

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS DA TERRA
CURSO DE GEOLOGIA**

IVAN ROSSI

**ESTUDO DA MINERALIZAÇÃO BARITÍFERA DA MINA DE ÁGUA CLARA, VALE
DO RIBEIRA, PARANÁ**

CURITIBA

2017

IVAN ROSSI

**ESTUDO DA MINERALIZAÇÃO BARITÍFERA DA MINA DE ÁGUA CLARA, VALE
DO RIBEIRA, PARANÁ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Geologia da Universidade Federal do
Paraná como requisito parcial à obtenção do
grau de Bacharel em Geologia.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Bárbara Trzaskos

Co-orientador: Prof. Dr. Leonardo Fadel Cury

CURITIBA

2017

AGRADECIMENTOS

À minha família, pelo apoio prestado e pela presença reconfortante, aos meus irmão e irmãs por estarem sempre presentes e por terem tido filhos que sempre me alegraram. À Tayná, por possibilitar ocasionais fugas da realidade e descansos mentais que me foram tão necessários, além de compartilhar dias de estudo extremamente rentáveis, sempre regados a café. Aos amigos Alexandre, Bruno, Matheus, Lais, Kaue, e Ruani pelos momentos de diversão e de conversas sobre assuntos que de outra forma eu nunca ouviria falar. À Dra. Bárbara Trzaskos por me orientar e guiar praticamente ao longo de toda a graduação, ao professor Dr. Leonardo Fadel Cury pela co-orientação neste trabalho e pelas discussões que possibilitaram sua evolução e amadurecimento. E por fim aos grandes amigos e companheiros de curso, pessoas que tornaram toda esta empreitada muito mais prazerosa, sempre por perto, e em certos casos até exercendo ilegalmente a profissão de psicólogos.

RESUMO

Localizada a cerca de 9 km a noroeste da cidade de Tunas do Paraná/PR, a mina de Água Clara está inserida nas rochas metavulcanossedimentares da Formação Perau, mais especificamente entre xistos da unidade intermediária da formação. O presente trabalho buscou caracterizar as mineralizações e as demais rochas das imediações das galerias: Paiol e Taboa, as quais estiveram em atividade na década de 1970. A mineralização compreende um horizonte baritífero, composto predominantemente por barita, havendo a intercalação de níveis ferruginosos, representados por pirita e/ou magnetita. Poucos metros acima do horizonte baritífero ocorre um nível de formação ferrífera bandada (BIF), fácies óxido, magnetita. A partir de análises petrográficas foi possível constatar a ocorrência de dois tipos de barita, três de pirita e dois de magnetita, além da presença de martita. O estudo destes cristais na mineralização baritífera possibilitou a identificação de evidências de recristalização estática nos cristais de barita, assim como de substituição da pirita em magnetita, em determinados casos. Apesar dos contatos da barita sugerirem um episódio de recristalização estática, foram identificadas localmente feições de recristalização dinâmica nestes cristais, além de sua ocorrência se dar de forma orientada, conferindo à rocha uma textura nematoblástica. Ainda nestas, a presença de muscovita, que ocorre de forma isolada ou definindo níveis, permite a constatação de que houve influência de sedimentação clástica fina episódica, e/ou concomitante à precipitação das mineralizações. Pode-se concluir, que interpretações acerca da origem da mineralização principal e da sua resposta aos eventos deformacionais, são possíveis a partir do estudo de registros preservados nos seus minerais constituintes, ao que remete suas formas de ocorrência, limites, relações e sua disposição espacial.

Palavras chave: Água Clara, Barita, Mineralização baritífera, Vale do Ribeira.

ABSTRACT

Located at about 9km northeast from Tunas do Paraná city, the Água Clara mine is found into the metavolcanosedimentary rocks from the Perau Formation, specially between schists from the intermediary unity. The present work aimed to characterize the mineralizations and the rest of the rocks from the surroundings of the galleries: Paiol and Taboa, which have been in activity on the seventies. The mineralization comprehends a horizon composed mainly by barite, there being ferruginous levels intercalations, represented by pyrite and/or magnetite. Few meters above the mineralized horizon occurs a banded iron formation (BIF), oxide facies, magnetite. From petrographic analysis, it was possible to verify the occurrence of two types of barite, three types of pyrite and two of magnetite, and also the presence of martite. Studying these crystals on barite mineralization allowed to identify static recrystallization evidences on the barite crystals, as well as of pyrite substitution on magnetite in certain cases. Although the suggestion of a static recrystallization episode due to the barite contacts, there were locally identified features of dynamic recrystallization on these crystals, beyond of its occurrence happening on an oriented form, thus giving the rock a nematoblastic texture. Yet on these rocks, the presence of muscovite, which occurs in an isolated form or defining levels, allows to confirm that there was the influence of fine grained clastic deposition concomitant to the mineralization's precipitations. Its possible to conclude that both the main mineralization's origin and its response to the deformational events to which it was submitted, are found registered on its constituent minerals, in its occurrence forms, relations and spacial disposition.

Keywords: Água Clara, Barite, Barite Mineralization, Vale do Ribeira.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Mapa de localização da mina de Água Clara	06
Figura 02: Comparativo das condições da galeria Paiol.....	07
Figura 03: Mapa de terrenos tectono-metamórficos regionais.....	10
Figura 04: Mapa geológico Formação Perau, escala 1:50.000	12
Figura 05: Mapa geológico da mina de Água Clara, escala 1:5.000	15
Figura 06: Coluna litoestratigráfica das proximidades da mina	19
Figura 07: Nível milimétrico de metachert em meio a quartzito muito fino.....	20
Figura 08: Geomorfologia expressa pelo contato de unidades	21
Figura 09: Rocha calciossilicática e mármore impuro	23
Figura 10: Carbonato-quartzo-muscovita xisto e BIF em meio a xistos.....	23
Figura 11: Amostras da mineralização baritífera	25
Figura 12: Diferentes BIFs amostrados	27
Figura 13: Estereograma da antiforma Água Clara e dobra em quartzito	29
Figura 14: Amostras selecionadas para estudo petrográfico.....	30
Figura 15: Agregado de barita e contatos de 120°	31
Figura 16: Orientação da barita, cristais de pirita e inclusões de mica e pirita .	32
Figura 17: Nível de muscovita e porfiroclasto de magnetita	33
Figura 18: Magnetita martitzada e botrioides de limonita	34
Figura 19: Cristais de magnetita sem o núcleo e cristais com pirita no centro .	35
Figura 20: Níveis ferruginosos e silicosos e diferentes tipos de magnetita	37
Figura 21: Diagrama fO_2 XfS ₂ , campos de estabilidade mineral	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Características dos cristais de sulfeto, sulfato e óxidos.....	41
--	----

SUMÁRIO

1	Introdução	05
1.2	Localização	06
2	Revisão Teórica	07
2.1	Domínios Tectônicos	09
2.1.2	Terreno Apiaí.....	09
2.2	Formação Perau	11
2.4	Mineralizações	14
3	Materiais e métodos	16
4	Resultados	18
4.1	Descrição macroscópica e mesoscópica	18
4.1.1	Quartzitos e metachers (Un. basal)	19
4.1.2	Calciossilicáticas, mármore e xistos (Un. intermediária).....	22
4.1.3	Mineralizações	24
4.1.4	Filitos (Un. superior)	28
4.2	Geologia Estrutural	28
4.3	Estudo petrográfico das mineralizações	29
4.3.1	Corpo principal – Mineralização baritífera	30
4.3.2	Formação ferrífera bandada (BIF)	36
5	Discussões	38
5.2	Litologia próxima à mina de Água Clara	38
5.2	Petrografia – Mineralização de barita	40
5.3	Petrografia – Formação ferrífera bandada	44
6	Conclusões.....	45

1. Introdução

Localizada próximo ao município de Tunas do Paraná/PR, a mina de Água Clara está inserida na sequência intermediária da Formação Perau, apresentando mineralizações representadas por sulfetos, sulfatos e óxidos. Tratam-se de rochas metavulcanossedimentares deformadas em diferentes graus. A complexidade dos eventos de deformação que afetaram as rochas estão registradas em suas paragêneses minerais e estruturas, porém os depósitos minerais não ficaram excluídos deste contexto, e sua resposta aos eventos deformacionais ainda é objeto de intensa discussão.

Tendo em vista a complexidade estrutural e a falta de propostas satisfatórias que atribuam às mineralizações um modelo condizente, faz-se necessário ainda, muito esforço científico para a melhor compreensão da gênese dos depósitos da região. Apesar de terem sido muitos os trabalhos que buscaram compreender a geometria e a distribuição espacial dos corpos de minério, sua origem ainda carece de dados e de estudos mais aprofundados.

Tendo em vista que para a melhor compreensão do minério é necessário o estudo das rochas hospedeiras e das litologias ao seu entorno, o presente trabalho buscou realizar a descrição e caracterização das rochas encaixantes das mineralizações baritíferas e das formações ferríferas bandadas, assim como dos minérios presentes nas galerias: Paiol e Taboa, tendo como objetivo contribuir com a discussão da gênese dos depósitos, assim como de sua evolução ao longo do tempo geológico. O trabalho teve como intento final demonstrar os dados obtidos nas análises dos corpos mineralizados e de suas encaixantes, instigando o leitor às discussões pertinentes à gênese do depósito e às argumentações correntes na literatura sobre a mesma.

Para tal estudo foi realizado o levantamento bibliográfico de trabalhos elaborados na Formação Perau, em especial nos horizontes mineralizados, com distribuição temporal entre a década de 1980 até o presente. Estes dados foram confrontados com informações obtidas em campo e com análises petrográficas realizadas com o emprego de microscópio de luz transmitida e refletida, levando-se em consideração os mecanismos de deformação preservados nas mineralizações.

Os estudos foram realizados nas proximidades da mina de Água Clara (Fig. 01), mais especificamente entre as galerias Paiol e Taboa, contando com a

descrição e coleta de rochas da Formação Perau, como quartzitos, rochas calciossilicáticas, mármore impuros, filitos, xistos, minério de bário e formações ferríferas bandadas. Além da descrição das litologias, foram coletadas medidas referentes aos variados tipos de estruturas sendo estas abordadas considerando-se sua variação em escala.

1.2 Localização

Distando cerca de 9 km do município de Tunas do Paraná/PR, estão as galerias de Paiol e Taboa da mina abandonada de Água Clara. Seu acesso pode ser feito: pela estrada da Ribeira, no sentido norte. A cerca de 350m do centro da cidade deve-se ingressar na rua João dos Santos Costa, na qual se segue por 2,8km, progredindo na direção leste. Na sequência deve-se ingressar na rua Adão Gonçalves de Lima, com sentido geral noroeste, pela qual percorre-se 6,7km sendo esta uma via predominantemente não pavimentada, mas de boa trafegabilidade. Por fim pode-se observar uma reentrância na mata, aonde ficava a antiga via de acesso às galerias. O restante do trajeto deve ser feito a pé, compreendendo um trecho de aproximadamente 400m de mata fechada.

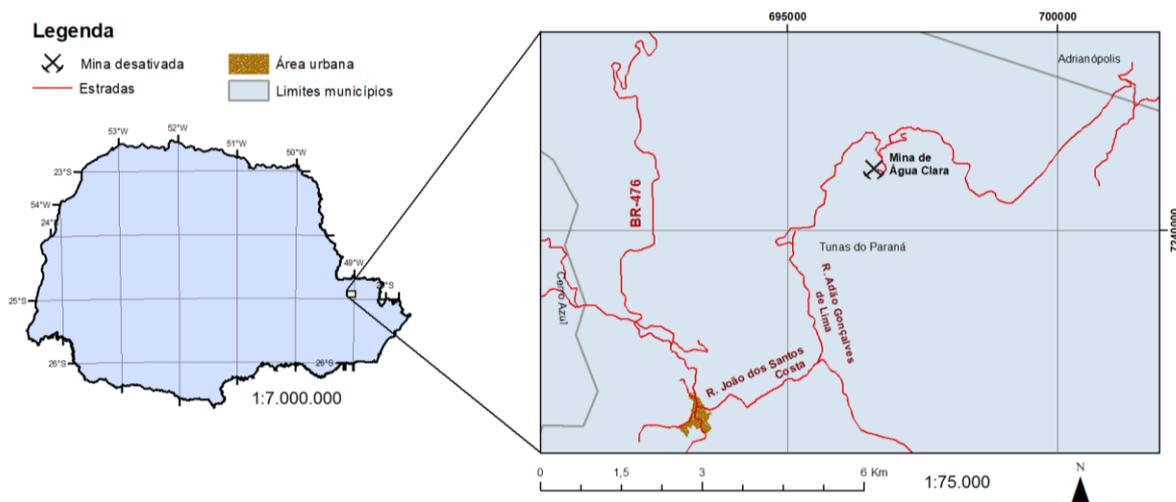


Figura 01: Figura de localização da Mina de Água Clara, localizada a cerca de 9 km de distância da cidade de Tunas do Paraná-PR.

Ambas as galerias encontram-se há muito tempo abandonadas, estando portanto parcialmente desmoronadas (Fig. 02). Seu abandono se deu no ano de 1976 e atualmente observa-se, além de material desmoronado, apenas uma pequena pilha de rejeito. Apesar de ser inviável o seu ingresso, o presente trabalho

buscou estudar as rochas presentes imediatamente na entrada das galerias assim como das proximidades da mina.

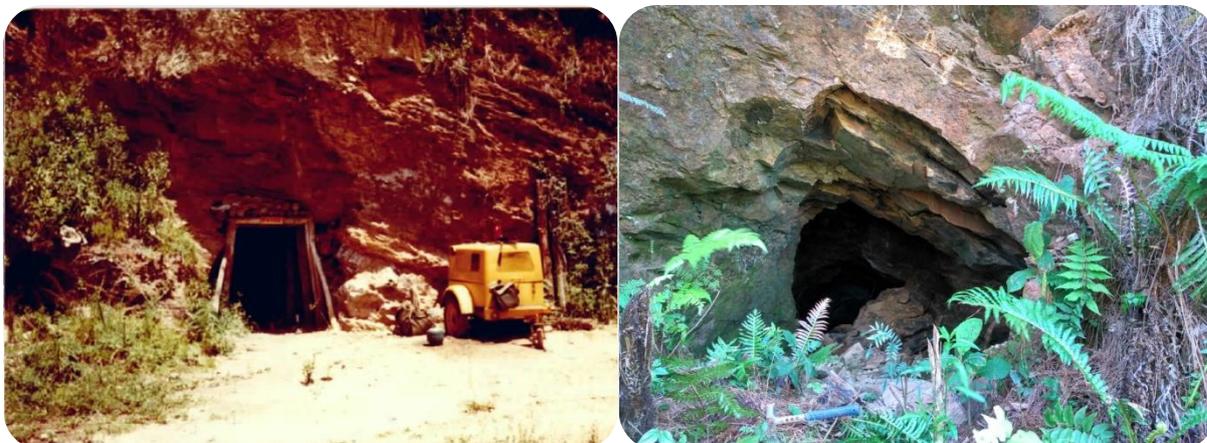


Figura 02: À esquerda fotografia da galeria Paiol ainda em atividade, (Takahashi *et al.*, 1983). À direita fotografia das condições atuais da mesma galeria, estando parcialmente obstruída por blocos.

2. Revisão teórica

O Vale do Ribeira se configura como uma região de grande interesse científico e econômico, principalmente por abrigar importantes mineralizações, expressas em depósitos de Cu, Pb, Zn, Ba, Au e Ag. A região compreende vastos jazimentos minerais ao longo de sua extensão, entre os estados de São Paulo e do Paraná, como por exemplo as minas de: Canoas I e II, Perau, Pretinhos e Água Clara. Segundo Brumatti *et al.* (2015), até o ano de 1954 o Vale do Ribeira foi responsável por toda a produção nacional de chumbo, e o reconhecimento do minério tipo “sulfeto maciço estratiforme” fez com que, na década de 1970, as atenções se voltassem à região (Daitx, 1995).

Tendo em vista a importância que a região representou na década de 1970 e 1980, diversos trabalhos pioneiros em escala de detalhe foram confeccionados, em geral buscando determinar a gênese e a geometria espacial dos depósitos, além de identificar possíveis novos alvos exploratórios. A produção mineral declinou consideravelmente durante a década de 1980, devido a uma série de fatores de mercado e de investimentos, ocasionando o progressivo fechamento de minas da região. Isto fez com que os dados até então produzidos não fossem melhor desenvolvidos cientificamente. Sobre isso, Daitx (1996) aponta a necessidade de se ordenar o vasto conhecimento já produzido e de revisá-lo:

“[...] o enorme acervo técnico resultante dos diversos trabalhos de pesquisa ficou disperso e restrito ao âmbito interno das instituições que o geraram, carecendo de um esforço complementar para sua integração e reavaliação sob um enfoque científico, complementar à visão prospectiva que os norteou originalmente.” (Daitx 1996 p. 24)

Durante a década de 1990, diversos trabalhos foram realizados, demonstrando considerável amadurecimento das informações, e também novas propostas mais condizentes com os modelos apresentados, contribuindo no viés científico para o entendimento das mineralizações. A década de 2000 representou um importante marco na compreensão da geologia regional, principalmente a partir de estudos geocronológicos, com emprego dos métodos U-Pb (zircão), Sm-Nd (rocha total) e K-Ar (minerais) (Cury *et al.*, 2008).

