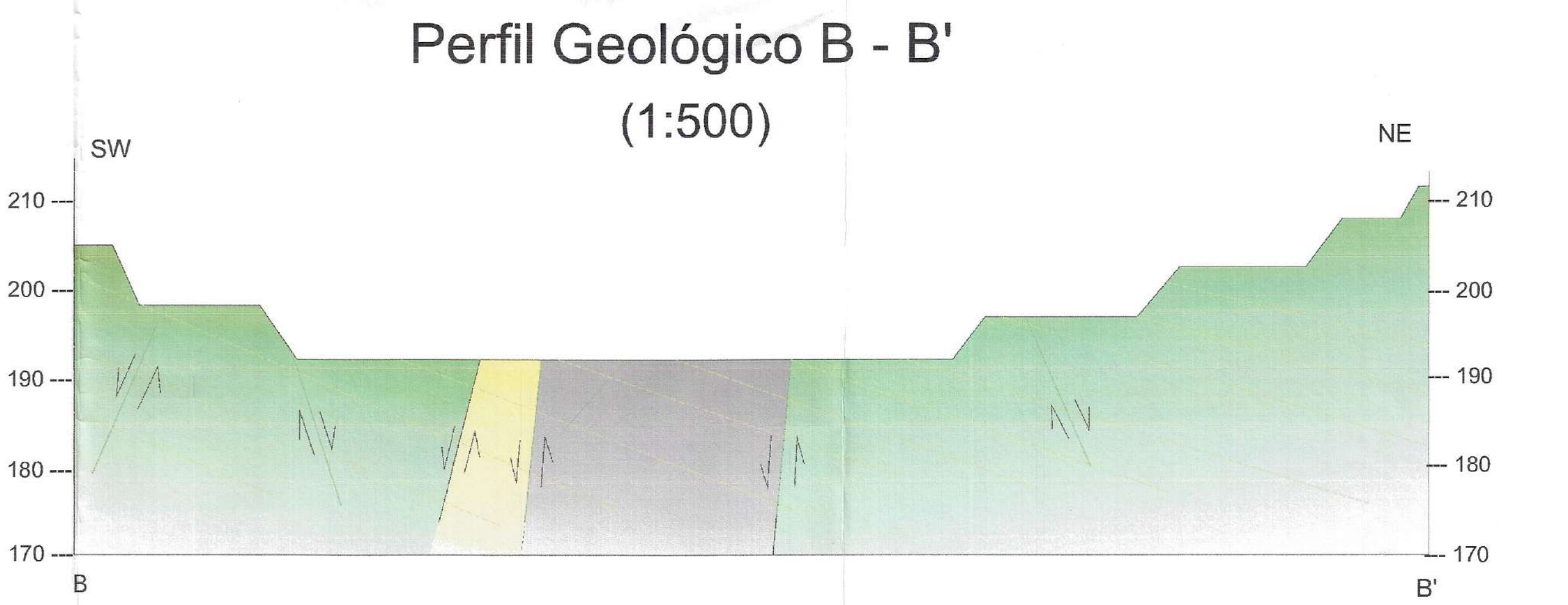
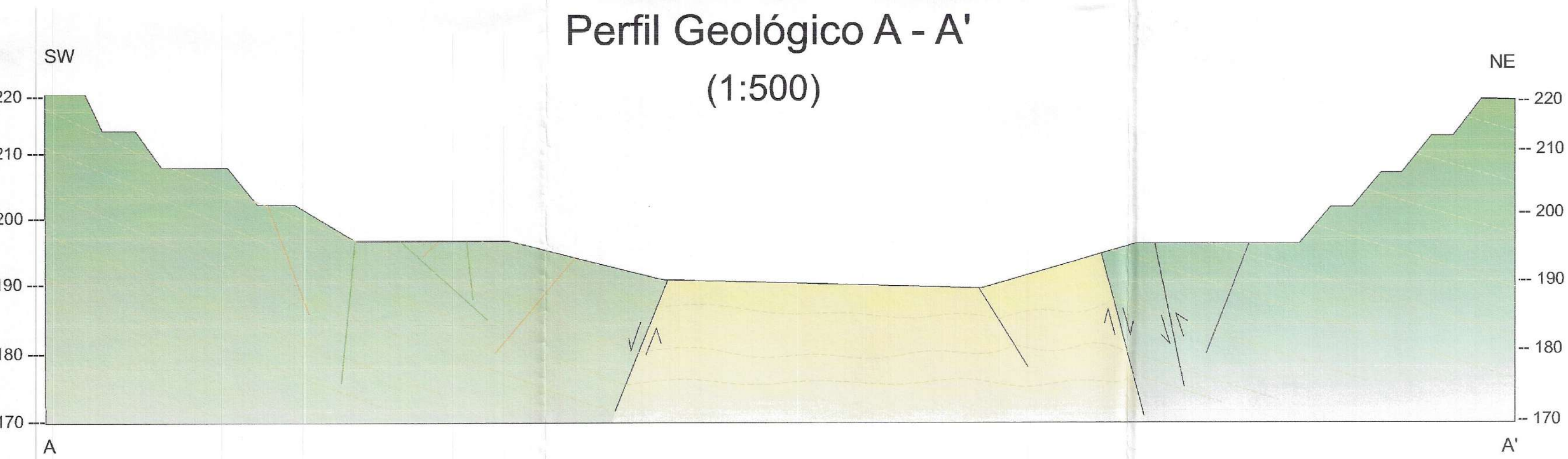
