

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

ANTÔNIO JONATHAN DE MOURA LIMA

**Caracterização Petrográfica e Geológica das Ocorrências de Cu-Au Bom
Retiro, São Gabriel – RS**

CAÇAPAVA DO SUL

2017

ANTÔNIO JONATHAN DE MOURA LIMA

**Caracterização Petrográfica e Geológica das Ocorrências de Cu-Au Bom
Retiro, São Gabriel – RS**

Monografia de conclusão de curso apresentado ao programa de graduação em bacharelado em geologia da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em geologia do projeto elaborado pelo aluno graduando em Geologia, Antônio Jonathan de Moura Lima. Orientado e auxiliado pelo professor Dr. Maximilian Fries e Co-Orientador Professor Dr. Marcus Vinicius Dornelles Remus.

CAÇAPAVA DO SUL

2017

L732C Lima, Antônio Jonathan de Moura
Caracterização Petrográfica e Geológica das Ocorrências de
Cu-Au Bom Retiro, São Gabriel - RS / Antônio Jonathan de Moura
Lima.
71 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade
Federal do Pampa, GEOLOGIA, 2017.
"Orientação: Maximilian Fries".

1. Petrografia. 2. Bom Retiro. 3. Cu-Au. 4. Skarn. 5.
Paragênese Mineral. I. Título.

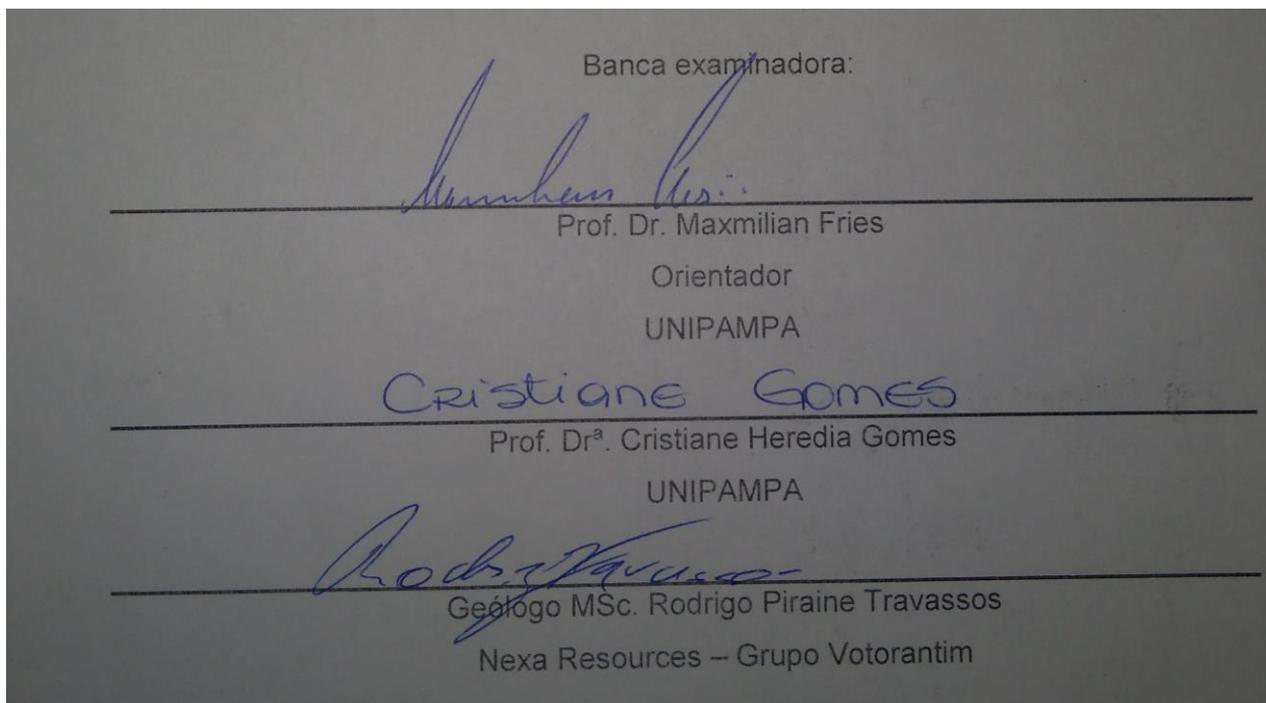
ANTÔNIO JONATHAN DE MOURA LIMA

Caracterização Petrográfica e Geológica das Ocorrências de Cu-Au Bom Retiro, São Gabriel – RS

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

Trabalho de Conclusão de Curso defendido em: 11 de dezembro de 2017

Banca examinadora:



Dedico este trabalho ao meu pai, Antônio, minha família e amigos, que sempre foram um grande pilar de apoio em todas as minhas conquistas.

AGRADECIMENTO

Primeiramente, agradeço ao meu pai, Antônio de Moura, por sempre acreditar no meu potencial e dar todo o apoio para que eu realizasse minha Graduação.

Ao Prof. Maximilian Fries, que desde o começo do curso me acompanha, me ajudando sempre que preciso, sendo mais que um Prof^o, um amigo.

Aos Geólogos e amigos Rodrigo Piraine Travassos e Marcelo T. Lindenberg por terem me ensinado tudo o que sei sobre exploração mineral e por terem me ajudado durante todo o projeto, pois sem eles este não seria possível.

A Prof.^a Cristiane Heredia Gomes por ter aceitado participar desta banca e por sempre se apresentar disponível para sanar minhas dúvidas e me ajudar em momentos de necessidade.

A todas as pessoas que, direta ou indiretamente contribuíram para a realização desta pesquisa e por todos os momentos vividos durante a graduação que me fizeram crescer não só no aspecto profissional, mas também, como indivíduo.

Aos meus amigos Gilberto R., Felipe, Rafael, Leandro, Aharon e Gilberto do Carmo que sempre me deram o mais importante de tudo, motivação e momentos inesquecíveis.

Agradeço também a minha companheira Amanda que sempre me apoiou e ajudou quando mais tive necessidade, nunca me deixando abater durante todo o percurso.

“A Sorte Favorece os Destemidos”.