No decorrer dos estudos na região, uma série de investimentos de iniciativa privada e pública, em especial do CPRM (Serviço Geológico do Brasil), permitiram a geração de um banco de dados bastante robusto, contendo milhares de metros de testemunhos de sondagem. Segundo Daitx (1996), cerca de 2.500m representam os furos que cortam parcial ou totalmente a sequência hospedeira das mineralizações, estes localizados entre as jazidas de Canoas e Perau. Além dos furos de sondagem, diversos estudos petrológicos e litoquímicos foram realizados tanto nas jazidas como em suas adjacências, acompanhados de mapeamentos em variadas escalas.

Atualmente estão sendo realizados trabalhos que buscam reavaliar o potencial mineral do Vale do Ribeira, desenvolvido na Gerência de Geologia e Recursos Minerais da Superintendência Regional de São Paulo (GEREMI/SUREG/SP). O projeto ARIM - Vale do Ribeira (Áreas de relevante interesse mineral) buscou integrar e atualizar informações disponíveis na região, levando-se em conta a falta de organização de um volume substancial de dados produzidos ao longo de mais de 40 anos de estudos (Brumatti *et al.*, 2015). Disponibilizando-os na forma de bancos de dados, relatórios e mapas em diversas escalas.

2.1 Domínios tectônicos

Localizada a nordeste da cidade de Tunas do Paraná, no estado do Paraná, a mina de Água Clara está inserida na porção meridional do Cinturão Ribeira (Almeida *et al.*, 1964; Hasui *et al.*, 1975), nos domínios do Terreno Apiaí.

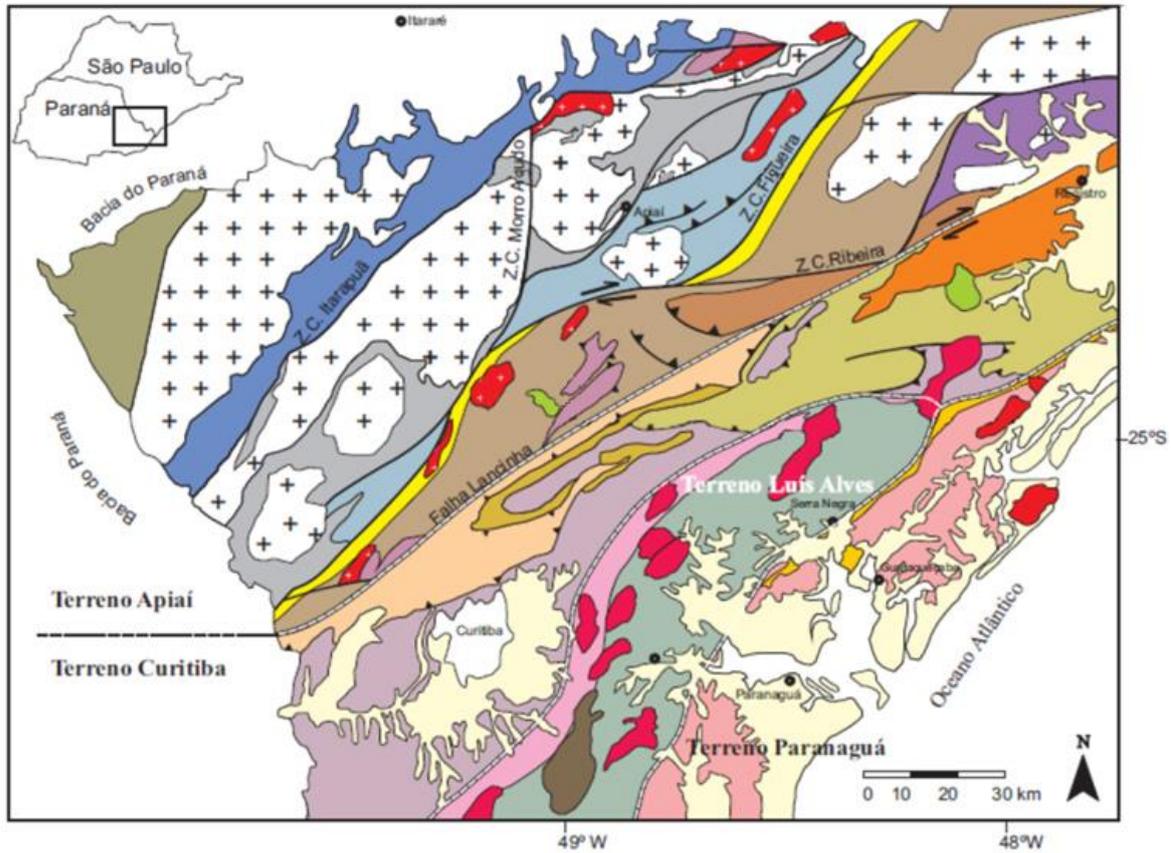
A maioria dos modelos geotectônicos propostos para a região, correlacionam a evolução tectono-metamórfica das unidades à episódios diacrônicos de interação de microcontinentes, microplacas tectônicas e terrenos, decorrentes da amalgamação do Supercontinente Gondwana. Faleiros (2008) afirma que na região do Vale do Ribeira como um todo, podem ser reconhecidos quatro domínios tectônicos ou terrenos principais (Basei *et al.*, 1992), sendo eles: o Terreno Apiaí, Terreno Curitiba, Terreno Luís Alves e Terreno Costeiro ou Paranaguá (Fig. 03).

2.1.2 Terreno Apiaí

O Terreno Apiaí é formado principalmente por núcleos do embasamento, sequências metavulcanossedimentares e por intrusões graníticas, rochas estas com origens relacionadas a eventos distintos, portanto com diferentes idades, variando desde o paleoproterozoico até o neoproterozoico. Apesar de origens distintas, estas unidades foram amalgamadas e justapostas no neoproterozoico, apresentando arranjo espacial definido por um sistema transcorrente dextral e de colisão continental oblíqua (Campanha e Faleiros, 2005).

O núcleo Tigre e o núcleo Betara são os representantes das porções aflorantes das rochas do embasamento, sendo definidos por gnaisses miloníticos com intercalação de xistos feldspáticos e quartzitos (Sadowski, 1991). Estas rochas foram interpretadas por Kaulfuss em 2001 como porções, ou “lascas profundas”, atualmente expostas em superfície devido a uma tectônica de empurrão, acentuada pela tectônica transcorrente que gerou grandes antiformas e sinformas regionais. Silva *et al.* em 1982 descrevem o Anticlinório Anta Gorda e relatam a presença destas porções de embasamento aflorando preferencialmente nos núcleos de amplas antiformas. Estas rochas são representadas, segundo Cury *et al.* (2002), por granitoides milonitizados de composição: sienogranítica, monzonítica, granodiorítica, quartzo-monzonítica e quartzo-monzodiorítica, apresentando assinatura geoquímica de granito anorogênico tipo A. Os mesmos autores obtiveram idades U-Pb em zircão de 1748 ± 5 Ma e 1772 ± 10 Ma para os núcleos Betara e Tigre,

respectivamente, relatando ainda longo período de residência crustal e origem relacionada à tafrogênese Estateriana.



Legenda

- Coberturas sedimentares fanerozóicas
- Rochas alcalinas/ultramáficas/básicas mesozóicas
- zona de cisalhamento transcorrente
- zona de cisalhamento de empurrão

Terreno Apiaí

- Grupo Castro (Ediacarano-Cambriano)
- Granitóides pós-colisionais, tipo A
- Formação Iporanga (Ediacarano)
- Suítes graníticas cálcio-alcalinas (Ediacarano)
- Grupo Itaiococa (Neoproterozóico)
- Grupo Lajeado (Meso a Neoproterozóico)
- S. das Andorinhas (Meso a Neoproterozóico)
- Grupo Votuverava (Mesoproterozóico)
- Formação Água Clara (Mesoproterozóico)

Embasamento Gnáissico (Paleoproterozóico)

- Núcleos Tigre, Betara e Apiaí-Mirim

Terreno Curitiba

- Província Graciosa Granitóides Tipo A
- Granito Itapeúna, Tipo S (Ediacarano)
- Supracrustais (Neo a Mesoproterozóico)
- Formação Capiru
- Formação Setuva
- Complexo Turvo-Cajati

Embasamento Gnáissico (Paleoproterozóico)

- Complexo Atuba

Terreno Luís Alves

- Província Graciosa Granitóides Tipo A
- Bacia Guaratubinha (Ediacarano)
- Suíte Rio Piên-Mandirituba (Ediacarano)

Embasamento Granulítico (Paleoproterozóico a Arqueano)

- Terreno Luís Alves Complexo Serra Negra

Terreno Paranaguá

- Província Graciosa Granitóides Tipo A
- Granitóides Calcio-Alcalinos (Ediacarano)
- Supracrustais (Neo a Mesoproterozóico)
- Seqüência Cachoeira

Figura 03: Mapa geológico com compartimentação tectônica da região leste do estado do Paraná e do sul de São Paulo. Com destaque para os terrenos: Apiaí, Curitiba, Luís Alves e Paranaguá. Adaptado de Faleiros, 2008.

As sequências metavulcanossedimentares são integrantes do “Grupo” Açungui, sendo representadas pelas Formações Água Clara, Votuverava, Perau e Betara do mesoproterozoico, e pela Formação Iporanga e a Faixa Itaiacoca, neoproterozoicas (Faleiros, 2008). Além de distintas idades, estas unidades apresentam variados contextos de origem, e em geral tanto suas evoluções como também suas classificações, hierarquizações e nomenclaturas ainda são objetos de intensas discussões. Em 1992, Fiori relata a existência de três importantes eventos de deformação, aos quais, o Grupo Açungui foi submetido, sendo eles: os Sistemas de Cavalgamento Açungui (SCA), Dobramentos Apiaí (DAS) e Transcorrência Lancinha (STL). O primeiro foi responsável pela geração das foliações S1 e S2, dobras D1 e de falhas de cavalgamento, o segundo evento foi responsável por dobramentos em variadas escalas, representado por dobras desde abertas a isoclinais e também pela origem da foliação S3 (plano axial), e por fim o terceiro evento de deformação (STL) evidenciado predominantemente por conjuntos de falhas transcorrentes de movimentação principalmente dextral.

As intrusões graníticas presentes no Terreno Apiaí são representadas na forma de batólitos encaixados nas sequências supracrustais, sendo em geral granitos pré a sin colisionais (Prazeres Filho, 2003). São exemplos os maciços Cunhaporanga e Três Córregos. São relatados ainda corpos graníticos de menores dimensões, com origem relacionada a uma fase anorogênica pós colisional, a exemplo: os granitos do Cerne, Morro Grande, Passa Três, Capivari e Carambeí.

2.2 Formação Perau

As rochas metavulcanossedimentares da Formação Perau afloram na porção centro-sul do Terreno Apiaí, apresentando contato estrutural com as rochas da Formação Votuverava. Nas proximidades da região abordada, este contato se dá pela zona de cisalhamento Olho d'Água à sudeste, e pela zona de cisalhamento Ribeirão Grande à noroeste. Estas rochas encontram-se assentadas sobre o embasamento representado pelo Núcleo Tigre, formado por rochas graníticas gnáissicas, as quais afloram em geral nos núcleos de grandes dobras (Fig. 04).

As sequências metavulcanossedimentares da Formação Perau foram inicialmente englobadas por Bigarella *et al.* (1955) juntamente com as rochas da Formação Votuverava. A designação Perau só foi dada no ano de 1981 por

Takahashi *et al.*. Em 1979, Popp *et al.* subdividiram o Grupo Setuva nas formações: Betara e Meia Lua, e em 1982 Fritzens *et al.*, ao estudarem as rochas do Núcleo Betara, elevaram a unidade Perau à categoria de formação, incluindo-a ao Grupo Setuva, juntamente com a Formação Água Clara.

Mesmo com tal designação, adotada para o presente trabalho, a hierarquização destas unidades ainda é objeto de debate, não sendo consenso entre os pesquisadores à qual categoria elas se enquadram. Isto se deve ao fato destas rochas apresentarem complexa disposição espacial, e devido à constante discussão a cerca do contexto de origem de seus protólitos.

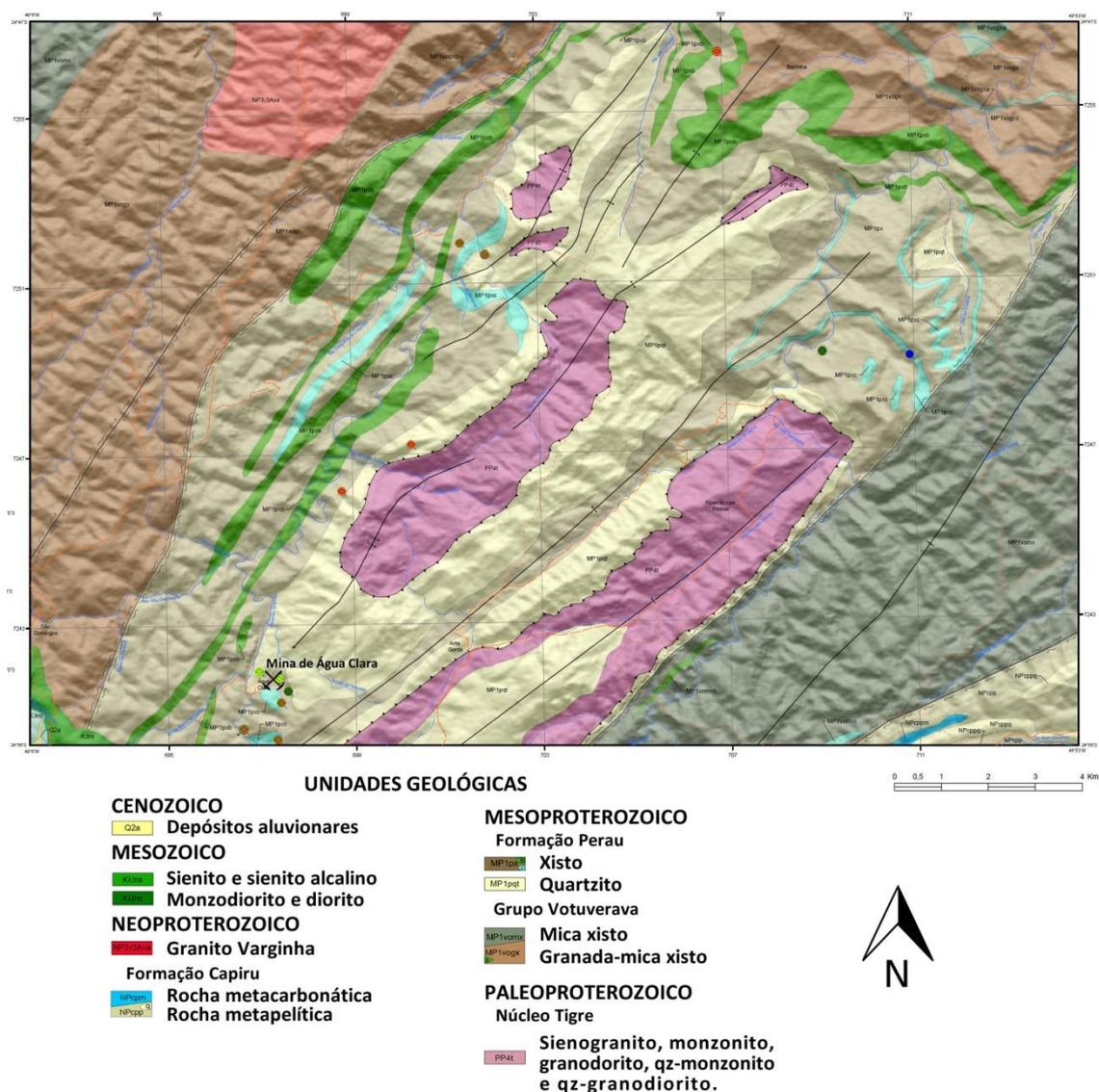


Figura 04: Mapa geológico e dos recursos minerais da Formação Perau, em escala 1:50.000. Com destaque para a mina desativada de Água Clara na porção inferior esquerda do mapa. Na figura é possível observar os contatos estruturais da Formação Perau, e a disposição do embasamento preferencialmente nos núcleos de amplas antiformas. Adaptado de Rodrigues da Silva *et al.*, 2015.