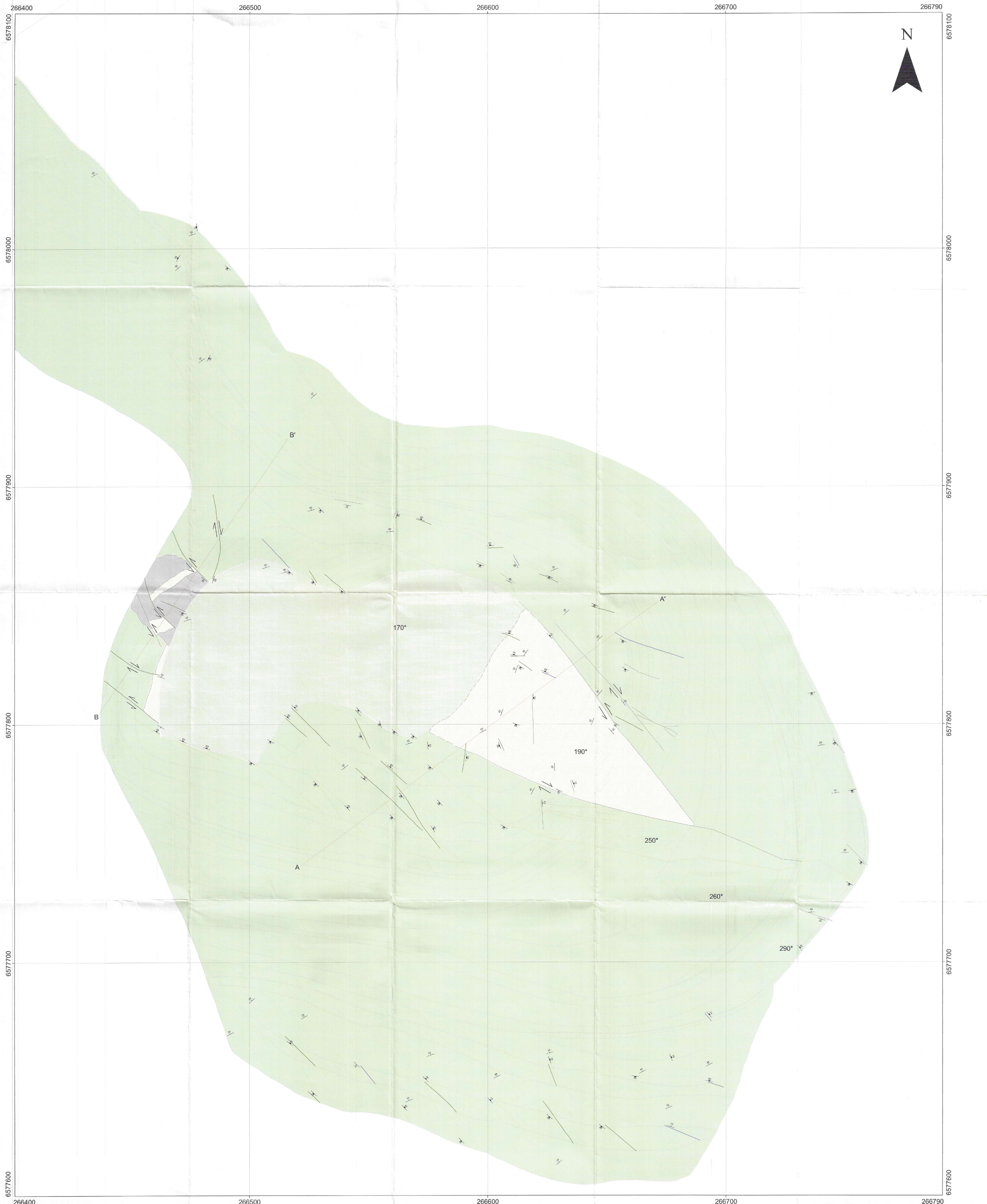
Minas do Camaquã, Caçapava do Sul - RS