Alexandre, O Grande

RESUMO

A região da Palma, São Gabriel – RS, é marcada por um amplo histórico de pesquisas em exploração mineral desde meados do século XVIII, mais especificamente na mina Bom Retiro que está atualmente desativada, na qual têm-se conhecimento de ocorrências de Cu-Au. Entretanto, até o presente trabalho, não havia sido descrita na literatura com viés metalogenético, sendo assim, fez-se importante caracterizá-la petrograficamente. Com a realização de mapeamento geológico de detalhe em conjunto com uma descrição petrográfica detalhada, na qual foi identificado minerais de granada e piroxênio e textura característica de escarnitos, foi possível defini-la como um escarnito cálcico, mineralizado em um processo hidrotermal retrógrado, e ainda tendo a possibilidade de ser um *overprint* para uma mineralogia de mais baixa temperatura de uma alteração potássica (comuns em sistemas Cu-pórfiro). Foi possível não apenas identificá-lo, como também, estabelecer uma relação entre a ocorrência e um escarnito mapeado a sudoeste. Sendo a Bom Retiro um Skarn rico em andradita com abundância de piroxênios e o Skarn a sudoeste rico em glossulária com ausência de piroxênios, marca não só uma zonação mineralógica composicional, mas também, diferenças quanto a posição da fonte geotérmica que os gerou, sendo possível traçar um vetor de gradiente geotérmico que aumenta em direção ao Skarn a sudoeste, sugerindo que este está mais próximo do corpo intrusivo. A zonação observada no presente estudo, em conjunto com as características da mineralização é similar ao do distrito mineiro de Cadia (AUS), no qual se tem um depósito Cu-pórfiro alcalino com uma série de Skarns em seu entorno, mostrando que a ocorrência Bom Retiro possui grande potencial para pórfiro alcalino.

Palavras Chave: Petrografia, Bom Retiro, Cu-Au, Skarn, Paragênese Mineral

ABSTRACT

The region of Palma, São Gabriel - RS, is marked by a wide history of research in mineral exploration since the middle of the eighteenth century, more specifically in the Bom Retiro mine that is currently deactivated, in which occurrences of Cu-Au. However, until the present work, it had not been described in the literature with metalogenetic bias, being, therefore, it became important to characterize it petrographically. With the accomplishment of detailed geological mapping together with a detailed petrographic description, in which garnet and pyroxene minerals and texture characteristic of escarnites were identified, it was possible to define it as a calcium escarnitic, mineralized in a retrograde hydrothermal process, and still having the possibility of being an overprint for a lower temperature mineralogy of a potassium alteration (common in Cu-porphyry systems). It was possible not only to identify it, but also to establish a relationship between the occurrence and a sketch mapped to the southwest. As Bom Retiro is a skarn rich in andradite with an abundance of pyroxenes and Skarn in the southwest rich in grossularia with absence of pyroxenes, it marks not only a compositional mineralogical zonation, but also, differences as to the position of the geothermal source that generated them, being possible to draw a vector of geothermal gradient that increases towards Skarn to the southwest, suggesting that it is closer to the intrusive body. The zonation observed in the present study, along with the characteristics of the mineralization is similar to that of the mining district of Cadia (AUS), in which there is an alkaline Cu-porphyry deposit with a series of Skarns in its surroundings, showing that the occurrence Bom Retiro has great potency for alkaline porphyry.

Key Words: Petrography, Bom Retiro, Cu-Au, Skarn, Mineral Paragenesis

LISTA DE ABREVIATURAS

Act – Actinolita

Adr - Andradita

Ab – Albita

Bo – Bornita

Bt – Biotita

Ca – Calcita

Cal – Carbonato

Cc – Calcocita

Chl – Clorita

Cpy – Calcopitita

Dy – Diopsídio

Ep – Epidoto

Fp – Feldspato

Glo – Glossulária

Gnt – Granada

Mt – Magnetita

OC-1 – Primeira ocorrência da Mina Bom Retiro

OC-2 – Segunda ocorrência da Mina Bom Retiro

OC-BR – Sigla adotada para as amostras coletadas na área de estuda

Py – Pirita

Qtz – Quartzo

Se – Sericita

SK – Skarn

Tm – Tremolita

SKP -Exoescarnito rico em glossulária

VNL I – Vênulação tipo I

VNL II – Vênulação tipo II

VNL III – Vênulação tipo III

VNL X – Vênulação tipo M

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	7
2 OBJETIVOS	8
3 JUSTIFICATIVA	8
4 LOCALIZAÇÃO	8
5 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL	10
6 CONCEITOS E DEFINIÇÕES	13
6.1 SKARNS	13
6.2 PÓRFIROS CUPRÍFEROS	22
7 MATERIAIS E MÉTODOS	29
7.1 PRÉ-CAMPO	29
7.2 CAMPO	29
7.3 PÓS-CAMPO	31
8 RESULTADOS	33
8.1 MAPA GEOLÓGICO DE DETALHE	33
8.2 PETROGRAFIA	38
9 DISCUSSÕES	49
9.1 MINERALIZAÇÃO BOM RETIRO	49
9.2 SKARN VERSUS MINERALIZAÇÃO BOM RETIRO	51
9.3 PARAGÊNESE MINERAL	55
9.4 GRADIENTE GEOTÉRMICO	59
10 CONCLUSÕES	62
REFERÊNCIAS	63

1 INTRODUÇÃO

Desde meados do século XVIII a região da campanha do Rio Grande do Sul (RS) é reconhecida pelas ocorrências de ouro e cobre explorados, até então, de forma primitiva e rudimentar desde o final do século XIX.

No início do século XX, empresas Belgas e Inglesas passaram a atuar na região, lavrando depósitos como Minas do Camaquã (Cu-Au), Butiá (Au), Cerrito do Ouro (Au) e outros menores, dentre eles, uma pequena lavra em cascalhos aluvionares na Região da Palma, próximo a cabeceira do Arroio Vacacaí (AMAZÔNIA, 2008).

Quase um século depois, a presença da lavra na região da Palma, São Gabriel - RS, chamou a atenção de alguns fazendeiros locais, que montaram garimpos manuais (com maquinário rudimentar), os quais chegaram a retirar pepitas de vários gramas e identificar rochas mineralizadas contendo calcopirita, pirita, malaquita, azurita, entre outros.

Com o amplo histórico de mineração esporádica na região e ocorrências, tanto na mina da Palma – Bom Retiro (antiga lavra de ouro), quanto na Mina Ibaré (Mina de Mármore, já caracterizada como Skarn, pertencente a Votorantim Cimentos S.A), existe a presença de sulfetos como pirita, calcocita e calcopirita, além de ouro livre e outros minerais, demonstrando grande potencial metalogenético passível de ser estudado com enfoque prospectivo de forma acurada.

A região também foi alvo de campanhas exploratórias regionais e de detalhe por diversas empresas, sendo estas: Companhia Brasileira do Cobre da década de 70 a 90; Amazônia Mineração Ltda de 2000 a 2004; Mineração Santa Elina de 2004 a 2008; e Mineração Terra Santa Ltda de 2004 a 2008. Por estas fora realizado amostragem de sedimentos de corrente, mapeamentos geológicos regionais e de detalhe, abertura de trincheiras e sondagens.