Daitx em 1996, ao estudar o que ele se referiu como “Complexo Perau”, propôs sua subdivisão em três unidades metavulcanossedimentares, sendo elas: a basal – composta predominantemente por quartzitos; a intermediária – formada por mármore dolomíticos e calcíticos, rochas calciossilicáticas e mica-carbonato xistos; e a unidade superior – composta por quartzo-mica xistos, grafita-mica xistos e rochas anfibolíticas. Ainda segundo Daitx (1996), os níveis mineralizados em sulfetos estão hospedados em rochas calciossilicáticas da sequência intermediária, ocorrendo na forma de leitos de sulfeto maciço, semi maciço e disseminado.

Tratam-se de rochas de idade mesoproterozoica, geradas em margem continental passiva estirada e rifteada, com deposição predominante em ambientes litorâneos, plataformais e basinais (Daitx, 1996). O mesmo autor interpreta uma variação do metamorfismo que apresenta-se com progressivo aumento de sudoeste para nordeste, sendo reconhecida desde a fácies xisto verde inferior na área da mina de Água Clara, até a fácies anfibolito superior na porção a leste de Varginha. Em algumas regiões, onde o metamorfismo progressivo foi mais intenso, podem ser reconhecidas evidências de um evento de retrometamorfismo atuante, em especial registrado nas rochas metapelíticas.

A interpretação de ambiente de origem e a datação destas rochas, é em geral possível pela presença de metabasitos e anfibolitos que ocorrem intercalados com as rochas metapelíticas da sequência superior da Formação Perau. Atualmente é consenso entre os pesquisadores, que estas rochas são ortoderivadas, sendo possível observar textura ígnea preservada. Estas foram classificadas por Maniesi (2000) como pertencentes à série toleítica, no campo dos basaltos oceânicos, o autor ainda relata que tratam-se possivelmente de rochas intrusivas com origem relacionada à uma bacia de retroarco. As datações realizadas por Basei (2003), Campanha *et al.* (2008) e Siga Jr. (2011) forneceram idades entre 1,4Ga e 1,5Ga para estas rochas.

2.3 Mineralizações

Os jazimentos de chumbo do Vale do Ribeira foram subdivididos por Fleischer (1976) em dois: O tipo-Panelas e o tipo-Perau. O primeiro é caracterizado por apresentar forte controle litoestrutural, ocorrendo de forma discordante das rochas encaixantes. O tipo-Perau por sua vez, possui controle litoestratigráfico e segundo Daitx (1996), está disposto na porção meso-superior da unidade carbonática/pelítico-carbonática do que o autor chama de Complexo Perau. Ainda segundo Daitx (1996), a mina de Água Clara encontra-se inserida na gama dos depósitos tipo-Perau, apesar de conter apenas traços de sulfetos.

A mina de Água Clara está localizada no flanco noroeste da antiforma Anta Gorda, que apresenta caimento subhorizontal para SW. Os primeiros estudos a se referirem à estas mineralizações foram os de Marini e Leprevost (1967) que citam a ocorrência de chumbo, relatando a necessidade de estudos mais detalhados na região. Takahashi (1981), relata que Rodrigues *et al.* em 1977, ao descreverem a Folha Cerro Azul, cadastraram uma ocorrência de zinco disseminado em meio a galena, malaquita e pirita, relatando ainda a presença de barita, e que esta apresentava boas condições para futura lavra. Em 1974 foram abertas as galerias denominadas: Clara, Cruz e Água (Fig. 05), visando a extração de chumbo, zinco e cobre. Em 1976 as galerias de Taboa e Paiol (Fig. 05) foram abertas para a extração de barita, das quais foram retiradas cerca de 180 toneladas de minério (Takahashi, 1981), até que em 1977 tiveram suas atividades encerradas.

Segundo Andrade e Silva (1990), na área próxima à mina de Água Clara afloram: quartzitos, metacherts, mármores dolomíticos, dolomita-quartzo-muscovita xistos, ortoanfíbolitos (Fig. 05) e formações ferríferas bandadas (BIFs), com ocorrência localizada de *sills* traquíticos. Macedo em 1986, aponta uma gênese associada a processos exalativo-sedimentares para as mineralizações, baseado no comportamento químico dos elementos e no controle estratigráfico e estrutural da mineralização. Posteriormente, Andrade e Silva (1990) relata que os metacherts, as mineralizações sulfetadas e de barita e, as formações ferríferas bandadas seriam os representantes das contribuições exalativo-vulcano-sedimentares, afirmação esta baseada em estudos litoquímicos e petrográficos.

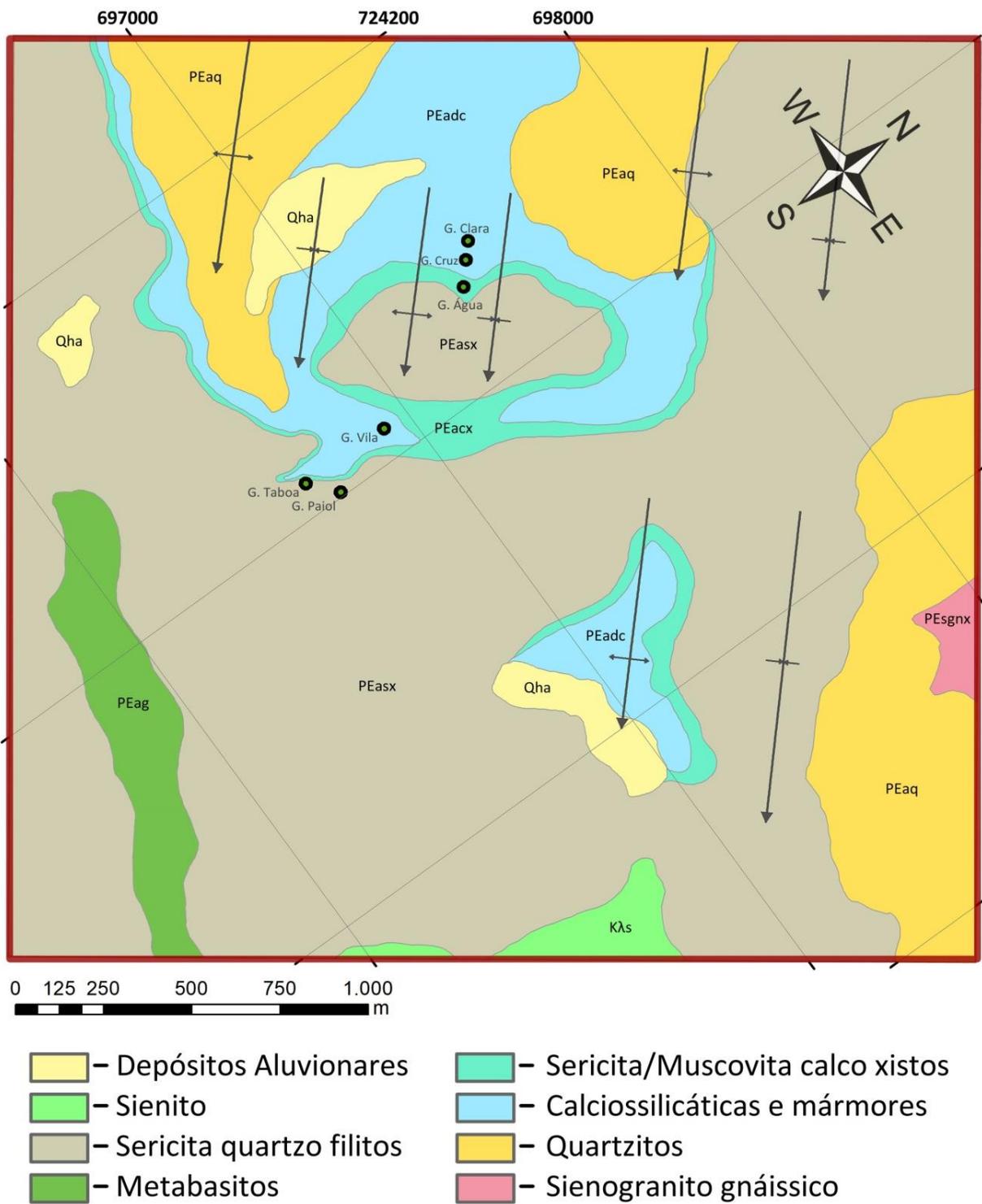


Figura 05: Mapa geológico em escala 1:5.000 das redondezas da mina de Água Clara, no qual é possível observar a localização das galerias Clara, Cruz, Água, Vila, Paiol e Taboa. Adaptado de Takahashi (1983).

3. Materiais e métodos

Buscando alcançar os objetivos propostos, este trabalho contou com dados de campo e descrições petrográficas, conjuntamente com o levantamento bibliográfico de estudos realizados na região do Vale do Ribeira, com ênfase nas mediações da mina de Água Clara.

Foram levantados trabalhos, em especial desenvolvidos com intuito de determinar características metalogenéticas dos corpos mineralizados da região. Esta busca foi feita de modo a obter-se uma base mais sólida das discussões e propostas pertinentes à gênese dos depósitos, e do seu comportamento frente aos eventos de deformação à que foram submetidos. O levantamento foi realizado de forma integrada, visando compreender a evolução das discussões pertinentes às mineralizações tanto do Vale do Ribeira como também de depósitos análogos ou com determinadas características comuns ao de Água Clara.

Além da pesquisa bibliográfica foram utilizados dados de campo, uma série deles obtidos ao longo do primeiro semestre do ano de 2017, no decorrer da disciplina de Mapeamento Geológico (GC-123), do curso de Geologia da Universidade Federal do Paraná (UFPR). Estes dados foram obtidos, devido ao fato da mina de Água Clara se localizar dentro dos limites da área de mapeamento designada para a equipe 2. A qual foi composta pelos alunos: Ivan Rossi, Saulo Vila Lobus Strapasson e Francisco Tomio Arantes, todos graduandos em geologia pela UFPR.

As atividades de campo da disciplina foram desenvolvidas em duas etapas distintas, ambas com duração aproximada de 10 dias, uma delas realizada entre os meses de Março e Abril e a outra no mês de Maio. Atividades estas, cujos esforços tiveram por objetivo: a confecção de um mapa geológico em escala 1:25.000 de uma área com 30 km², e de um relatório geológico com informações referentes à região. Nestes trabalhos foram descritos 206 afloramentos, confeccionadas 14 lâminas petrográficas e aferidas 763 atitudes, referentes a foliações, lineações, contatos e planos de falhas e fraturas. Destes dados, foram selecionados os obtidos em afloramentos de uma área de aproximadamente 4 km², nas proximidades da mina, compreendendo um total de 46 afloramentos e 125 atitudes.

Tendo em vista a escala (1:25.000) abordada, as dimensões da área a ser mapeada (cerca de 30km²) e os diferentes objetivos da pesquisa, optou-se pela

realização de mais uma saída de campo, desta vez voltada unicamente para o estudo das mineralizações e das rochas hospedeiras. Este campo foi realizado no início do mês de novembro e teve duração de 1 dia, sendo desenvolvido entre as galerias Paiol e Taboa. As atividades consistiram na descrição dos litotipos encaixantes e das mineralizações, coleta de amostras e aquisição de atitudes. Os estudos prévios ao campo contaram com: o término da revisão de literatura e com análises petrográficas do corpo mineralizado.

Durante as três etapas de campo foram coletadas o total de 52 amostras relativas ao horizonte mineralizado e às rochas hospedeiras, as quais foram descritas e fotografadas. Duas amostras das mineralizações foram selecionadas para a confecção de 4 seções delgadas polidas, sendo duas delas referentes ao corpo baritífero e as outras duas à formação ferrífera bandada, posicionada pouco acima da mineralização principal. As lâminas foram preparadas no Laboratório de Laminação Petrográfica (LAMIN) e no Laboratório de Laminação do LAMIR (Laboratório de Análise de Minerais e Rochas/Departamento de Geologia, UFPR).

Sua descrição foi feita com o uso de microscópio petrográfico Carl Zeiss modelo AXIO Imager.A2m, com sistema de captura e tratamento de imagem, com o emprego de luz refletida e de luz transmitida. As seções delgadas polidas foram confeccionadas visando auxiliar na identificação das fases minerais e de suas disposições, assim como na determinação da morfologia dos cristais e de suas relações. A amostragem foi realizada de modo a permitir a identificação da possível existência de variações laterais ao longo dos níveis das mineralizações baritíferas e verticais na formação ferrífera bandada. Além destas, foram descritas outras 3 lâminas referentes às rochas das mediações da mina de Água Clara, confeccionadas ao longo da disciplina de Mapeamento Geológico, cujas descrições visaram auxiliar na compreensão do contexto geológico de formação do depósito baritífero e ferrífero.

4. Resultados

4.1 Descrição das rochas nas proximidades da mina de Água Clara

A caracterização e compreensão de corpos mineralizados requerem um estudo detalhado das rochas de suas adjacências. Por este motivo foi realizada a caracterização tanto das rochas hospedeiras do horizonte mineralizado como também, das que fazem contato com a sequência em que o corpo principal de minério se encontra. Para tanto as unidades foram subdivididas conforme a proposta de Daitx (1996), sendo elas a basal, de composição predominantemente quartzítica; a intermediária, formada por rochas calciossilicáticas e mármore; e a superior, definida pela presença de metapelitos e metabasitos. A descrição destas unidades foi realizada apenas nas proximidades da mina de Água Clara, perfazendo portanto, o topo da unidade basal, a totalidade da unidade intermediária e a base da unidade superior.

A partir da descrição de afloramentos e do caminhamento contínuo até as galerias Paiol e Taboa, somado com dados das proximidades da mina de Água Clara, foi confeccionada uma coluna litoestratigráfica (Fig. 06) visando auxiliar nas descrições que se seguem.

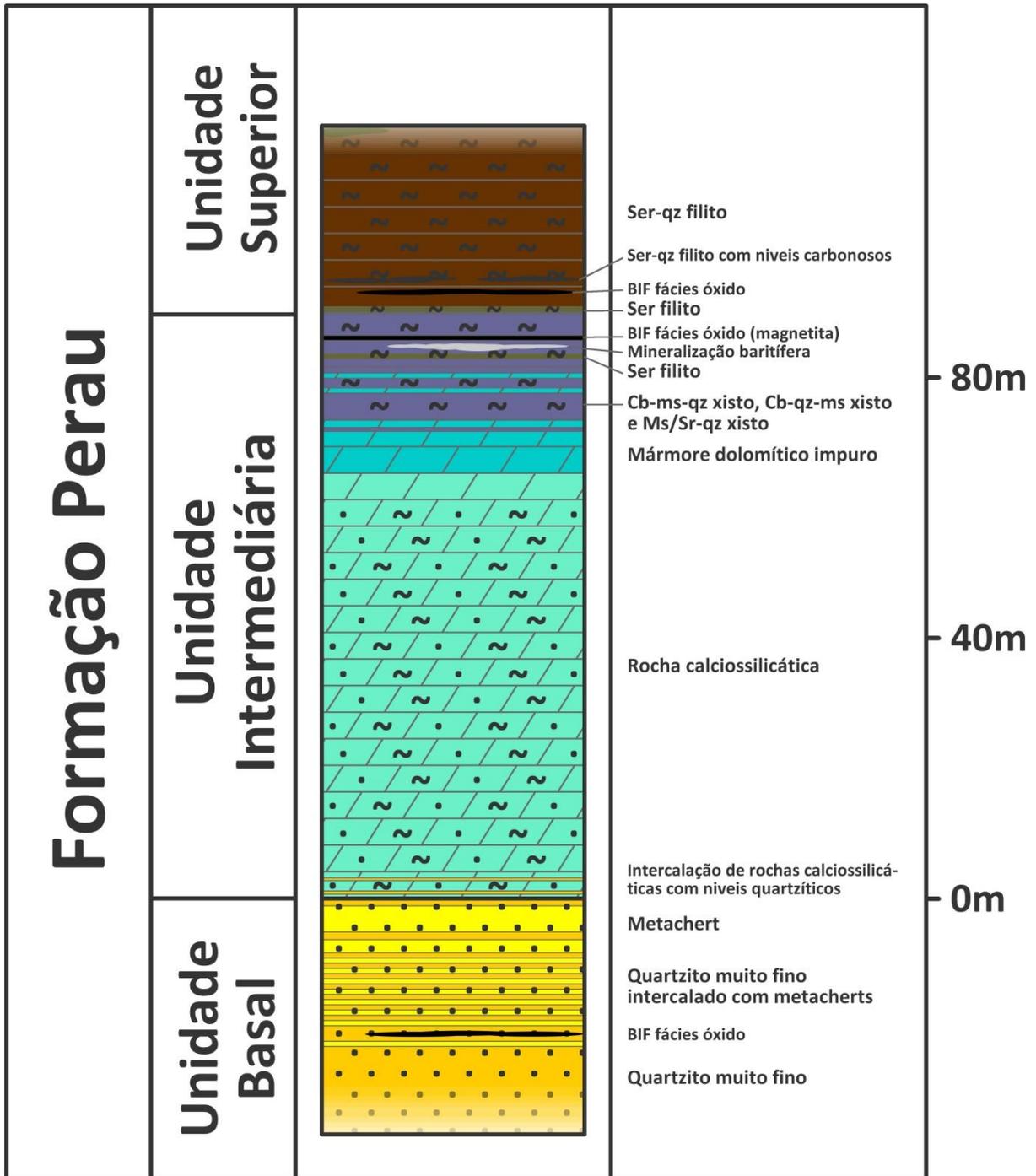


Figura 06: Coluna litoestratigráfica contendo a síntese da variação lateral observada em campo ao longo da unidade hospedeira da mineralização baritífera, e também das rochas que fazem contato com a unidade.