Datum: Córrego Alegre 22S



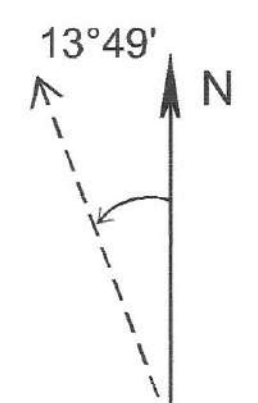
Escala 1:500





LEGENDA

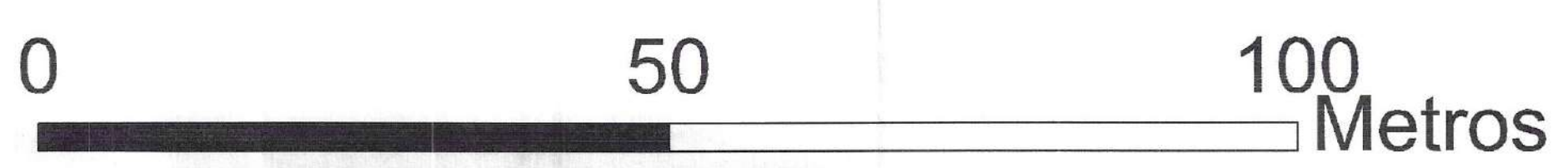
- | | |
|-------------------|--|
| Conglomerado | Fratura/falha sem mineralização |
| Arenito | Fratura/falha com hematita |
| Zona mineralizada | Fratura/falha com hematita, barita e sulfetos de cobre |
| Base da Cava | Fratura/falha com barita |
| Acamamento | Contato inferido |
| Fratura | Contato |
| Falha Normal | Traço do acamamento |
| Falha Inversa | Cotas topográficas 170* |
| | Parede |
| | Perfil A - A' |
| | Perfil B - B' |



Declinação Magnética 13° 49'
Cresce anualmente 9'

MAPA GEOLÓGICO - CAVA PIRITAS

Minas do Camaquã, Caçapava do Sul - RS
Datum: Córrego Alegre 22S



Escala 1:500





LEGENDA

	Conglomerado		Fratura/falha sem mineralização
	Arenito		Fraturas/falha preenchida por hematita
	Zona Mineralizada		Fratura/falha preenchida por hematita, barita e sulfetos de cobre
	Base da cava		Fratura/falha preenchida por barita
	Área não mapeada		Contato inferido
	Acamamento		Contato
	Fratura		Traço do acamamento
	Falha Normal		Eixo Sinclinal
	Falha Inversa		Eixo Anticlinal
			Cotas topográficas
			Parede inclinada