Com este amplo histórico em exploração mineral na região, é surpreendente que na literatura nunca houve um estudo acurado com viés metalogenético no meio acadêmico na área da mina Bom Retiro, sendo assim, neste trabalho, pretende-se realizar um mapeamento geológico sistemático de detalhe e uma caracterização petrográfica da mineralização, culminando com uma interpretação petrológica das relações entre a alteração hidrotermal e as ocorrências de minério.

2 OBJETIVOS

O objetivo principal deste estudo consiste em caracterizar as assembleias minerais do minério, sua respectiva paragênese, as alterações hidrotermais a estas associadas e as litologias encaixantes ao longo da Mina Bom Retiro.

Especificamente, pretende-se:

- I. Realizar uma caracterização petrográfica da mineralização (identificação das associações minerais, texturas e estruturas, protólitos, definição das fácies metamórficas e dos tipos de zonas de alterações hidrotermais), culminando com uma interpretação petrológica das relações entre a alteração hidrotermal e as ocorrências de minério;
- II. Definir a paragênese mineral;
- III. Definir um gradiente geotérmico;
- IV. Identificar depósitos similares a ocorrência.

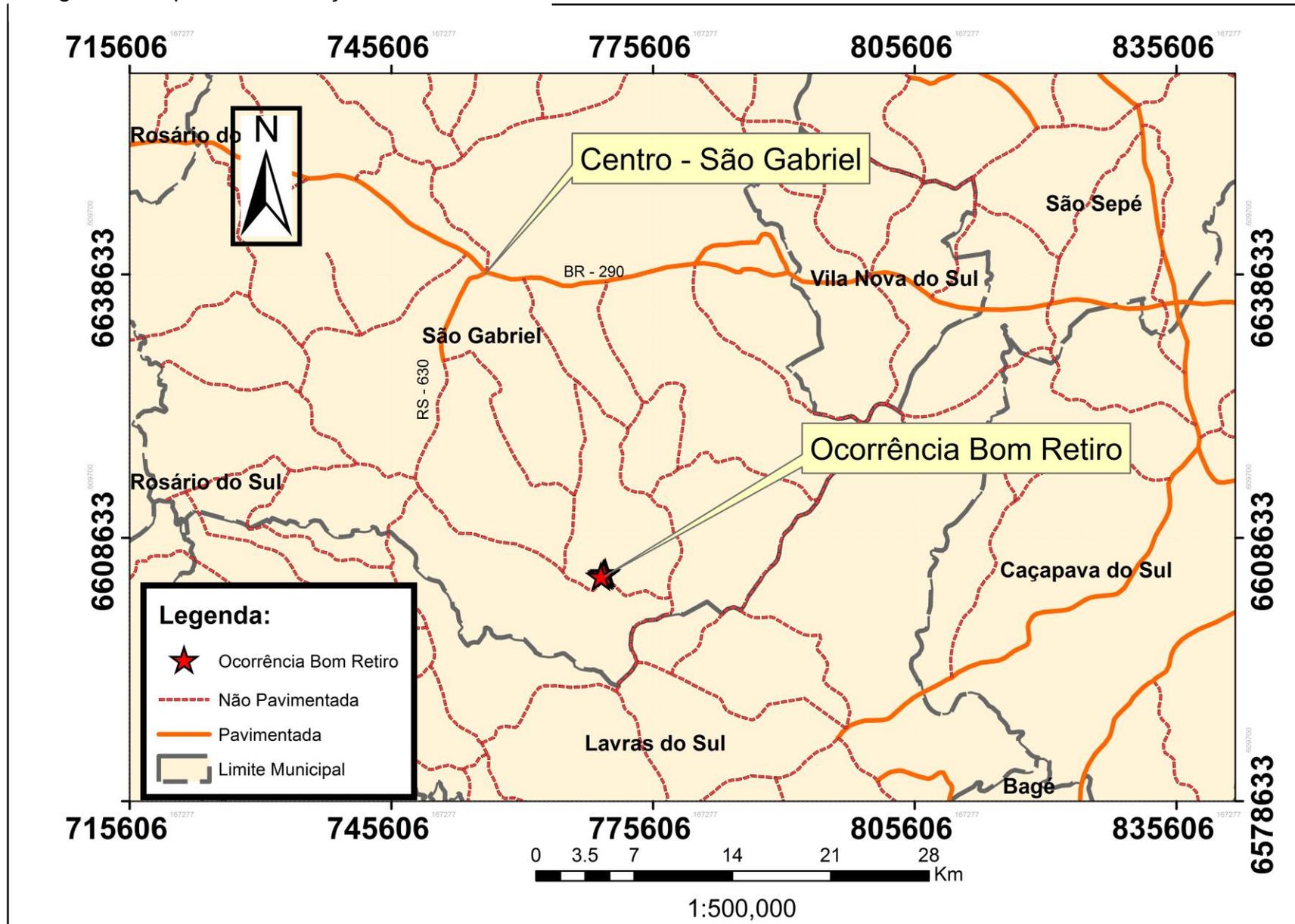
3 JUSTIFICATIVA

Justifica-se este trabalho para uma melhor compreensão petrogenética da ocorrência de Cu-Au na mina Bom Retiro, até então, pouco conhecida na bibliografia, para assim trazer um maior conhecimento na área como sua relação espacial com a rocha encaixante, a paragênese mineral, e se há potencial metalogenético para outros depósitos na região.

4 LOCALIZAÇÃO

A área de estudo está localizada a Sul-Sudeste do município de São Gabriel, mais especificamente na Vila da Palma. O acesso a área de estudo, a partir de São Gabriel, se dá pela RS-630 em direção a Sul, entrando em estrada vicinal a Leste após 25 Km (figura 1)

Figura 1: Mapa de Localização.