4.1.1 Quartzitos e metacherts (Unidade basal)

Abaixo da sequência hospedeira das mineralizações ocorrem quartzitos da porção basal da Formação Perau. Este trabalho buscou caracterizar as rochas que definem o topo desta sequência, portanto subjacentes às rochas hospedeiras da mineralização principal.

Em geral são rochas de cor esbraquiçada a amarelada, de granulação muito fina a criptocristalinas, compostas predominantemente por quartzo (~95%), havendo a presença de muscovita, de sericita e de óxidos em pequenas proporções. Por vezes sua ocorrência se dá como metacherts de variadas espessuras, sendo observada localmente a intercalação destes com quartzitos muito finos. Aonde estes metacherts ocorrem com espessura superior ao decímetro, a delimitação das camadas é observada apenas por planos submilimétricos com presença de conteúdo sericítico, já nas porções em que esta rocha ocorre com espessuras milimétricas a centimétricas, seus limites são definidos pela intercalação destas com quartzitos muito finos a finos (Fig. 07). Em geral esta intercalação se dá nas porções estratigraficamente inferiores dos horizontes em que ocorrem metacherts de maior espessura.

Em escala macroscópica pôde-se observar apenas uma foliação nestas rochas, a qual é representada por planos de deslocamento definidos pela orientação de muscovita e de sericita, porém, em determinados locais onde o quartzo ocorre em maior granulação, observa-se de forma incipiente um foliação (S1) contínua, interna à que define os planos de deslocamento da rocha (S2). Sua constatação pode ser feita principalmente pelo estiramento de cristais de quartzo e de óxidos, em planos subparalelos a obliquos à foliação S2.



Figura 06: Fotografia demonstrando um nível milimétrico de quartzito criptocristalino (metachert) em meio ao quartzito muito fino.

Em campo estas rochas representam os pontos mais altos da topografia, e apresentam-se em geral pouco alteradas e localmente desmoronadas. Na figura 08 é possível observar um vale definido por rochas carbonáticas da sequência

intermediária da Formação Perau, encaixado em meio a rochas quartzíticas da unidade basal. Neste vale passa o rio Ribeirão Grande, e sua localização se dá nas proximidades das mineralizações da mina de Água Clara, hospedadas nas rochas da porção intermediária da Formação Perau.



Figura 08: Fotografia do relevo definido pelo contato das rochas quartzíticas (Unidade basal) e das rochas calciosilicáticas (Unidade intermediária) da Formação Perau. Aquisição realizada nas proximidades da mina de Água Clara.

A transição destas rochas para as da unidade intermediária, é representada pelo aumento gradativo do conteúdo carbonático e micáceo, passando de quartzitos puros a quartzitos sericítico carbonáticos e sequencialmente para rochas calciosilicáticas. A transição se faz ao longo de poucos metros de espessura, sendo bastante variável de acordo com a porção abordada, mas não ultrapassando os 10 metros, os quais são representados pela intercalação localizada de níveis calciosilicáticos e quartzosos.

4.1.2 Rochas calciossilicáticas, mármore e xistos (Unidade intermediária)

Caracterizadas principalmente pela presença de conteúdo carbonático em sua composição, as rochas da unidade intermediária da Formação Perau são as hospedeiras do horizonte mineralizado. A presença destas rochas é inconstante e pouco recorrente em campo, sendo rara a exposição em afloramentos, principalmente para as rochas calciossilicáticas. A escassez de afloramentos se deve em grande parte à alteração diferencial destas rochas frente ao intemperismo. Apesar de não serem recorrentes, em campo é comum identificar saprólitos destas rochas, caracterizados pela colocação cor “caramelo” (Fig. 09).

A porção inferior desta unidade é definida pelo incremento do conteúdo carbonático sobre o conteúdo silicoso, em geral em campo observa-se a intercalação de níveis delgados com predomínio de minerais micáceos e de níveis formados pela alteração parcial da composição carbonática, este representado por bandas de cor “caramelo”. Apesar de ter-se observado uma tendência geral de incremento do conteúdo carbonático ao subir na estratigrafia, estas rochas calciossilicáticas apresentam variação constante da relação composicional minerais silicosos/carbonáticos, sendo observado mesmo em porções bastante próximas uma variação brusca desta proporção.

Acima das rochas calciossilicáticas ocorrem mármore dolomíticos impuros intercalados à porções xistosas compostas por quartzo, muscovita/sericita, carbonatos e traços de magnetita (Fig. 09). Os níveis de mármore apresentam espessuras bastante variáveis, desde centimétricas até métricas. A ocorrência de xistos se dá localmente em porções onde o mármore ocorre com espessuras menores. Em campo observa-se, nestes mármore, a presença de tremolita em granulação média a grossa e em determinados casos, apenas de dolomita muito fina.

Apesar de se assemelhar, em alguns casos à mármore puros, observa-se na sua face alterada a presença de níveis de composição silicosa, sendo estes contínuos e de espessura milimétrica, identificados por representarem bandas mais salientes na superfície de alteração (Fig. 09). Andrade e Silva (1990) relata ainda a presença de mineralizações de Cu, Pb e Zn, presentes abaixo do nível mineralizado do corpo principal, ocorrendo na forma de vênulas.

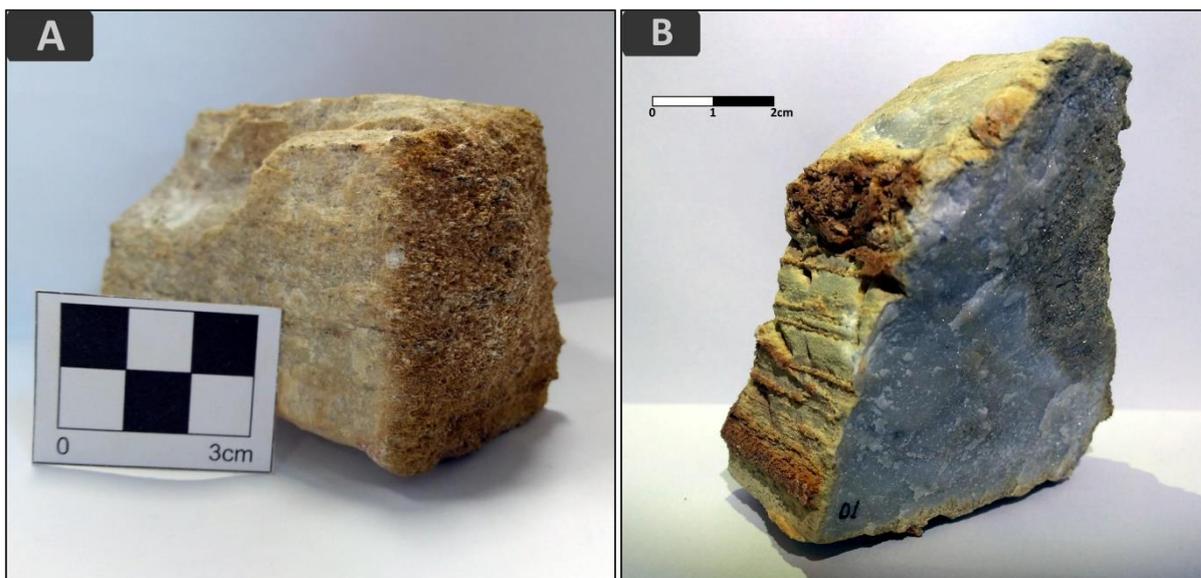


Figura 09: A: fotografia de rocha calciossilicática, na qual observa-se, em uma das faces, as feições desta rocha frente ao intemperismo. B: fotografia de mármore dolomítico impuro, onde se observam níveis mais silicosos, também evidenciados pela face alterada da rocha.

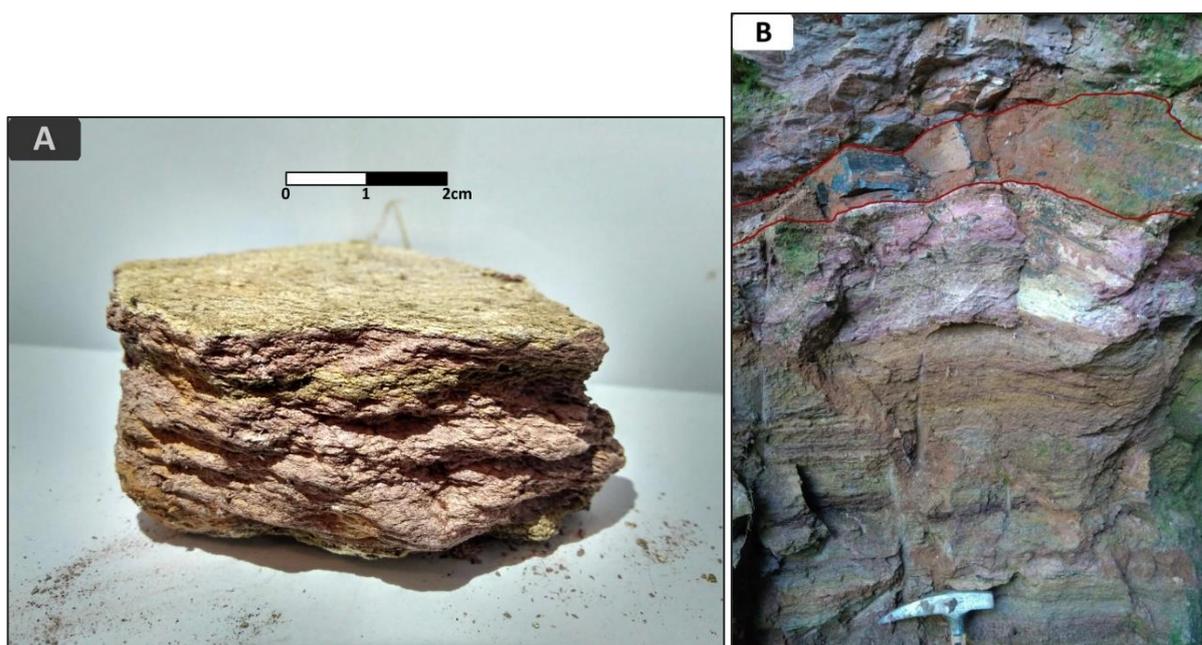


Figura 10: A: fotografia de carbonato-quartzo-muscovita xisto obtida nas proximidades da mineralização baritífera. B: fotografia de uma dobra suave expressa no BIF (destacado em vermelho) localizado próximo ao corpo principal. Nesta imagem é possível observar a variação dos xistos/filitos, havendo neste caso o decréscimo da proporção de quartzo nas proximidades do BIF.

A porção superior desta subunidade é definida pela constância da intercalação de mármore dolomítico com os xistos, seguida da predominância de xistos e filitos no topo. Em geral estes apresentam-se bastante alterados e é possível observar apenas a alternância de níveis de mármore com espessura centimétrica com níveis alterados de cor avermelhada a amarelada, com presença

de muscovita e quartzo. Esta transição ocorre por cerca de 8 metros, sendo observada então, a presença predominante de carbonato-muscovita-quartzo xistos, carbonato-quartzo-muscovita xistos e muscovita/sericita-quartzo xistos (Fig. 10). A imagem da figura 10 demonstra o conteúdo que se encontra entre a mineralização do corpo principal e o nível de formação ferrífera bandada. Nesta porção foi observada, na base, a presença de xistos com conteúdo carbonático, seguidos por cerca de 4 cm de xistos carbonosos e acima filitos e xistos com variação da proporção entre quartzo e sericita/muscovita.

4.1.3 Mineralizações

Em meio à estes xistos encontra-se a mineralização principal da mina de Água Clara, definida pelo horizonte de barita. Tratam-se de rochas de cor bastante clara, esbranquiçadas, com intercalação de níveis escuros de espessura submilimétrica a milimétrica. A ocorrência do minério em geral se dá de forma bastante pura, e a presença de níveis delgados de sulfetos e óxidos não representa mais do que 30% do conteúdo total da rocha. A disposição destes níveis é variável, ocorrendo tanto de forma contínua como descontínua, sendo o segundo caso o mais recorrente.

Os níveis esbranquiçados são compostos predominantemente por barita, com granulometria variando de muito fina a grossa. Aparentemente não ocorrem cristais que representem a transição entre estas granulações, estando a barita grossa presente de forma localizada, e em certos casos levemente alongada. A identificação destes cristais foi possível devido ao brilho característico do mineral, conforme pode-se observar na figura 11A. Os níveis de sulfetos e óxidos são compostos por pirita, magnetita e em pequenas proporções por galena, ocorrendo de forma predominantemente descontínua e lenticularizada mas relativamente paralelizados (Fig. 11A, B e C). Da mesma forma que a barita, a granulometria destes minerais varia desde muito fina até grossa, sendo no segundo caso presente na forma de cristais subédricos a euédricos de até 1mm. Estes ocorrem de duas formas distintas, uma delas como cristais dispostos ao longo de níveis delgados e também como cristais individualizados imersos em uma matriz de barita.

A disposição dos níveis de sulfetos e óxidos, que ocorrem intercalados à barita, é concordante com a foliação geral das rochas encaixantes, possivelmente

com a foliação interpretada como S2 dos xistos. Em alguns casos foi identificada a presença de níveis submilimétricos e contínuos de sericita/muscovita xistos em meio a barita (Fig. 11C). Tratam-se de bandas de cor cinza prateado, concordantes com os níveis de óxidos e sulfetos e com a estruturação geral das rochas adjacentes.

Foram observados poros em geral alongados, ocorrendo em níveis preferenciais (Fig. 11D). A presença de alguns poros com limites planares sugere que parte deles foi originado pela dissolução de sulfetos. Foram identificados também *boxworks* de até 1mm, o que corrobora esta hipótese de origem da porosidade. Em alguns casos os poros ocorrem com formas arredondadas, podendo ser decorrente de processos mais avançados de dissolução.