MAPA GEOLÓGICO - MINAS DO CAMAQUÃ

Cavas Piritas, Uruguai, Intermediária e São Luiz

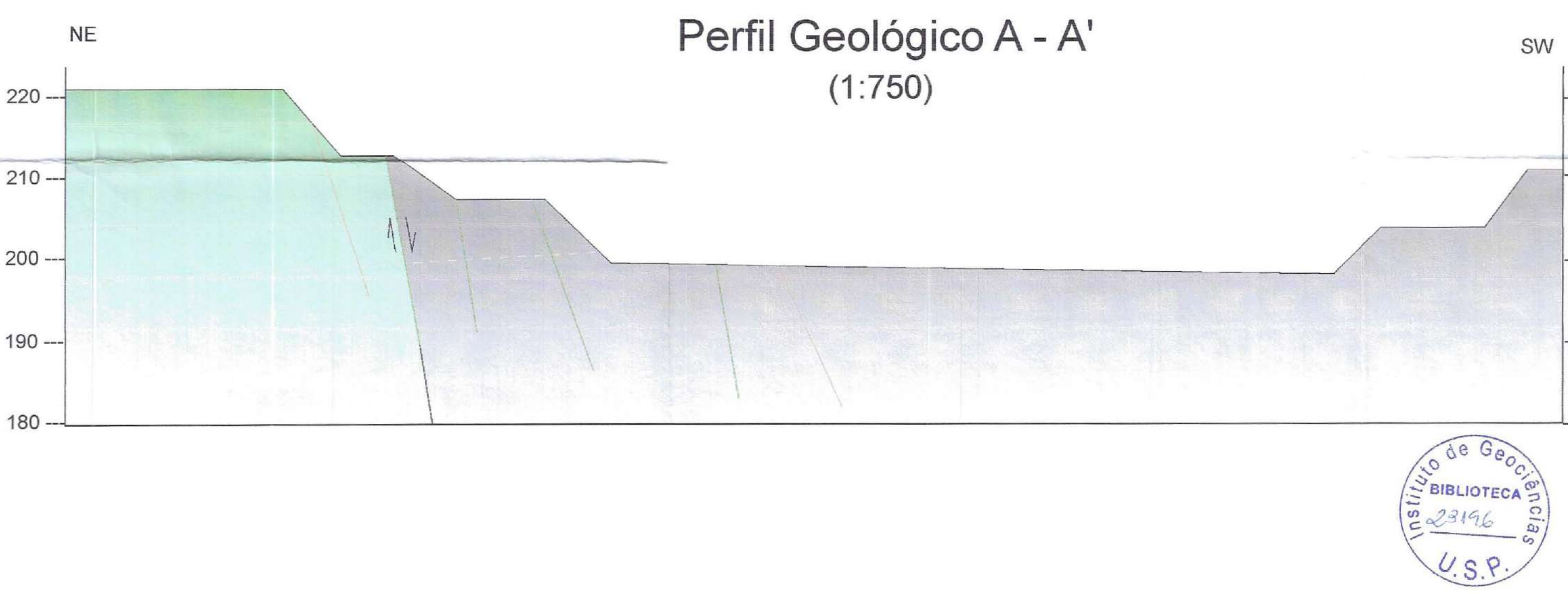
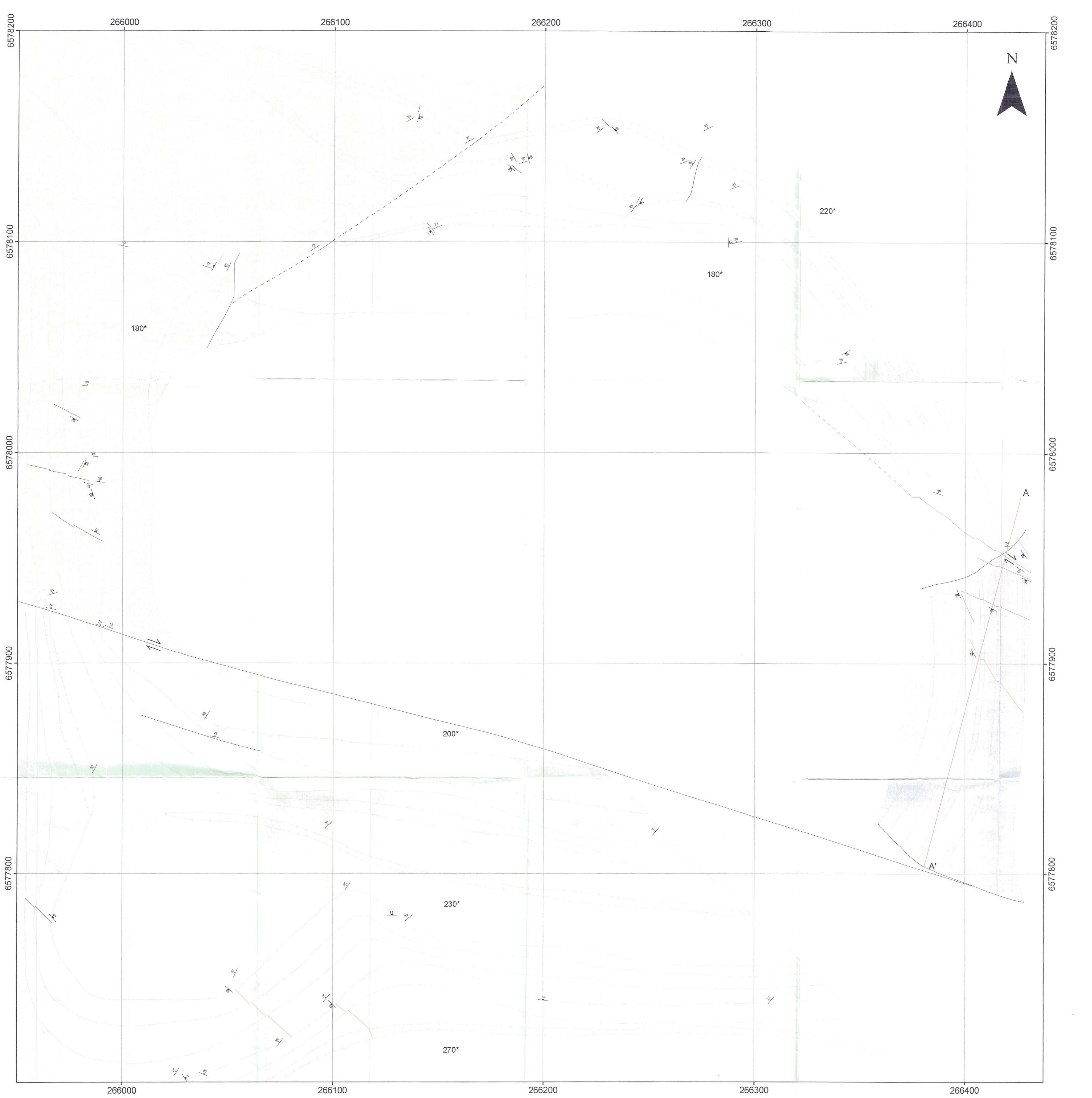
Datum: Córrego Alegre 22S