Fonte: autor

5 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

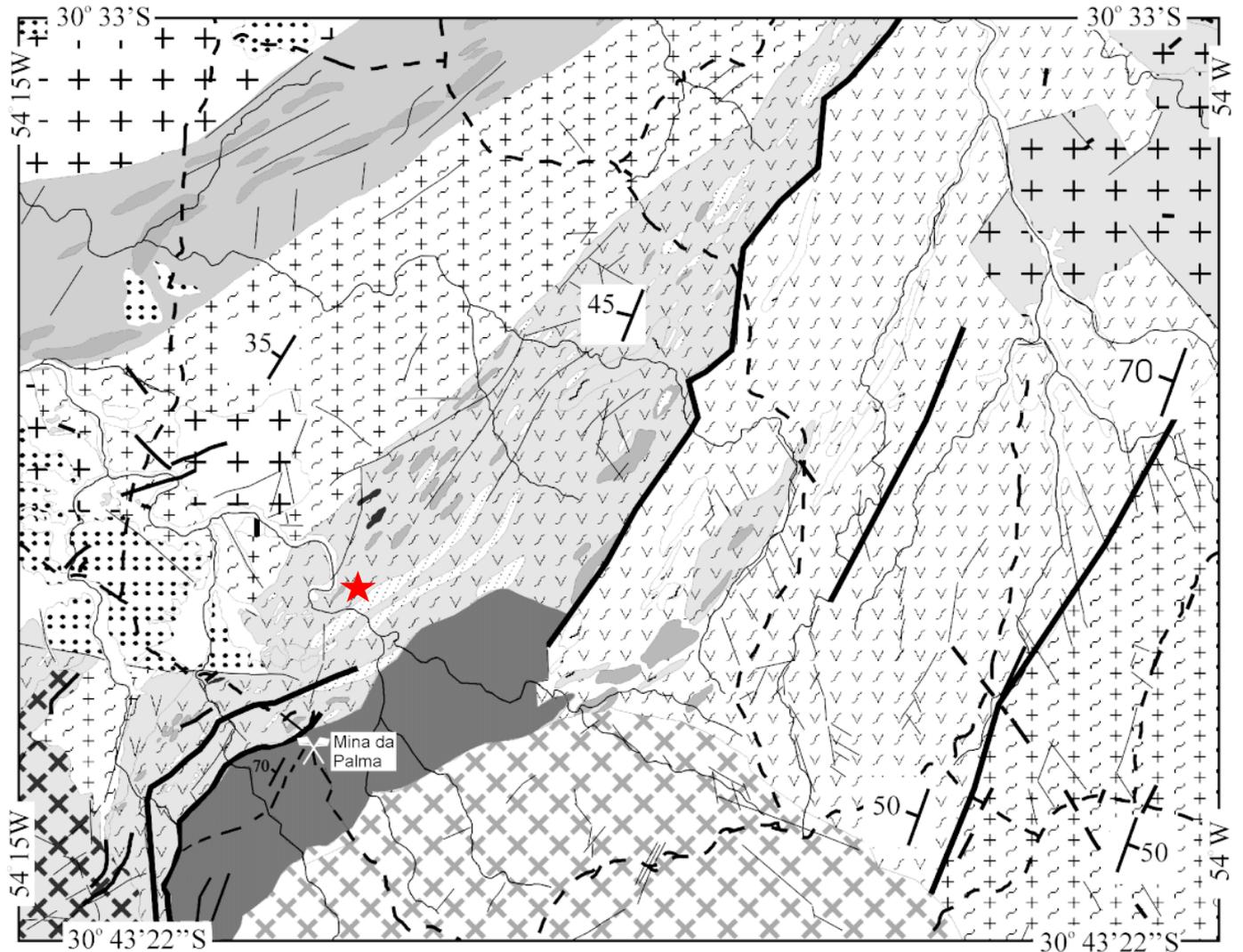
O Escudo Sul-Riograndense faz parte do Supercontinente Gondwana e contém associações petrotectônicas que variam de arqueanas a neoproterozóicas. O Escudo Sul-Riograndense pode ser dividido em quatro unidades geotectônicas principais, de oeste para leste (HARTMANN *et al.*, 2007): Terreno Taquarembó. Terreno São Gabriel, Terreno Tijucas e Batólito de Pelotas, ainda tendo a porção central recoberta pela bacia do Camaquã.

As ocorrências estudadas neste trabalho estão situadas no Terreno São Gabriel que está limitado ao sul pelo Terreno Taquarembó, à noroeste e oeste é coberto pelas deposições fanerozóicas da Bacia do Paraná e a leste está em contato com o Terreno Tijucas. Nesta região afloram o Complexo Cambaí, Formações Cerro do Ouro, Campestre e Cambaizinho, Granitos São Manoel, Santa Zélia, Santa Rita e Jaguari, rochas sedimentares da bacia do Paraná e sedimentos quaternários (figura 2b).

O Complexo Cambaí é composto na região da Palma por gnaisses tonalíticos e granodioríticos de granulação fina a grossa com septos de anfíbolitos. Na região do Arroio Cambaizinho, situada mais a norte, foram identificadas a presença de injeções graníticas na forma de lâminas, apófises e veios (“migmatitos de injeção”), que intrudem as sequências supracrustais (REMUS, 1990).

A Formação Cambaizinho representa a sequência supracrustal e é constituída predominantemente por orto e paragneisses quartzo-feldspáticos, xistos magnesianos, serpentinitos e anfíbolitos (REMUS, 1990; HARTMANN *et al.*, 2000b). Os protólitos desta formação consistem de uma sequência areno-pelítica carbonatada, intercalada com vulcano-clásticas metamorfisadas na fácies anfíbolito. A sequência foi intrudida por diversos corpos graníticos sin a pós-tectônicos que afetaram toda a região.

Figura 2: Mapa geológico da Região da Palma com localização da Mina da Ibaré e Bom Retiro em vermelho.



Legenda

- Sedimentos quaternários
- Bacia do Paraná
- Granito Jaguari
- Granito Santa Rita
- Granitos sin-tectônicos
- Granito Santa Zélia
- Granito São Manoel
- Formação Cambaizinho
- xistos magnesianos, serpentinitos e anfibolitos
- Gnaisses
- Formação Campestre
- Metandesitos com metapelitos
- Formação Cerro do Ouro
- Quartzitos
- Serpentinitos
- Anfibolitos e xistos magnesianos
- Metabasaltos e metandesitos
- Complexo Cambaí
- Tonalitos, granodioritos, anfibolitos e rochas ultramáficas



- Convenções
- Drenagem
 - Estrada
 - Zona de cisalhamento
 - Foliação
 - Mina

b

A Formação Campestre segundo Bitencourt *et al.* (1996) é composta por meta-andesitos e metapelitos interdigitados com direção NE – SW, com mergulho médio a baixo.

A Formação Cerro do Ouro foi mapeada por Bitencourt *et al.* (1996) e é composta essencialmente por anfibólitos, xistos magnesianos, serpentinitos, metabasaltos e metabasaltos andesíticos (estes associados a lentes de mármore e metacherts). Os metabasaltos e metabasaltos andesíticos pela sua geoquímica tiveram origem a partir de protólitos ígneos toleíticos transicionais para alcalinos, com características geoquímicas de magma intraplaca (LOPES e HARTMANN, 2003).

Esta associação de rochas (metabasaltos, metabasaltos andesíticos, mármore e metacherts) foram definidas por Lopes e Hartmann (2003) como um platô oceânico, mesclado tectonicamente com rochas de arco de ilhas, identificado principalmente pela associação geológica com mármore e metacherts, homogeneidade composicional e composição química dos metabasaltos, com destaque para ausência de assinatura de litosfera continental devido à falta de anomalia negativa de Nb.