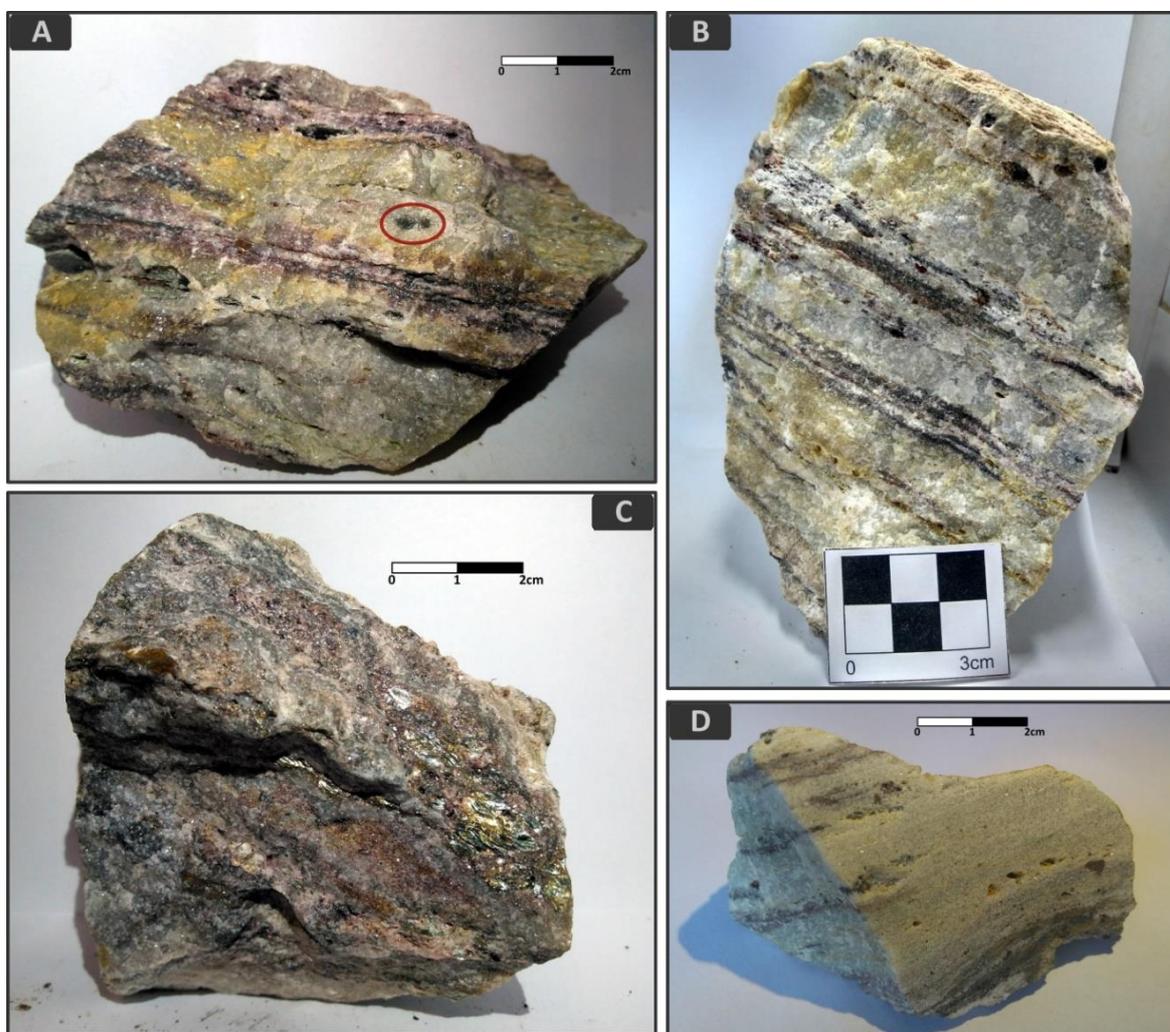


Figura 11: Fotografias da mineralização baritífera. Nas imagens A e B, é possível observar a disposição e relação dos níveis de óxidos e de barita, em geral paralelos e contínuos, sendo ocasionalmente descontínuos. Na figura A encontra-se destacada a presença de dois cristais de barita com mais de 1 mm. Na fotografia C, com aquisição realizada perpendicularmente aos níveis, observa-se a presença de uma lâmina delgada de muscovita/sericita xisto em meio à barita. Na imagem D observa-se a presença de poros levemente alongados, com ocorrência preferencial em determinados níveis.

Tendo em vista as condições atuais das galerias, a espessura e o comprimento do corpo principal não puderam ser determinadas com precisão. Devido a isto, a descrição deste horizonte foi feita predominantemente com o uso de blocos amostrados nas imediações da entrada das galerias.

Acima da mineralização baritífera, ocorrem novamente xistos com composição semelhante à anteriormente citada, havendo na sequência a presença de um horizonte de formação ferrífera bandada com cerca de 12 cm de espessura (Fig. 12A e D). Trata-se de um nível contínuo e de destaque em afloramento, com espessura constante ao longo das galerias abordadas e com posição estratigráfica bem definida.

A rocha é formada pela intercalação de níveis de composição silicosa e ferruginosa. Estes ocorrem em geral paralelizados, com espessuras que variam de submilimétrica a milimétrica, e em muitos casos lenticularizados (Fig. 12). Os níveis silicosos são compostos predominantemente por quartzo, havendo a presença de óxidos dispersos, enquanto que os níveis ferruginosos são compostos por magnetita e por hidróxidos de ferro. Aparentemente a porção representada pelos óxidos predomina sobre a de composição silicosa, e sua disposição se dá em geral de forma concordante à estruturação geral da região. Além dos níveis silicosos que se intercalam aos ferruginosos, ocorrem também níveis quartzosos discordantes aos demais, dispostos de forma levemente oblíqua, sendo estes mais espessos que os concordantes (Fig. 12D). Estes níveis são compostos predominantemente por quartzo, mas podem ser observados cristais de óxido de ferro ocorrendo em meio ao quartzo. À sua origem, interpreta-se um evento que ocasionou a remobilização da sílica ao longo de planos de fraqueza levemente oblíquos ao bandamento da rocha.

O contato desta formação ferrífera bandada (BIF) com as rochas hospedeiras é aparentemente abrupto, conforme pode-se observar na figura 10, porém foi possível identificar a presença mais constante de poros na porção inferior da mineralização (Fig. 12A e D), assim como de um conteúdo amarelado nas amostras mais alteradas. Os poros são arredondados e ocorrem dispostos em níveis preferenciais, tendo sua origem possivelmente associada à processos de dissolução mineral.

Além do BIF localizado logo acima da mineralização baritífera, foi constatada a presença de formações ferríferas bandadas ocorrendo também: nas rochas

quartzíticas, portanto sob as rochas hospedeiras da mineralização principal; e nos quartzo-sericita filitos, que ocorrem estratigraficamente acima destas rochas. No primeiro caso, a presença dos BIFs se dá com forte predomínio da composição ferruginosa, sendo em alguns casos observada apenas esta fase mineral, como por exemplo na figura 12B. No segundo caso a composição dos BIFs é semelhante à anteriormente descrita, apresentando contato abrupto, porém presente com espessuras que não ultrapassam os 5 cm (Fig. 12C). Apesar destas mineralizações ferríferas ocorrerem em rochas individualizadas como distintas unidades da Formação Perau, estratigraficamente sua localização se dá em posições relativamente próximas.



Figura 12: A: Fotografia de BIF obtido acima da mineralização baritífera do corpo principal; B: Nível de ferro coletado nas rochas da unidade basal (quartzítica) da Formação Perau, em contato com quartzito muito fino; C: BIF amostrado na unidade superior da Formação Perau, com ocorrência em meio a filitos; D: Fotografia de BIF localizado na unidade intermediária da Formação Perau, semelhante ao da figura A, mas coletado a dezenas de metros de distância, na amostra é possível observar níveis quartzosos discordantes dos demais.

4.1.4 Filitos (Unidade superior)

Logo acima da unidade de rochas hospedeiras da mineralização baritífera, ocorrem: sericita filitos, quartzo-sericita filitos e sericita-quartzo filitos. A ocorrência de sericita filitos se dá imediatamente sobre as rochas da unidade intermediária, havendo um incremento do conteúdo quartzoso e a passagem para quartzo-sericita filitos, os quais predominam na unidade superior. A proporção entre sericita e quartzo varia constantemente, havendo de forma localizada a presença de sericita-quartzo filitos, os quais não apresentam grande expressividade e logo passam para termos mais sericíticos, retornando a ocorrer como quartzo-sericita filitos. Tratam-se de rochas bandadas, nas quais ocorrem intercalações de níveis mais quartzosos e níveis mais sericíticos, havendo em porções bastante localizadas, a ocorrência de bandas carbonosas. A presença dos níveis carbonosos se dá na base desta unidade, portanto, próximo a unidade hospedeira das mineralizações. Em algumas porções da rocha, foram observados cristais subédricos a euédricos de magnetita com até 0,5mm.

Estas rochas apresentam em geral duas foliações, sendo a S1 contínua e intensamente crenulada, classificada como clivagem ardosiana. A foliação S2 ocorre como clivagem de crenulação com espaçamento submilimétrico a milimétrico. Em geral a foliação S2 também encontra-se crenulada e em casos restritos pode-se observar a presença de uma terceira foliação, sendo esta disjuntiva, gerada nos planos axiais das crenulações da S2. Esta terceira foliação (S3) não aparenta apresentar desenvolvimento mineral e seu espaçamento é bastante variável, ocorrendo em geral entre planos com distanciamento milimétrico a centimétrico. Os filitos que ocorrem na projeção do eixo da antiforma Água Clara, em muitos casos, apresentam transposição de foliação e localmente, truncamento destas.

4.2 Geologia Estrutural

Conforme anteriormente citado, a mina de Água Clara está localizada no flanco noroeste da antiforma regional também denominada Água Clara. Os dados levantados nas atividades de mapeamento geológico, somados aos obtidos em campo destinado exclusivamente ao presente trabalho, apontam para a configuração desta dobra como uma antiforma aberta, a qual apresenta ângulo interflancos de aproximadamente 114°. Trata-se de uma dobra com plano axial

subvertical e caimento de eixo suave, este com atitude média de 224/11 (eixo construído). A partir do diagrama da figura 13, observa-se que o flanco SE apresenta valores maiores de mergulho em comparação com o flanco NW.

Além da dobra regional, frequentemente foram observadas mesodobras com comprimento de onda variando de decimétrico a métrico. Nos quartzitos estas dobras menores estão expressas em estilos estruturais consistentes, em geral semelhantes na grande parte da unidade e com atitudes próximas à dobra regional, sendo elas suaves a abertas (Fig. 13). A presença de mesodobras nos filitos, xistos e rochas calciossilicáticas se dá de forma bastante variada, ocorrendo desde dobras isoclinais até dobras suaves, mas em geral apresentando direção de eixo semelhante.

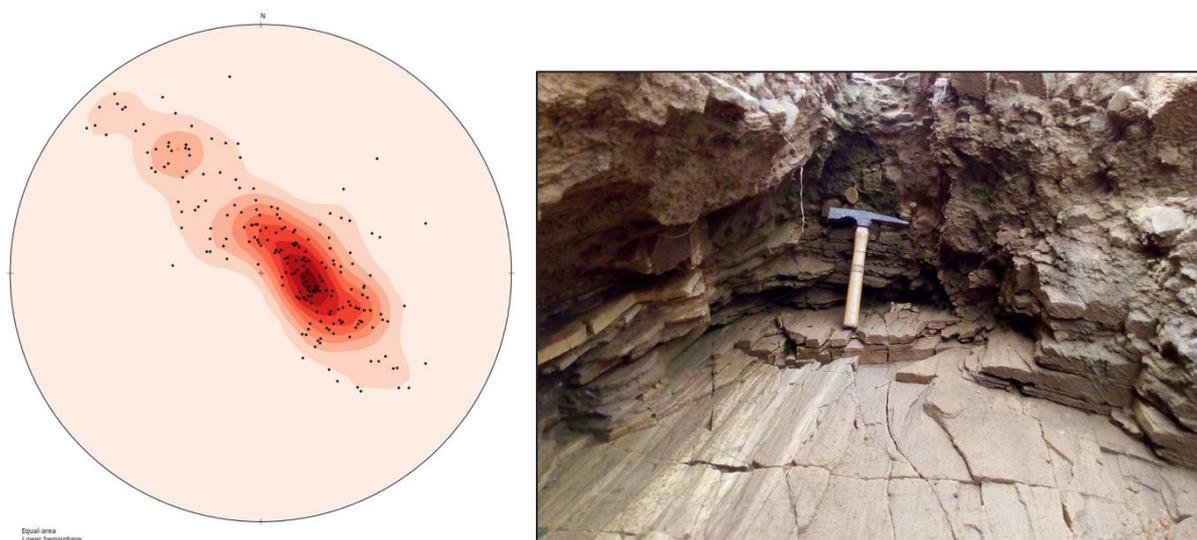


Figura 13: À esquerda estereograma referente a 215 atitudes de campo da foliação S2, no qual é possível interpretar a antiforma Água Clara. À direita a presença de mesodobra nos quartzitos com localização estratigráfica inferior à mineralização de barita.

Em campo observou-se a presença de mesodobras suaves ocorrendo nas entradas das galerias, estas podem ser constatadas em especial pela presença do BIF sobre a mineralização principal. A atitude da dobra presente na boca da galeria denominada Paiol, apresenta valores de flanco de 326/24 e 166/29, e nesta mesodobra foram identificadas dobras parasitas, com caimento de eixo para 231/10.

4.3 Estudo petrográfico das mineralizações

Buscando definir aspectos texturais, composicionais e determinar a influência dos eventos deformacionais nas mineralizações, foram confeccionadas e descritas 4 lâminas petrográficas, das quais, duas são referentes ao corpo baritífero e as

demais à formação ferrífera bandada localizada pouco acima da mineralização principal. A seleção das amostras para estudo petrográfico foi realizada de modo a melhor representar a mineralização como um todo. Para tal, foram escolhidas duas amostras, cada uma referente a uma das mineralizações, a partir das quais, seções delgadas polidas foram confeccionadas. Optou-se pelo estudo de duas lâminas para cada amostra, definindo diferentes porções do exemplar (Fig. 14), visando assim determinar a existência ou não de variações verticais no BIF e laterais na mineralização baritífera.

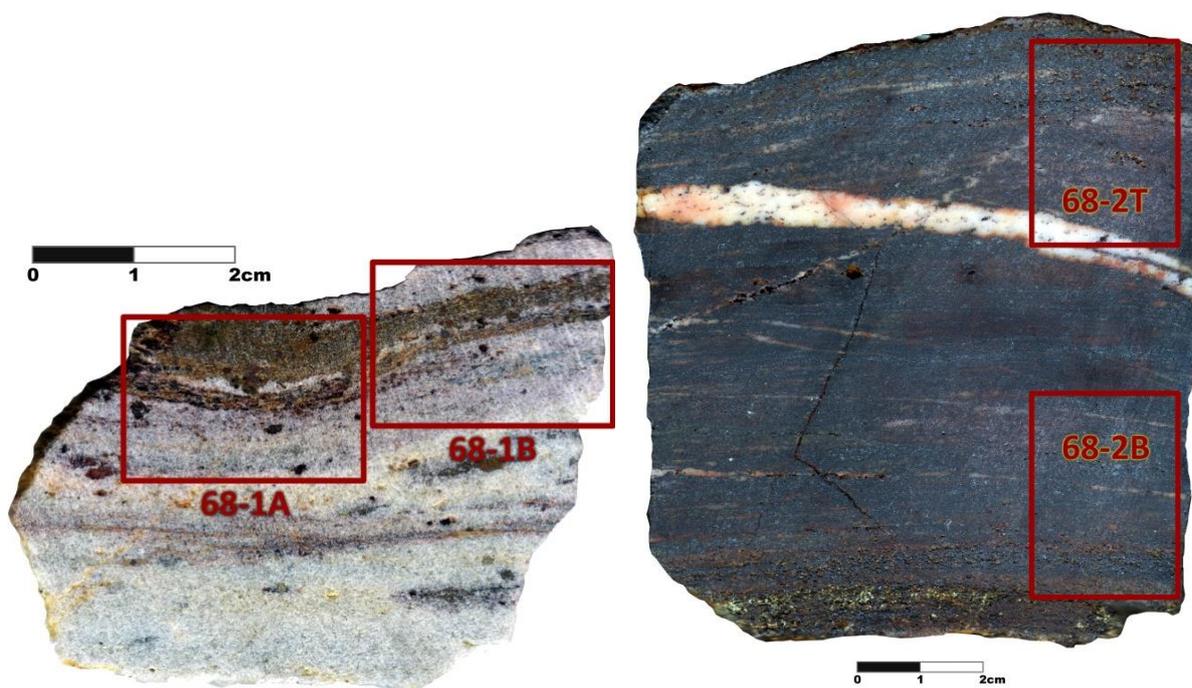


Figura 14: Imagem das amostras abordadas em estudo petrográfico. Em destaque estão as porções selecionadas para confecção de seção delgada polida. À esquerda amostra da mineralização baritífera e à direita da formação ferrífera bandada.

4.3.1 Corpo principal – Mineralização baritífera

A mineralização baritífera, submetida à análise petrográfica, é formada pela intercalação de níveis milimétricos a submilimétricos aproximadamente paralelos e contínuos, definidos pela predominância de barita ou de óxidos de ferro. As intercalações com menores espessuras por vezes definem fases descontínuas e difusas. Apesar dos níveis serem determinados pelo predomínio de uma das fases minerais, foram observadas ambas as fases ocorrendo conjuntamente, conforme será descrito na sequência.

Os níveis mais claros, são formados por cristais de barita, com granulometria predominantemente muito fina a fina, ocorrendo localmente com granulometria

média a grossa. A ocorrência de cristais com maior granulação pode ser observada inclusive a olho nú, e em microscopia constata-se que estão dispostos na forma de agregados de barita (Fig. 15A). Estes ocorrem com formas levemente alongadas, e os cristais que o compõe apresentam contatos retos a curvos em ângulos de 120°.

Independente da granulometria, foi observada extinção ondulante nos cristais de barita, e nos de granulação mais fina também foram observadas outras feições deformacionais, tais como: rotação de subgrão, geração de novo grão e ocasionalmente *bulging*. O contato destes cristais apresenta forte variação, ocorrendo principalmente como contatos retos e curvos, havendo a presença menos recorrente de contatos lobados. Em muito casos foram observados os limites destes cristais, quando retos ou curvos, formando ângulos de 120°, conforme pode-se observar na figura 15B.