0 100 200
Metros

Escala 1: 2000

13° 49' N
Declinação Magnética 13° 49'
Cresce anualmente 9'





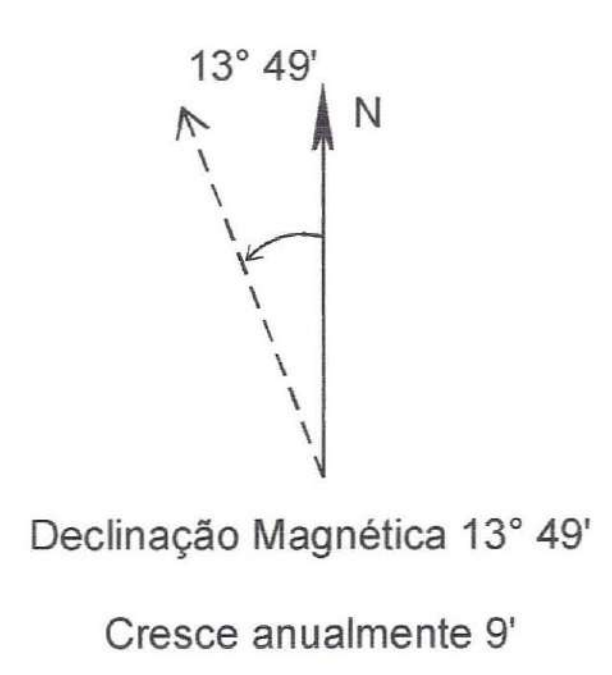
LEGENDA

- | | |
|-------------------|---|
| Conglomerado | — Fraturas/falha sem mineralização |
| Arenito | — Fratura/falha preenchida por hematita |
| Zona Mineralizada | — Fratura/falha preenchida por hematita, barita e sulfetos de cobre |
| Área não mapeada | — Fratura/falha preenchida por barita |
| Acamamento | - - - Fratura/falha inferida |
| Fratura | — Contato |
| Falha normal | - - - Contato inferido |
| | Cotas topográficas 200* |
| | Parede inclinada |
| | — Perfil A - A' |

MAPA GEOLÓGICO - CAVA URUGUAI

Minas do Camaquã, Caçapava do Sul - RS

Datum: Córrego Alegre 22S



Escala 1:750