O Granito Santa Rita (CHEMALE JR., 1982) consiste em um batólito composto por monzogranitos, por vezes granodioritos, de granulação grosseira e estruturalmente isótropos. Se dispõe ao lineamento de Ibaré encaixando-se aos metamorfitos do complexo metamórfico Palma, Ibaré e Cambaí, e apresenta contato tectônico com o granito Jaguari.

A isotropia desta unidade é obliterada junto a zonas de falha, tanto na borda nordeste quanto na borda sudoeste, onde desenvolveu de maneira incipiente foliação de direção noroeste. Dados isotópicos Rb-Sr, obtidos por Naumann (1985), forneceram uma idade de 646 ± 52 Ma. A razão $87\text{Sr}/86\text{Sr}$ é da ordem de 0,705, o que indica uma proximidade com a composição do manto primitivo (SOLIANI *et al.*, 2000).

O Granito São Manoel e Santa Zélia (SAALMANN *et al.*, 2005 b) são de composição diorítica a granítica com texturas que variam de isotrópicas a miloníticas, os quais apresentam idades modelo, por isótopos de Nd, de aproximadamente 1,4 Ga, fazendo parte dos granitos sin-tectônicos.

O Granito Jaguari, ao sul da Região da Palma, está incluído no grupo de granitóides alcalinos e cálcio-alcalinos alto K pós tectônicos, possuindo idades entre 565-540 Ma (isócrona Rb-Sr, GASTAL *et al.*, 1992). Este corpo granítico tem forma arredondada e aproximadamente 20 Km de diâmetro (GASTAL *et al.*, 1992).

De forma genérica, a região apresenta unidades tectono-estratigráficas resultantes de tectônica de empurrão e transcorrente dextral, constituídas por rochas neoproterozóicas com assinatura isotópica juvenil e lascas de corpos paleoproterozóicos. Foram geradas em ambientes tectônicos distintos, porém colocadas lado a lado, como é observado em prismas acrescionários mesocenozóicos (CHEMALE JR., 1995).

6 CONCEITOS E DEFINIÇÕES

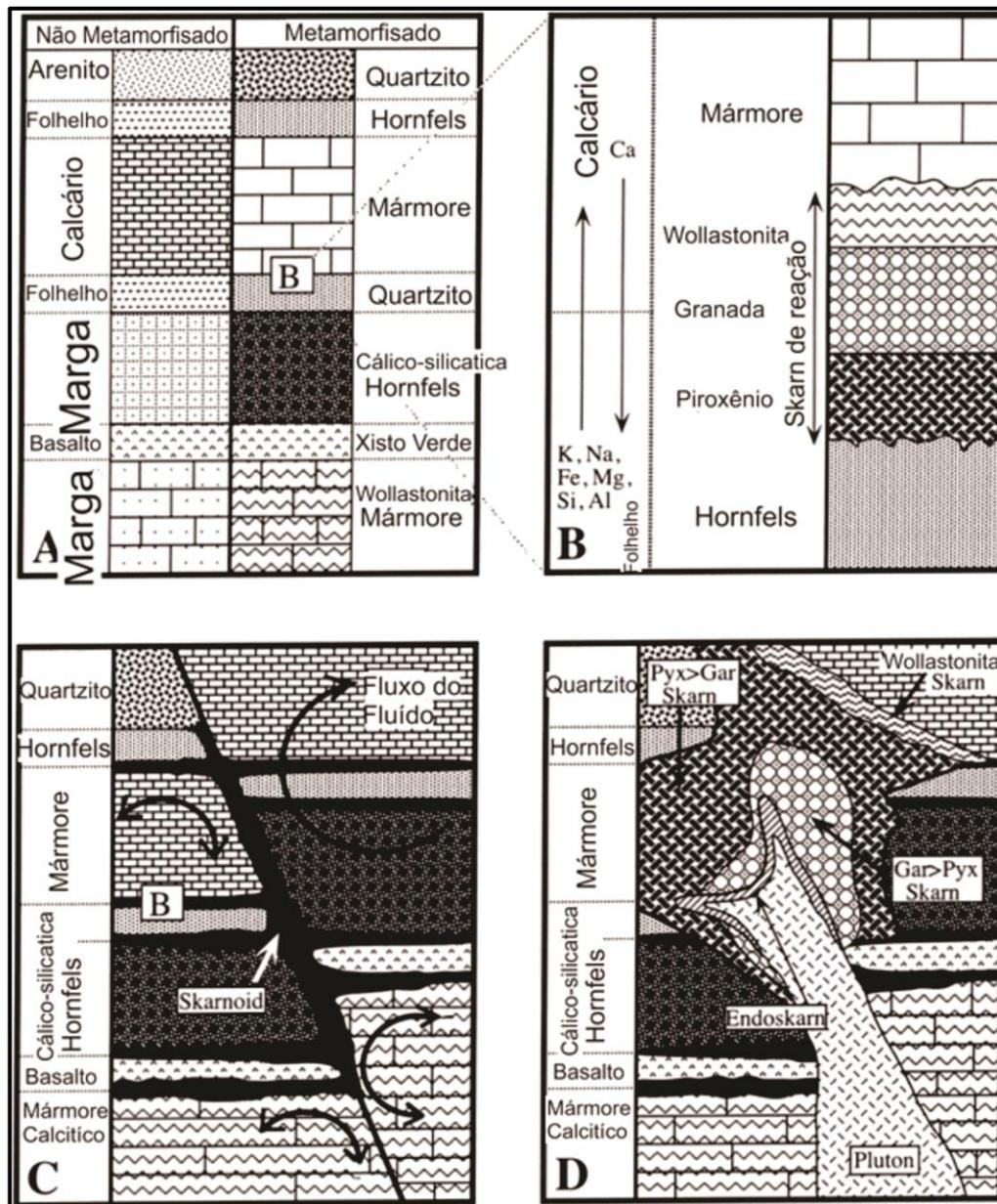
Para melhor entendimento deste trabalho segue uma breve revisão de definições e conceitos sobre depósitos magmáticos e hidrotermais assim como gênese, ambiente geotectônico, mineralogia de minério e alterações hidrotermais associadas.

6.1 SKARNS

Os escarnitos (*skarns*, *tactites*) são rochas constituídas por silicatos de ferro, cálcio, magnésio e manganês, formadas por metassomatismo envolvendo fluidos de origem magmática (principal), metamórfica, meteórica e/ou marinha (menos comum) e rochas de composição química contrastante, como rochas carbonáticas, por exemplo. Esse processo comumente ocorre associado a metamorfismo de contato e por vezes a metamorfismo regional. São rochas encontradas adjacentes a plútons, ao longo de falhas, zonas de cisalhamento, sistemas geotermiais rasos, no topo do assoalho oceânico ou em terrenos metamórficos na crosta inferior (MEINERT, 2005; figura 3).