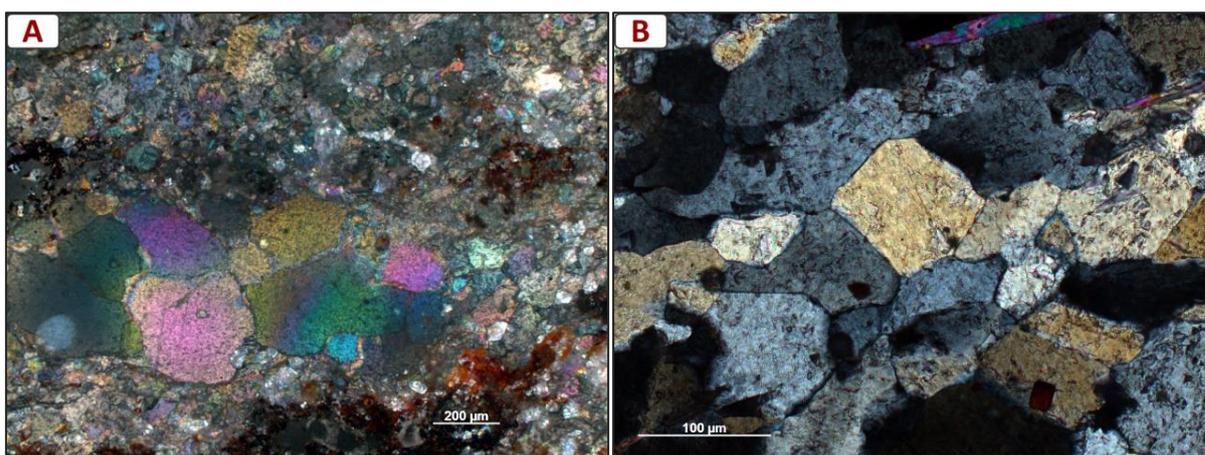


Figura 15: Fotomicrografias com o emprego de luz transmitida e polarizadores cruzados. Figura A: Agregado de barita, representado por cristais de granulação fina a média com limites curvos, formando ângulos de 120°. Figura B: Cristais de barita muito fina apresentando contatos retos a curvos em geral formando 120°.

Apesar de não ser claro em grandes magnificações, pôde-se observar em aumentos menores, a leve orientação dos cristais de barita (Fig. 16A), definindo para a rocha uma textura predominantemente nematoblástica. A orientação destes cristais se dá em uma direção geral semelhante à da disposição dos níveis de óxido que se intercalam aos de barita. Ainda nos níveis baritíferos, ocorrem cristais de muscovita, também orientados concordantemente aos níveis, estes apresentando granulação predominantemente muito fina e ocorrendo localmente como inclusões nos cristais de barita (Fig. 16B). Foram identificados óxidos de ferro com granulação variando de média a grossa, definidos por cristais de magnetita e martita com hábito

subédrico a euédrico, ocorrendo em contato direto com os cristais de barita. Da mesma forma, alguns poucos cristais de pirita, foram identificados ocorrendo nestes níveis (Fig. 16D). Os cristais de sulfeto se apresentam com dimensões semelhantes à ocorrência principal de barita, portanto com granulometria muito fina a fina. Tratam-se de cristais euédricos, com hábito cúbico e, invariavelmente sem o núcleo, possivelmente devido a processos de dissolução. A ocorrência de pirita também foi identificada na forma de inclusões nos cristais de barita, apresentando formas arredondadas e granulometrias que variam desde inferiores a 1 μm até 20 μm (Fig. 16C).

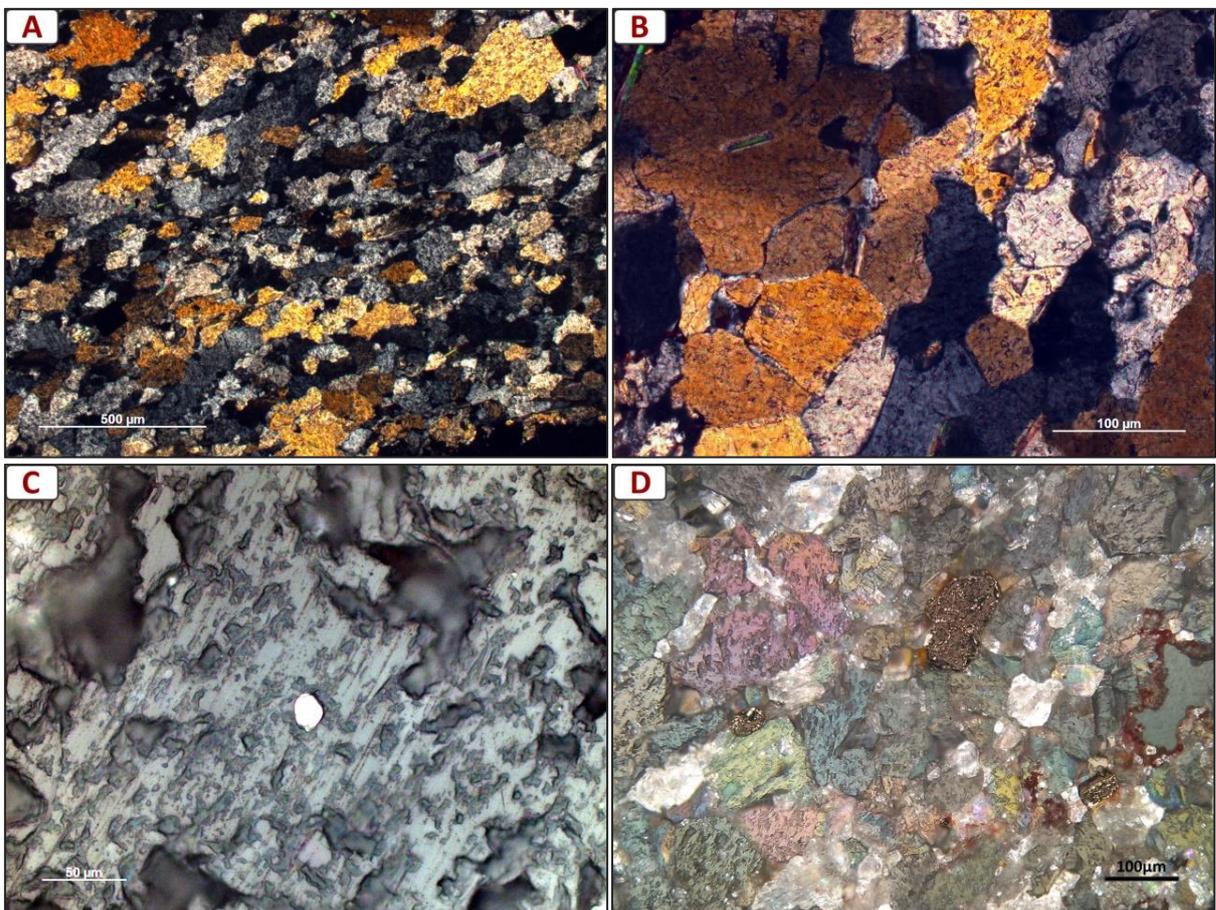


Figura 16: Fotomicrografias do corpo baritífero, A e B com o uso de polarizadores cruzados em luz transmitida; C e D com o emprego luz refletida, polarizadores paralelos e cruzados respectivamente. A: Aquisição realizada em 5 aumentos, na imagem é possível observar a leve orientação dos cristais de barita; B: Na porção superior esquerda da imagem é possível identificar um cristal de muscovita em meio a um cristal de barita; C: Pirita presente como inclusão na barita; D: Cristais de pirita euédrica ocorrendo em meio ao sulfato.

Próximo a transição entre os níveis baritífero e ferruginoso principais, ocorre uma lâmina delgada de cristais de muscovita (Fig. 17), estando estes orientados de forma concordante à disposição dos demais níveis. Estes cristais definem um plano

crenulado e por vezes interrompido. Em meio a ocorrência de muscovitas, observam-se cristais diminutos de barita e de magnetita, estando a segunda presente com duas tendências granulométricas, uma delas representada por cristais euédricos de granulação muito fina e granulometria muitas vezes inferior a 62 μm , e a outra definida por porfiroclastos subédricos a euédricos de granulação média (Fig. 17B).

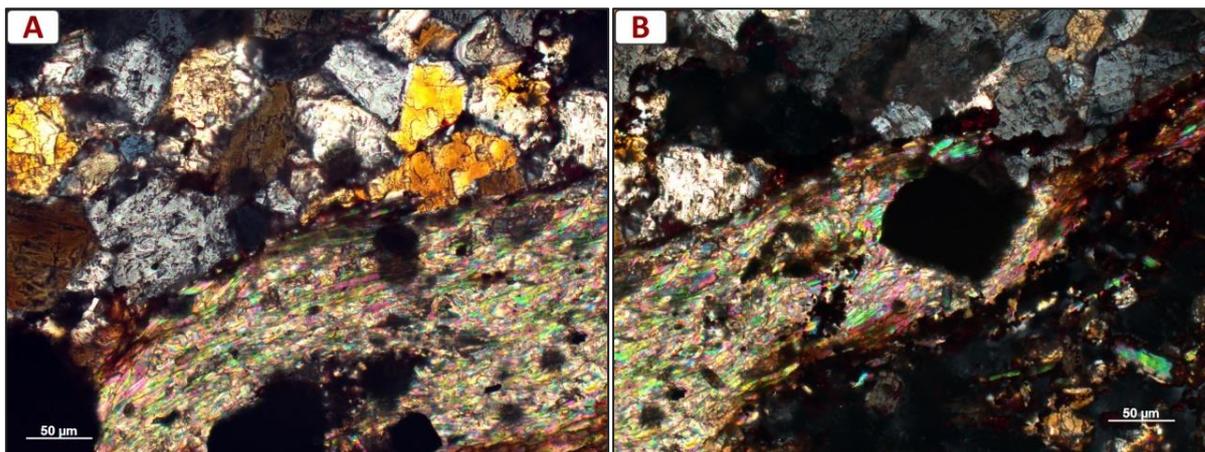


Figura 17: Fotomicrografias obtidas com o uso de luz transmitida e polarizadores cruzados. Nelas é possível observar a presença de um nível de muscovitas em contato com o nível baritífero. Em meio a muscovita ocorrem cristais de magnetita e na figura B pode-se visualizar um porfiroclasto de magnetita aparentemente gerando o desvio da foliação.

O nível definido pela predominância de óxidos é formado principalmente por magnetita, martita e limonita, havendo ainda a presença de barita e localmente de cristais orientados de muscovita. A magnetita ocorre com granulações bastante variáveis, desde muito fina até média, mas presente predominantemente na forma de cristais subédricos a euédricos, parcial (Fig. 18A) a totalmente martitizados. Nos cristais parcialmente martitizados, é possível observar que este processo se deu das bordas para o centro, em geral de forma relativamente regular, conforme os planos cristalográficos. Foram observados ainda cristais de magnetita anédrica com formas alongadas, dispostos em meio a matriz de limonita e de barita fina. A limonita ocorre predominantemente com formas difusas, apresentando-se localmente com hábito botrioidal (Fig. 18B). No segundo caso, foram identificadas pequenas inclusões de cristais de pirita em meio aos botrioides.

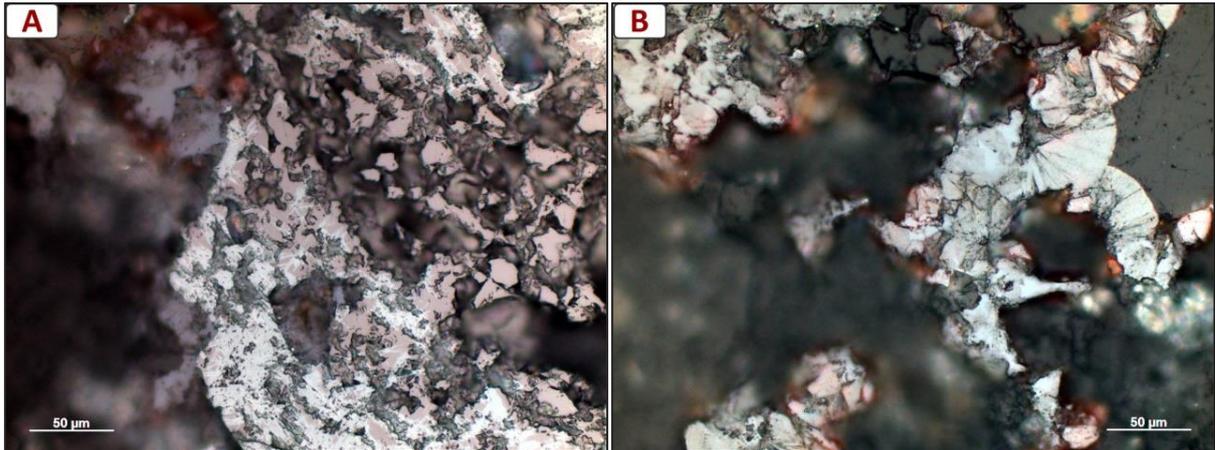


Figura 18: Fotomicrografias obtidas com o emprego de luz refletida e polarizadores paralelos. A: Processo de martitização parcial em cristal de magnetita, este ocorrendo ao longo dos planos cristalográficos; B: Limonita ocorrendo com hábito botrioidal, na imagem é possível observar a presença de pequenos cristais de pirita em meio ao hidróxido de ferro.

Nos cristais de magnetita que ocorrem com formas subédricas a euédricas, com granulação fina a média, foram observados recorrentes casos de ausência do núcleo dos cristais (Fig. 19). A vacância mineral no núcleo das magnetitas, geralmente apresenta formas semelhantes à das bordas preservadas do cristal, conforme pode-se observar na figura 19 A,B,C e D. Porém, em um caso, foi identificada pirita ocorrendo no núcleo de um destes cristais de magnetita, conforme pode-se observar na figura 19E e 19F. Neste caso, pode-se constatar que os cristais fazem contato em porções localizadas, porém é mais recorrente que, entre eles, ocorra uma superfície sem cristais.

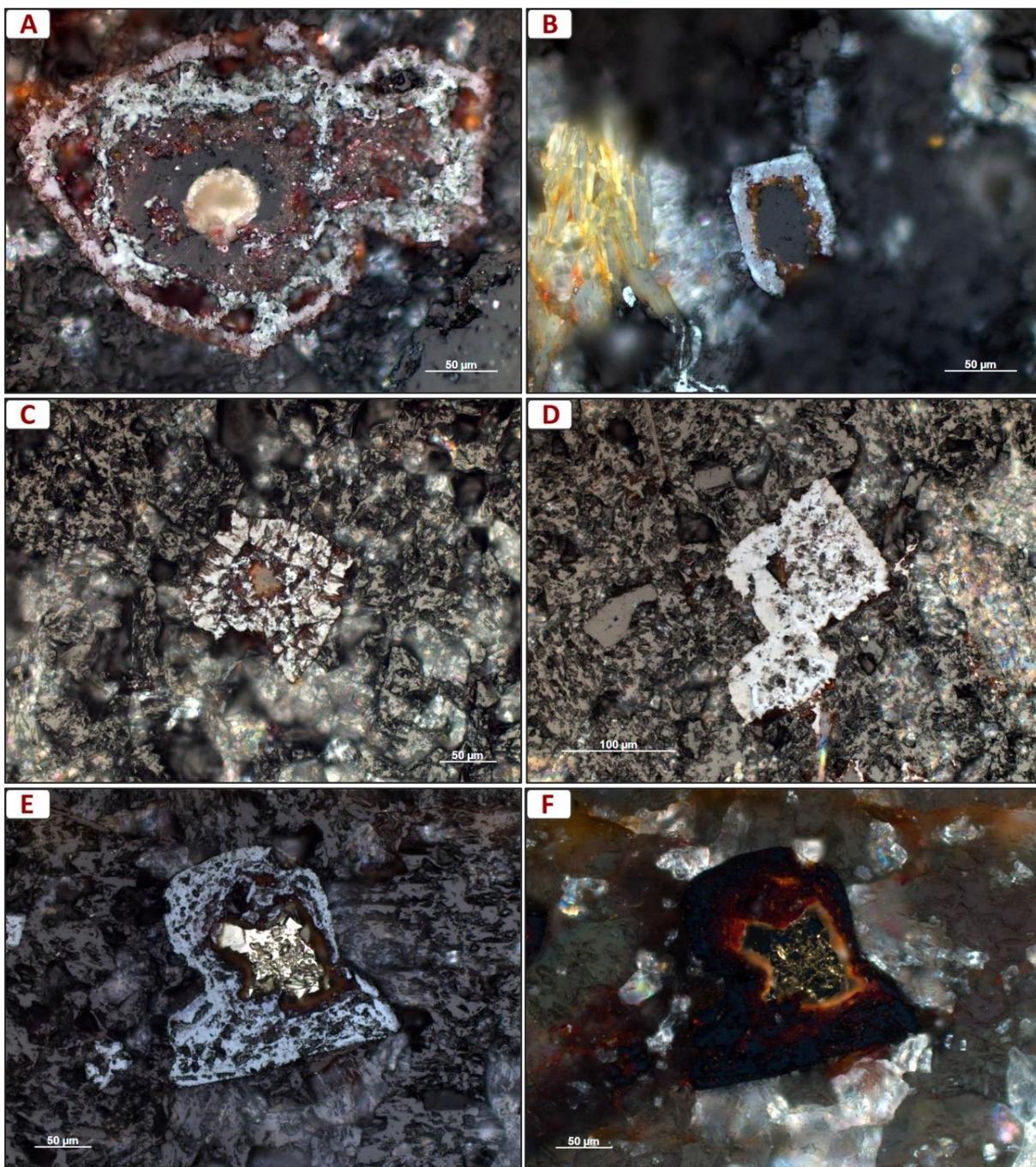


Figura 19: Fotomicrografias de óxidos na mineralização baritífera, obtidas com o uso de luz refletida e polarizadores paralelos, com exceção da figura F, realizada com emprego de polarizadores cruzados. Nas imagens A, B, C e D é possível observar cristais de magnetita com ausência total ou parcial do núcleo, já nas figuras E e F observa-se a presença de um cristal de pirita no centro de um cristal de magnetita, estes imersos em uma matriz de barita. Ambos os cristais ferruginosos aparentam estar em contato, apesar de ser possível observar, em algumas porções, uma ausência de minerais entre eles, decorrente da dissolução definida por um plano de fraqueza.