O que define uma rocha como escarnito é a sua mineralogia, que inclui uma ampla variedade de minerais cálcio-silicáticos, mas comumente dominada por granadas e piroxênios e a relação entre a rocha hospedeira e a rocha intrusiva (MEINERT, 1992). Apesar das informações fornecidas pelos escarnitos, sua presença não define o ambiente geotectônico ou uma composição específica do protólito.

Figura 3: (a) Modelo estratigráfico com ocorrência de Skarn; (b) Modelo de Escarnito de Reação; (c) Modelo de Escarnitoíde; (d) Modelo de Endoskarn.



Fonte: Traduzido de Meinert, 2005.

Entretanto, o seu desenvolvimento indica que a combinação de temperatura, pressão, composição da rocha hospedeira e fluido estão no intervalo de equilíbrio dos minerais identificados.

São rochas economicamente importantes, pois são exploradas para uma vasta gama de elementos como ferro, cobre, ouro, prata, estanho, zinco, molibdênio, tungstênio, urânio, flúor, boro e elementos terras-raras. Não são todos os escarnitos que são mineralizados economicamente, ou seja, que podem ser chamados de depósitos, pois não possuem teor suficiente para ser economicamente explorável. Os

escarnitos ocorrem em todos os continentes e em rochas de praticamente todas as idades.

Apesar de serem encontrados, principalmente, em rochas carbonáticas em contato com rochas ígneas intrusivas, podem ocorrer, também, em outras litologias como arenitos, folhelhos, granitos, basaltos, komatiitos, e entre outras. Os escarnitos não devem ser confundidos com cornubianitos calcicosilicáticos, pois enquanto que essas rochas são relativamente homogêneas formadas por metamorfismo isoquímico (exceto por desvolatilização) de rochas carbonáticas impuras. Escarnitos são rochas calcico-silicáticas formadas a partir de infiltração e difusão de fluidos metassomáticos transportando componentes exóticos para carbonatos relativamente puros.

Escarnito de reação (*reaction skarn*), é um tipo específico de escarnito que se forma a partir de metamorfismo isoquímico de sequências sedimentares com intercalações de camadas finas de folhelhos e carbonatos onde a transferência metassomática de elementos ocorre em pequena escala (centímetros). Também são descritas como pequenas zonas silicáticas desenvolvidas por difusão local entre rochas quimicamente incompatíveis (BURT, 1977), por exemplo, sucessivas franjas de tefroita (Mn_2SiO_4) e rodonita ($MnSiO_3$) formada entre camadas de rodocrosita ($MnCO_3$) e chert (SiO_2) durante o metamorfismo de contato (WATANABE *et al.*, 1970), conforme figura 3c.

Escarnitoide (*skarnoid*) é o termo empregado para rochas que se assemelham a escarnitos de origem incerta ou complexa, comumente envolvendo alteração de carbonatos impuros, transformação de escarnitos em cornubianitos ou escarnitos de reação ou homogeneização em larga escala de litologias distintas (escarnitos de reação de larga escala). Geneticamente, os escarnitoides são rochas entre cornubianitos puramente metamórficos e escarnitos de granulação grossa puramente metassomáticos (figura 3c).

Escarnitos de substituição (*replacement skarns, ore skarns*) são extensivas substituições de rochas carbonáticas e rochas adjacentes por silicatos causada por grande volume de infiltração de fluidos que estão fora do equilíbrio com as rochas hospedeiras (BURT, 1977). Apesar de, gradativamente, se tornarem escarnitos de reação, os escarnitos de substituição são relativamente grandes e muitos são visados

para extração de Fe, Cu, Zn, W e outros metais. Kwak (1994) define esse tipo de escarnito como escarnito de minério.

Endoescarnitos e **exoescarnitos** são termos comuns utilizados para indicar o protólito ígneo ou sedimentar, respectivamente. **Endoescarnitos** (*endoskarms*) são escarnitos que estão localizados na rocha não-carbonática envolvida na reação. Em geral, são os escarnitos que estão nos granitoides, aluminosos, ricos em epidoto ou grossulária, geralmente de volume limitado (figura 3d). **Exoescarnitos** (*exoskarms*) são os escarnitos que substituem as rochas carbonáticas. Eles substituem metadolomitos e tendem a ser ricos em Mg, da mesma maneira que exoescarnitos que substituem calcários ou mármore calcíticos tendem a ser ricos em Ca, Fe e localmente, Mn (BURT, 1977).

Escarnitos de contato (*contact skarns, metamorphic skarns*) são aqueles formados exatamente entre a rocha hospedeira e a rocha intrusiva, comumente de espessura limitada de centímetros a dezenas de centímetros. Os termos magnesiano ou cálcico comumente são adicionados ao nome para determinar a composição predominante do protólito e do escarnito formado. Kwak (1994) chama este tipo de escarnito de "escarnito metamórfico" e afirma que em geral é de escala de milímetros a centímetros, ocorrendo principalmente em contatos litológicos e, geralmente, é concordante com o acamamento das rochas hospedeiras.

6.1.1 Mineralogia dos escarnitos

A identificação e classificação de depósitos escarníticos são baseadas na sua mineralogia. Mesmo que alguns minerais sejam típicos formadores de rocha, alguns são menos abundantes e a maioria possui variações composicionais que carregam informações importantes sobre o ambiente de formação da rocha. Minerais como o quartzo e a calcita, estão presentes em praticamente todos os escarnitos. Outros como humita, periclásio, flogopita, talco, serpentina e brucita são típicos de escarnitos magnesianos (MEINERT, 2005).

Nos escarnitos cálcicos predominam as granadas (grossulária e/ou andradita principalmente) e wollastonita. Existem muitos minerais com estanho, boro, berílio ou flúor na sua estrutura cristalina que são restritos, mas são paragêneses localmente importantes. Técnicas analíticas modernas, particularmente, a microsonda

eletrônica, tornam relativamente fáceis a determinação precisa da composição dos minerais e, assim, os nomes específicos (MEINERT, 2005).

A série de piroxênios envolve várias composições e nomes específicos. Infelizmente é comum na literatura utilizar somente os nomes dos termos finais das séries, tal como diopsídio, quando só o que se sabe é, somente, que se trata de um piroxênio (MEINERT, 2005).

Os minerais mais úteis para determinação do tipo de depósito escarnítico utilizados são aqueles que estão presentes na maioria dos escarnitos e possuem ampla variedade composicional, como as granadas, anfibólios e piroxênios. Assim como é importante reconhecer e distinguir minerais escarníticos, é importante entender a sua origem e saber diferenciar entre os que são relevantes do ponto de vista econômico daqueles que são interessantes cientificamente, porém, sem importância econômica (MEINERT, 2005).

Como a maioria dos depósitos escarníticos são zonados, o reconhecimento de feições de alteração distais é importante em estágios iniciais de exploração. Zonações temporais e espaciais ocorrem em escarnitos e na maioria, existe um padrão de zonação com granadas proximais, piroxênios distais e wollastonita (ou outro piroxenóide como vesuvianita, bustamita ou rodonita) no contato entre o escarnito e o mármore. Além disso, minerais escarníticos podem demonstrar zonações na sua composição, e até mudança de coloração ao longo de um padrão de zonação maior. As granadas tendem a ser marrom vermelho escuro em porções proximais se tornando mais claras em ocorrências mais distais, tornando-se verde claro próximos ao contato com o mármore (MEINERT, 2005).

A diferença na cor nos piroxênios é menos pronunciada, mas demonstra um aumento no teor de ferro e/ou manganês em direção ao mármore. Para alguns sistemas escarníticos os padrões de zonação podem ser extrapolados e podem servir de guia para exploração (MEINERT, 1992). Minerais de metamorfismo retrógrado, como epidoto, anfibólios, clorita e outros minerais hidratados, são tipicamente controlados estruturalmente e sobrepõe a sequência de zonação progressiva.

Entretanto, comumente encontram-se minerais hidratados ao longo de falhas e contatos estratigráficos ou intrusivos. Esta sobreposição pode dificultar a discriminação da sequência de zonação progressiva de um fluido metassomático. Normalmente alteração retrograda é mais intensa e pervasiva em baixas profundidades em sistemas *Skarns*, porém, também é importante salientar que nem sempre os minerais hidratados representam alteração retrógrada (MEINERT, 2005).

Escarnitos magnesianos desenvolvem-se tanto em estágios magmáticos como pós-magmáticos. São tipicamente de alta temperatura contendo forsterita, diopsídio, espinélio, periclásio, clinohumita, flogopita e pargasita, e são formados no contato de rochas magmáticas com rochas carbonáticas cálcio-magnesianas ou magnesianas. Tipicamente hospedam minérios de ferro, metais base, ouro, boratos de Fe-Mg e flogopita (MEINERT, 2005).

Escarnitos calcíticos são tipicamente de temperatura média a alta e consistem principalmente de granada grossulária, diopsídio (salita, ferrosalita ou johannsenita), wollastonita, vesuvianita, rodonita, bustamita, epidoto, escapolita e plagioclásio, sendo este tipo formado no contato de rochas magmáticas com rochas carbonáticas cálcicas. Comumente hospedam minério de ferro, metais base, tungstênio, molibdênio, berílio, boro, urânio e elementos terras raras. Praticamente todos os escarnitos calcíticos ocorrem no estágio pós-magmático. (MEINERT, 2005).

6.1.2 Profundidade de formação dos escarnitos

Um dos controles fundamentais do tamanho, geometria e padrão de alteração dos escarnitos é a profundidade de formação do corpo escarnítico. Estudos quantitativos geobarométricos utilizam, tipicamente, equilíbrio mineral (NICOLESC & CORNELL, 1999), inclusões fluidas (GUY *et al.*, 1988) ou uma combinação desses métodos (HAMES *et al.*, 1989) para estimar a profundidade do metamorfismo. Métodos qualitativos incluem reconstruções estratigráficas ou outras reconstruções geológicas e interpretações de texturas ígneas.

Observações simples de margens resfriadas, morfologia de plútons, tamanho de pórfiros, presença de brechação e fraturas permitem distinguir entre ambientes mais rasos ou mais profundos (figura 4). No que se trata da temperatura de formação das rochas, assume-se um gradiente geotermal médio de aproximadamente 35°C/km (MEINERT, 2005), desse modo, a temperatura das rochas intrudidas a 2 km de profundidade seria de 70 °C, já a 12 km seria de 420 °C.

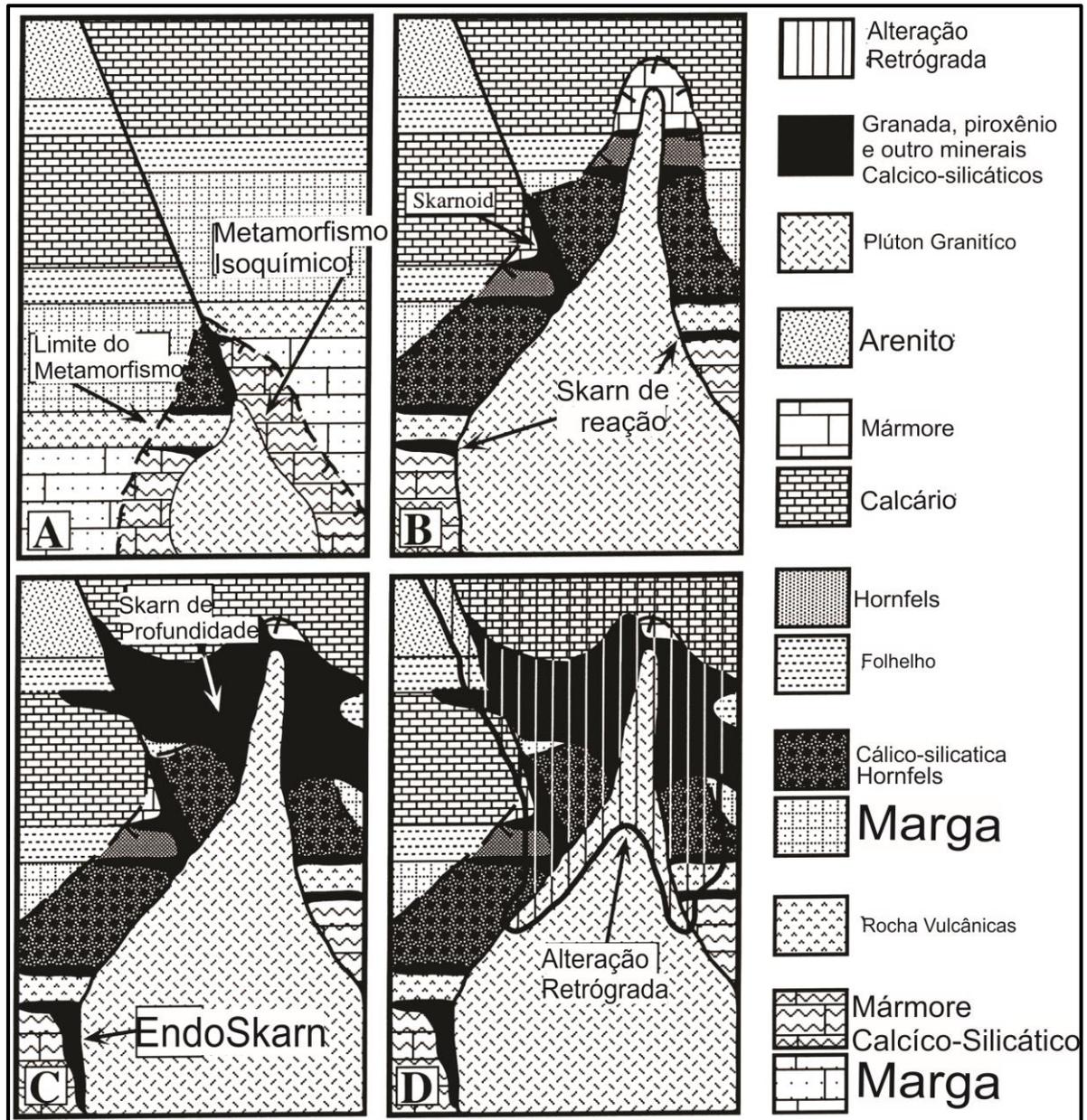
Além disso, com o fluxo de calor proveniente da intrusão, o volume de rocha afetado por temperaturas entre 400 e 700 °C seria consideravelmente maior, e os efeitos mais prolongados, quando a intrusão ocorre em uma profundidade maior que