Apesar de haverem sido confeccionadas duas lâminas referentes ao corpo principal de barita, não foram observadas variações laterais significativas, no que tange: a presença ou ausência de determinadas fases minerais, variações texturais e/ou estruturais. Os minerais observados ocorrem de forma semelhante, e os dados

obtidos em ambas as lâminas serviram principalmente para corroborar hipóteses que serão detalhadas no capítulo de discussão.

4.3.2 Formação ferrífera bandada (BIF)

As formações ferríferas bandadas são formadas pela intercalação de bandas submilimétricas a milimétricas, com predominância de quartzo sobre os óxi-hidróxidos de ferro e vice versa (Fig. 20A). A disposição destes níveis é aproximadamente concordante à estruturação geral das rochas, assim como à disposição do horizonte baritífero, descrito acima. Em geral são níveis contínuos mas que por vezes apresentam-se lenticularizados, característica esta, possível de observar apenas em amostra de mão ou em maiores magnificações. Apesar de apresentarem dispostos paralelamente, observam-se casos de pequenas dobras suaves, evidenciadas principalmente nos níveis ferruginosos, conforme pode-se observar na figura 18B. Ocasionalmente ocorrem níveis quartzosos dispostos obliquamente aos demais, estes apresentam espessuras bastante variadas, sendo também os que ocorrem com maiores dimensões (Fig. 14).

Apesar da intercalação de níveis ferruginosos e silicosos, pode-se observar a presença de ambas as fases nos dois níveis, diferindo entre eles apenas pela variação da proporção destas.

Os níveis ferruginosos são definidos pela presença predominante de magnetita, a qual ocorre de duas formas distintas (Fig. 20C e D). Os cristais maiores se apresentam com granulação fina a média, com forma subédrica a euédrica e hábito octaédrico. Os demais cristais de magnetita ocorrem alongados, com orientação aproximadamente paralela à dos níveis que se intercalam. Estes cristais apresentam granulação predominantemente muito fina e formatos aproximadamente tabulares. Ambas as formas de ocorrência são bastante frequentes na lâmina correspondente a parte inferior do BIF (lâmina 68-3B), porém os cristais alongados de magnetita muito fina são pouco recorrentes na amostra referente ao topo do horizonte ferruginoso (lâmina 68-3T).

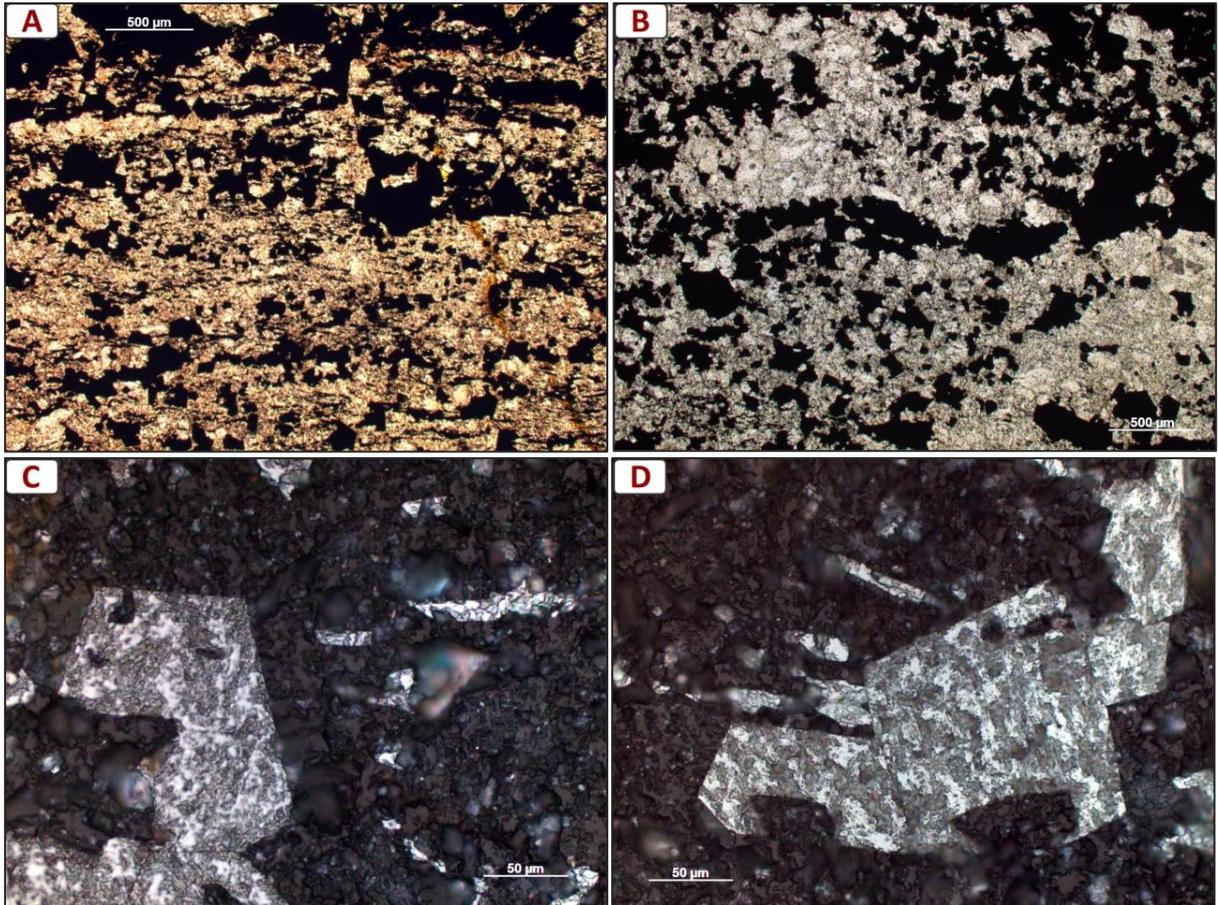


Figura 20: Fotomicrografias das lâminas 68-3B e 68-3T. A e B obtidas com o uso de luz transmitida e polarizadores paralelos, referentes às lâminas 68-3B e 68-3T respectivamente; C e D com o emprego de luz refletida e polarizadores paralelos, ambas da lâmina 68-3B. Figura A e B evidenciam a disposição de níveis ferruginoso e silicosos, havendo na figura B a presença de uma leve ondulação observável no nível de óxidos. Figuras C e D demonstram a presença dos dois tipos de magnetita, uma maior e euédrica e outra alongada e aproximadamente tabular.

A ocorrência de quartzo em ambos os níveis se dá com granulação muito fina a fina, ocorrendo localmente como cristais médios. Apresentam diversas feições deformacionais, sendo observado frequentemente extinção ondulante, rotação de subgrão, alguns casos de geração de novo grão e de *bulging*. Estes cristais fazem contato com magnetitas, limonitas e com outros cristais de quartzo, sendo comum contatos lobados entre os cristais silicosos e retos com os ferruginosos.

Foi observado tanto em amostra de mão como em lâmina, uma orientação oblíqua incipiente de alguns cristais de magnetita. Esta, apresenta ângulo de aproximadamente 30° em relação à disposição dos níveis. Sua identificação é possível em especial nos níveis quartzosos e sua presença pode evidenciar diferentes respostas à mudanças nos esforços deformacionais.

5. DISCUSSÕES

5.1 Litologia próxima à mina de Água Clara

A partir de estudos das mineralizações e de suas rochas hospedeiras, foi possível posicioná-las na porção superior da unidade intermediária da Formação Perau, de forma semelhante ao que Daitx (1996) propõe. Ainda no presente trabalho foi possível realizar o detalhamento das rochas que ocorrem nas proximidades do corpo mineralizado e de sua expressão em afloramento. As análises estruturais permitiram situar a mineralização principal no flanco noroeste da antiforma assimétrica denominada Água Clara, corroborando com o descrito por Andrade e Silva (1990).

A presença de metacherts sob a unidade hospedeira das mineralizações pode apresentar diversas origens, porém sua extensão lateral e contextualização com os demais litotipos leva a inferência de origem em um ambiente relacionado à processos exalativovulcanossedimentares. Ao estudar estas rochas, Andrade e Silva (1990) aponta tal hipótese se embasando em análises de elementos terras raras.

Sequencialmente aos metacherts ocorrem rochas calciossilicáticas com grande variação da proporção do conteúdo carbonático e silicático, a isto foi interpretado como decorrente de variações sinsedimentares. Acima destas rochas ocorrem mármore dolomíticos impuros com a presença de tremolita, a qual possibilita o posicionamento do grau de metamorfismo destas rochas como equivalentes à fácies xisto verde superior. Segundo Bucher e Grapes (2011), estes cristais são gerados a partir de aproximadamente 470 °C e 500 Mpa.

Acima destas rochas ocorre a intercalação de níveis milimétricos a centimétricos de mármore impuros com níveis centimétricos de carbonto-quartzo-muscovita xistos, carbonato-muscovita-quartzo xistos, quartzo-muscovita xistos e muscovita-quartzo xistos, havendo progressivamente o desaparecimento dos níveis de mármore e a exclusividade das rochas xistosas. Daitx (1996) afirma que a presença de dolomitos nestas rochas sugere uma origem relacionada a um ambiente do tipo plataformal, pouco profundo, com subambientes localmente restritos.

O corpo principal tem sua ocorrência em meio à estes xistos, assim como o BIF abordado petrograficamente no presente trabalho. Próximo às mineralizações foi

observada uma variação aleatória da proporção do conteúdo quartzoso e micáceo, porém sobre a formação ferrífera foi identificado o aumento significativo na proporção de quartzo das rochas. Entre as mineralizações foi identificado um nível de xistos carbonosos em meio aos demais xistos.

Apesar do contato das mineralizações serem abruptos, observou-se uma variação na porção basal do BIF, a qual mesmo apresentando composição mineralógica semelhante com a porção superior, possui cristais alongados de magnetita que podem sugerir influência direta da deformação nestas rochas.

A origem das mineralizações ainda é objeto de intensa discussão e sua resposta frente aos diversos eventos deformacionais permanece pouco entendida. Apesar de Andrade e Silva (1990) descrever uma textura granoblástica na mineralização baritífera, nas amostras abordadas, foi identificada certa orientação dos cristais de barita, conferindo à rocha uma textura nematoblástica. Apesar da textura descrita, na maioria das vezes, os cristais apresentam contatos gerando ângulos de 120° . A origem destes contatos possivelmente está associada com episódios de recristalização a qual, apesar de ser descrita em certos casos como estática, apresentou nas amostras analisadas evidências de certa dinamicidade.

Acima dos xistos que hospedam as mineralizações, foram observados sericita filitos seguidos de quartzo-sericita filitos. Os afloramentos descritos destas litologias se localizam próximos à projeção do eixo da antiforma Água Clara, sendo interpretado como o motivo de tais rochas estarem intensamente deformadas. Em alguns casos foram observadas: três foliações, dobras em diferentes estilos e ainda localmente o truncamento de foliações, evidenciando assim a importância dos eventos deformacionais nas proximidades dos horizontes mineralizados. O ambiente de deposição destas rochas foi interpretado por diversos autores como relacionado a uma bacia profunda, adjacente a uma plataforma carbonática, porém o contato com as rochas da unidade intermediária, anteriormente descritas permanece como objeto de discussão.

5.2 Petrografia – Mineralização de barita

A ocorrência de cristais de barita levemente orientados de forma concordante à estruturação das rochas encaixantes, demonstra a sua resposta frente às deformações responsáveis pela orientação mineral e pela geração de foliações nas demais rochas. Trata-se de um evento deformacional em regime dúctil, no qual se interpretam a geração das foliações S1 e S2, subdividindo-o em duas fases, sendo ele em grande parte dominado por cavalgamentos. Apesar desta orientação dos cristais, foi constatada a presença recorrente de contatos formando ângulos de 120° , indicando que estas rochas apresentaram, ao menos em um momento de sua evolução, uma fase de recristalização estática. Além do ângulo formado pelos contatos destes cristais, são predominantes os limites retos a curvos, havendo a presença localizada de alguns contatos lobados.

Para realizar a interpretação de origem dos minerais, foram resumidas a seguir as formas de ocorrência dos sulfatos, sulfetos e óxidos presentes nas amostras. Estas informações também estão sintetizadas na tabela 1 para auxiliar na compreensão das futuras interpretações.

No corpo de minério principal, as duas formas de ocorrência de barita observadas foram: em agregados minerais, presente na forma de cristais de granulação predominantemente média; e na forma de cristais levemente alongados de granulação muito fina a fina que compõem os níveis baritíferos. Já a presença de sulfetos se dá na forma de cristais arredondados inclusos na barita; como cristais presentes no centro de óxidos de ferro; e também como cristais euédricos em meio aos níveis baritíferos. A ocorrência de óxido nestas amostras é determinada por cristais subédricos a euédricos com ausência do núcleo ou com sulfetos em seu centro, de granulação fina a média; e também por cristais anédricos de granulação muito fina.

Mineral	Granulação	Hábito	Forma de ocorrência	Observações
Barita-1	Média a grossa	Subédrico	Agregados minerais	Extinção ondulante, limites de 120°, contatos retos e curvos
Barita-2	Muito fina a fina	Subédrico	Levemente alongada	Extinção ondulante, rotação de subgrão, novo grão, <i>bulging</i> , limites de 120°, contatos retos a lobados
Magnetita-1	Fina a média	Subédrico a euédrico	Porfiros	Ocorrem em muitos casos sem o núcleo e localmente com pirita em seu centro.
Magnetita-2	Muito fina	Anédrico	Dispersa nos níveis de barita	-
Pirita-1	Muito fina	Subédrico	No centro de cristais de magnetita	-
Pirita-2	Muito fina	Euédrico	Em meio aos níveis baritíferos	-
Pirita-3	Inferior a 20 μm	Anédrico	Inclusão	Cristais arredondados com pequenas dimensões, inclusos na barita

Tabela 1: Síntese das formas de ocorrência dos sulfatos, sulfetos e óxidos principais, identificados na mineralização baritífera.

À intercalação dos níveis baritíferos com níveis ferruginosos e restritos níveis de sulfetos, interpreta-se uma variação do ambiente de geração da rocha. Esta variação possivelmente ocorreu de forma a transitar constantemente entre os domínios oxidantes e redutores, devendo-se considerar ainda, a influência de variações de pH na deposição do horizonte (Fig. 21). Apesar disto, a história evolutiva deste depósito deixou registros que permitem a interpretação de um ambiente muito mais complexo e com uma gama maior de variações na sedimentação.

A tentativa de classificar a temporalidade da geração da barita, disposta em agregados, e da barita com granulação mais fina, que define os níveis baritíferos, não foi satisfatória. Apesar dos cristais de granulação mais fina aparentarem maior orientação, não se sabe a resposta reológica aos esforços deformacionais que os agregados de barita podem ter. Além do fato de estes agregados possuírem leve orientação, semelhante aos cristais menores, e de ambos apresentam extinção

ondulante e recorrentes contatos que formam ângulos de 120°. Apesar da impossibilidade aparente de determinar a ordem cronológica de origem destes cristais, em estudos realizados em mineralizações baritíferas de origem hidrotermal nos Urais, Safina *et al.* (2015) relatam a presença de barita ocorrendo com formas e dimensões semelhantes às descritas. Para estes cristais, os autores interpretam os maiores (dispostos em agregados) como pertencentes à uma fase anterior aos cristais de menor dimensão.

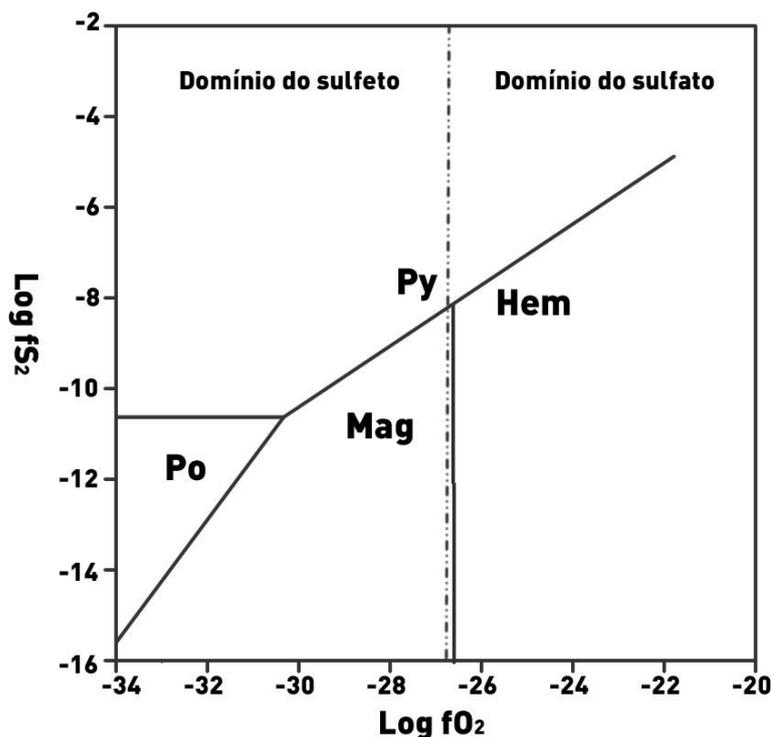


Figura 21: Diagrama referente aos campos de estabilidade de determinados minerais, considerando-se variações de fO_2 e fS_2 , em condições de 350 °C, pH=5 e com pressão de 270 bar. Adaptado de Davidson, 1992.

A origem do sulfeto apresenta grande complexidade, porém suas três formas de ocorrência (Tabela 1) permitem o levantamento de hipóteses acerca de sua origem. A primeira fase encontra-se parcialmente alterada, esta ocorre ainda como relictos de pirita no centro de cristais de magnetita. Apesar de serem encontrados localmente cristais de pirita no centro de óxidos de ferro, em geral os minerais ferruginosos apresentam ausência do núcleo, possivelmente decorrente da alteração de antigos sulfetos. À esta fase interpreta-se uma origem como cristais de pirita com maiores dimensões, os quais foram submetidos a mudanças do ambiente que passou de redutor para oxidante. Esta mudança de ambiente causou a substituição parcial da pirita em óxidos de ferro, a qual ocorreu das bordas para o centro. É

possível que a mudança da fase mineral, nos limites dos cristais, possa ter isolado o centro, (ainda formado por pirita) do fluido oxidante, permitindo sua permanência como sulfeto em casos restritos. Na maioria dos casos a ausência do núcleo destes cristais se configura como uma porosidade intracristalina.

A segunda fase de sulfetos foi atribuída aos cristais de pirita que ocorrem com formas euédricas em meio a barita. Apesar da origem destes sulfetos ser possível apenas em ambiente redutor, o mesmo apresenta contato direto com os cristais de barita. A terceira fase de sulfetos é representada pelos cristais de pirita que ocorrem na forma de inclusão em cristais de barita, estes apresentam origem em ambiente redutor, porém a mudança de meio, para oxidante, possibilitou a geração de barita que englobou estes cristais de pirita, causando o seu isolamento das condições do meio.

A presença de óxidos de ferro é representada por duas distintas formas de ocorrência (Tabela 1), uma delas presente em geral como porfiros, os quais ocasionalmente apresentam a ausência do núcleo ocorrendo dispersos em meio aos níveis baritíferos de granulação menor. Conforme anteriormente citado, a origem dos pórfiros deu-se pela substituição de cristais de pirita devido a mudança das condições do ambiente, posteriormente ocorrendo a martitização parcial dos cristais de magnetita. A sua interpretação como porfiroclastos se deve ao desvio da foliação observada no entorno dos cristais. Em uma outra fase, temporalmente próxima à de formação da barita que define os níveis, houve a geração de pequenos cristais de magnetita dispersos em meio a matriz.

A presença de níveis delgados de muscovita/sericita xistos em meio a mineralização baritífera foi interpretada como relacionada a uma origem sedimentar clástica, apesar de Andrade e Silva (1990) interpretar que uma grande variação do ambiente de sedimentação pós deposição do horizonte baritífero, seria a responsável pela sedimentação dos protólitos dos xistos e filitos que o sobrepõe.

Tratam-se de níveis contínuos e sua origem foi interpretada, assim como das muscovitas dispersas em meio à mineralização, como sendo decorrente de curtos intervalos de deposição clástica fina, que em alguns poucos momentos parece ter predominado sobre a sedimentação química da mineralização principal. Estes níveis micáceos definem uma foliação, e estão orientados de forma semelhante à dos cristais de barita, porém observou-se a presença pouco recorrente de muscovitas

inclusas em cristais de barita. À esta forma de ocorrência de micáceos, interpreta-se uma origem decorrente da recristalização da barita, a qual possibilitou o englobamento de cristais de muscovita.

5.3 Petrografia – Formação ferrífera bandada

Os estudos da formação ferrífera bandada permitiram identificar duas fases principais de magnetita presentes na amostra (Tabela 1), apesar de uma delas se expressar significativamente apenas na porção basal do horizonte ferruginoso. Em geral a amostra é formada pela intercalação de quartzo muito fino a fino com níveis de predomínio de óxidos de ferro.

O quartzo apresenta importantes feições deformacionais, indicativas de recristalização dinâmica, sendo identificadas: extinção ondulante, *bulging*, rotação de subgrão e geração de novo grão, assim como recorrentes contatos lobados. A presença de *bulging* em cristais de quartzo pode ser indicativo de que estes foram submetidos a temperaturas de aproximadamente 300 °C e a rotação de subgrão, é sugestiva de temperaturas superiores a 400 °C (Passchier e Trouw, 2005), superando o limite rúptil dos cristais. Os níveis quartzosos mais espessos, que ocorrem de forma oblíqua, são consideravelmente semelhantes aos demais níveis silicosos, tanto no que se refere a granulometria dos cristais quanto em feições deformacionais, conduzindo à interpretações de que sua origem seja possivelmente anterior aos eventos deformacionais aos quais o quartzo esteve submetido.

Conforme já citado, a ocorrência de magnetita se dá de duas formas distintas (Tabela 1). Uma delas representada por de cristais subédricos a euédricos em granulação fina a média e outra como cristais alongados de granulação muito fina. A segunda forma de ocorrência define uma foliação, a qual está presente de forma pervasiva, porém apenas na porção basal da formação ferrífera. Apesar de não serem identificadas feições que permitissem classificar as magnetitas quanto a temporalidade de origem, a presença de cristais de martita e de magnetita parcialmente martitizada, possibilitam o posicionamento das magnetitas subédricas a euédricas como anteriores aos cristais de martita. Esta com origem associada a processos de oxidação e recristalização mineral. Foi identificada ainda, a presença de limonita na amostra a qual define a fase final de alteração mineral, decorrente da

hidratação dos óxidos de ferro. Sua ocorrência se dá principalmente nas porções mais porosas da rocha.

6. Conclusões

As atividades, desenvolvidas em macro escala, permitiram o posicionamento da mineralização principal como alocada na porção superior da unidade intermediária da Formação Perau. Mais precisamente em meio a uma sequência de xistos, localizados sobre intercalações de mármore com xistos.

Além da compreensão do posicionamento litoestratigráfico do corpo mineralizado, foi possível caracterizar as rochas que fazem contato imediato com a sequência hospedeira das mineralizações. Abaixo destas rochas ocorrem metacherts e quartzitos muito finos, ambos com espessuras variáveis. Sobre a sequência que abriga as mineralizações foram identificados e descritos sericita filitos, sericita-quartzo filitos e quartzo-sericita filitos, ocorrendo em alguns casos delgados níveis carbonosos, estes observados também na sequência hospedeira.

A presença da antiforma regional denominada Água Clara apresenta clara importância na disposição geral das rochas, estando a mina de Água Clara localizada no flanco noroeste desta. Nas rochas próximas à sequência mineralizada, em especial nos filitos da unidade superior da Formação Perau, ocorre uma deformação mais intensa em relação aos filitos mais distantes da mineralização, sendo necessário ainda, estudos mais aprofundados para a compreensão da influência dos eventos deformacionais sobre as mineralizações.

Constatou-se que o horizonte mineralizado é composto por níveis baritíferos relativamente puros intercalados com níveis de óxi-hidróxido de ferro e de sulfetos de ferro, havendo o predomínio das porções de barita. A disposição destes é em geral paralelizada, com formas aproximadamente contínuas, não sendo rara a lenticularização das bandas.

Os estudos petrológicos permitiram a caracterização de duas formas de ocorrência da barita, ambas apresentando evidências de recristalização estática e dinâmica. Três formas de pirita foram identificadas, sendo duas anteriores à geração da barita e uma delas concomitante à sedimentação, com origem relacionada a variações do ambiente. Além disto, foi constatada a substituição de pirita em magnetita e também processos de martitização atuantes nos óxidos de ferro.

Em meio à mineralização principal, ocorrem cristais localizados de muscovita e em alguns casos definindo níveis, estando estes orientados segundo a intercalação dos sulfatos, sulfetos e óxidos. Sua presença sugere que houveram episódios de sedimentação clástica fina concomitantemente à precipitação química geradora da mineralização baritífera.

Sobre o corpo mineralizado ocorre um horizonte com cerca de 12 cm de formação ferrífera bandada (BIF), disposto de forma concordante às demais rochas das proximidades. Apesar dos contatos do BIF com os xistos serem abruptos, a base deste horizonte apresenta maior porosidade. Em lâmina foi possível observar que na porção basal do BIF ocorrem cristais alongados de magnetita orientados subparalelamente à intercalação dos níveis quartzosos/ferruginosos. Nos cristais de quartzo destas amostras, foram identificadas diversas feições deformacionais como: extinção ondulante, rotação de subgrão, geração de novo grão e *bulging*. Apesar do registro deformacional nos cristais de quartzo, na porção superior do BIF, a magnetita ocorre como cristais euédricos a subédricos sem qualquer evidência de deformação, apenas registrando ter passado pelo processo de martitização.

Por fim destaca-se a importância do estudo mais aprofundado dos horizontes mineralizados, tanto no que tange técnicas de análise mais avançadas como também no estudo mais apurado nas técnicas clássicas. Apesar de contínuas discussões e revisitações para avaliação do potencial econômico regional, no presente se faz importante a compreensão mais detalhada dos processos envolvidos tanto na gênese dos depósitos como também posteriormente à esta. Tendo em vista que as mineralizações não estiveram exclusas a todos os eventos deformacionais, registrados e tão bem estudados em suas rochas hospedeiras.

Referências

Almeida F.F.M. de. 1974. Fundamentos geológicos do relevo paulista. Instituto Geográfico e Geológico. São Paulo. 110pp.

Andrade e Silva A.C.G. 1990. A jazida de barita de Água Clara no âmbito do Precambriano do Vale do Ribeira, Estado do Paraná. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 204 pp.

Basei M. A., Siga Jr O., Machiavelli A., Mancini F. 1992. Evolução tectônica dos terrenos entre os Cinturões Ribeira e Dom Feliciano (PR-SC). *Brazilian Journal of Geology*, **22**:216-221.

Brumatti M., Almeida V. V. de, Rodrigues da Silva A. D., Turra B. B., Mapa F. B., Marques I. P., Campos F. F. de, Ferrar V. C. 2015. Integração Geológica e Avaliação do Potencial Mineral do Vale do Ribeira. ARIM Vale do Ribeira. Resumo expandido. SUREG-SP, 6pp.

Bucher K. Grapes R. 2011. *Petrogenesis of Metamorphic Rocks*. 8ed. Springer, London, 428 pp.

Campanha G.A.C., Faleiros F.M. 2005. Neoproterozoic terrane collage in the southern and central Ribeira Belt, Brazil. *Gondwana 12 Conference: Geological and Biological Heritage of Gondwana*, Mendoza, **1**:81-81.

Cury L.F., Kaulfuss G.A., Siga Jr. O., Basei M.A.S., Harara O.M., Sato K. 2002. Idades U-Pb (zircões) de 1.75 Ga em granitóides alcalinos deformados dos núcleos Betara e Tigre: Evidências de regimes extensionais do Estateriano na Faixa Apiaí. Série Científica, Departamento de Geologia, Universidade de São Paulo, **2**: 95-108.

Daitx E.C. 1996. Origem e evolução dos depósitos sulfetados tipo-Perau (Pb-Zn-Ag), com base nas Jazidas Canoas e Perau (Vale do Ribeira, PR). Tese de Doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 484 pp.

Davidson G. J. Hydrothermal geochemistry and ore genesis of sea-floor volcanogenic copper-bearing oxide ores. 1992. *Economic Geology*, **87**(3): 889-912,.

Faleiros F.M. 2008. Evolução dos terrenos tectono-metamórficos da Serrania do Ribeira e Planalto Alto Turvo (SP, PR). Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 306 pp.

Fiori A.P. 1992. Tectônica e estratigrafia do Grupo Açungui, PR. *Boletim Instituto de Geociências*, Série Científica, Universidade de São Paulo, São Paulo, **23**:55-74.

Fleischer, R. 1976. A pesquisa de chumbo no Brasil. *Anais do 29º Congresso Brasileiro de Geologia*, Ouro Preto, **3**:19-32.

Hasui Y. 1975. Evolução polifásica do precambriano a oeste de São Paulo. *Boletim Instituto de Geociências*, Série Científica, Universidade de São Paulo, São Paulo, **6**:95-108.

Kaulfuss G. A. 2001. Geocronologia dos núcleos de embasamento Setuva, Betara e Tigre, Norte de Curitiba, Paraná. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 115 pp.

Krauskopf K. B. 1972. *Introdução à geoquímica*, Editora da USP, São Paulo, 294pp.

Macedo A. B. 1986. Prospecção litogeoquímica na mina do Perau, Paraná. 1986. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2 vol. 162pp.

Passchier C.W., Trouw R.A.J. 2005. *Microtectonics*. 2ed. Springer, Berlin, 366 pp.

Prazeres Filho H.J. dos, Harara O.M.M., Basei M.A.S., Passarelli C.R., Siga Jr. O. 2003. Litoquímica, Geocronologia U-Pb e Geologia Isotópica (Sr-Nd-Pb) das Rochas graníticas dos Batólitos Cunhaporanga e Três Córregos na Porção Sul do Cinturão Ribeira, Estado do Paraná. Publicação Especial Geologia Universidade de São Paulo, São Paulo, **3**:51-70.

Paytan A., Mearon S., Cobb K., Kastner M. 2002. Origin of marine barite deposits: Sr and S isotope characterization. *Geology*, **30**(8):747-750.

Rodrigues da Silva A.D., Brumatti M., Caltabeloti F.P. 2015. Carta Geológica e dos recursos minerais da Formação Perau. São Paulo: CPRM, 2015, 1 mapa colorido, 158 x 66 cm. Escala 1:50.000.

Sadowski G.R. 1991. A megafalha de Cubatão no sudeste brasileiro. *Boletim Instituto de Geociências*, Universidade de São Paulo, Série Científica, **22**:15-28.

Safina N. P., Melekestseva I. Y., Nimis P., Ankusheva N. N., Yuminov A. M., Kotlyarov V. A., Sadykov S. A. 2016. Barite from the Saf'yanovka VMS deposit (Central Urals) and Semenov-1 and Semenov-3 hydrothermal sulfide fields (Mid-Atlantic Ridge): A comparative analysis of formation conditions. *Mineralium Deposita*, **51(4)**:491-507.

Silva C.R., Takahashi A.T., Chiodi Filho C., Batolla Jr. F. 1982. Geologia e mineralizações da região Perau-Água Clara, Vale do Ribeira, PR. *Anais do 32º Congresso Brasileiro Geologia*, Salvador, **3**:1024-1036.

Takahashi A.T., Chiodi Filho C., Silva C.R., Batolla Jr. F. 1981. Projeto Integração e Detalhe Geológico no Vale do Ribeira. Relatório Final Integração Geológica. Departamento Nacional de Produção Mineral /Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, São Paulo, v.1, 264 pp.

Takahashi A.T., Chiodi Filho C., Silva C.R., Batolla Jr. F. 1981. Projeto Integração e Detalhe Geológico no Vale do Ribeira. Relatório Final. Departamento Nacional de Produção Mineral /Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, São Paulo, v.12, 125 pp.