em sistemas mais rasos. Entretanto, ambientes de mais alta temperatura afetam a história de cristalização de um plúton e minimizam a quantidade de minerais escarníticos de alteração (metarmorfismo retrógrado; figura 4d).

A uma profundidade de 12 km, com temperatura ambiente de aproximadamente 400 °C, o escarnito pode não resfriar abaixo da zona de estabilidade da granada e do piroxênio, se não houver soerguimento ou outras mudanças tectônicas. A profundidade de formação dos escarnitos também afeta as propriedades mecânicas das rochas hospedeiras (MEINERT, 2005).

Em ambientes mais profundos, as rochas tendem a ter deformação dúctil ao invés de rúptil. Contatos intrusivos com rochas sedimentares em profundidade tendem a ser sub-paralelos ao acamamento, o plúton intrude ao longo de planos de acamamento ou as rochas sedimentares dobram-se ou fluem até que estejam alinhadas com o contato intrusivo. Em contraste, as rochas hospedeiras em sistemas mais rasos tendem a deformar-se formando fraturas ou falhas ao invés de dobras. Nesses casos, em geral, os contatos são discordantes ao acamamento e os escarnitos cortam o mesmo (MEINERT, 2005). O forte fraturamento hidráulico que ocorre em sistemas mais rasos aumenta a permeabilidade das rochas hospedeiras não só para os fluidos ígneos, mas também para fluidos posteriores, como água meteórica, por exemplo.

Figura 4: (a – d) Evolução da gênese de um sistema tipo Skarn.



Fonte: Traduzido de Meinert, 2005.

O influxo de água meteórica e subsequente alteração da mineralogia escarnítica existente, e é uma das características dos escarnitos formados em ambientes rasos.

6.1.2 Ambiente Geotectônico

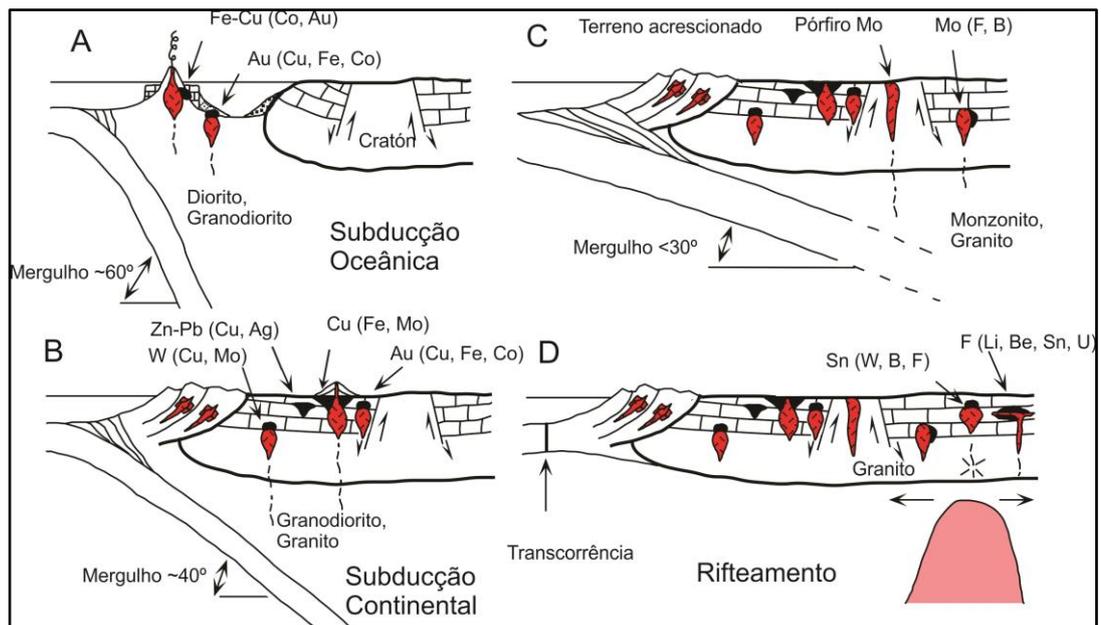
Sistemas *Skarns* podem se desenvolver em diferentes tipos de ambientes geotectônicos. Este influencia de forma direta no tipo de depósito de Skarn (MEINERT, 2005; figura 5).

Em zonas de subdução de alto ângulo em arco de ilhas, geralmente, formam-se depósitos de Cu-Fe *Skarns* (praticamente o único tipo de Skarn a se formar em

ambientes de Arcos Oceânicos), com associação a depósitos Au-Skarns em bacias de *Back-Arc* (MEINERT, 2005 – figura 5a). Algumas características importantes que definem estes *Skarns*, além da sua associação com magmas mais evoluídos e plútons gabróticos a dioríticos, é a abundância de EndoSkarns, metassomatismo generalizado do Na e ausência de Sn e Pb (MEINERT, 2005).

Em zonas de subducção de médio a alto ângulo continental podem ser encontrados a maior variedade de *Skarns*, em sua maioria descritos como poli metálicos (Zn-Pb; Cu; Cu-Au; Au; W; Mo) associados a plútons graníticos a dioríticos (figura 5b). Os metais base destes, podem variar em função da composição magmática do plúton e da composição da rocha encaixante (MEINERT, 2005). *Skarns* associados a este ambiente geotectônico podem ter associação com sistemas pórfiros, como no caso de depósito de Cadia, Austrália (FOSTER, *et al.*, 2004).

Figura 5: Ambientes Geotectônicos de formação de Skarn.



Fonte: Traduzido de Meinert, 2005.

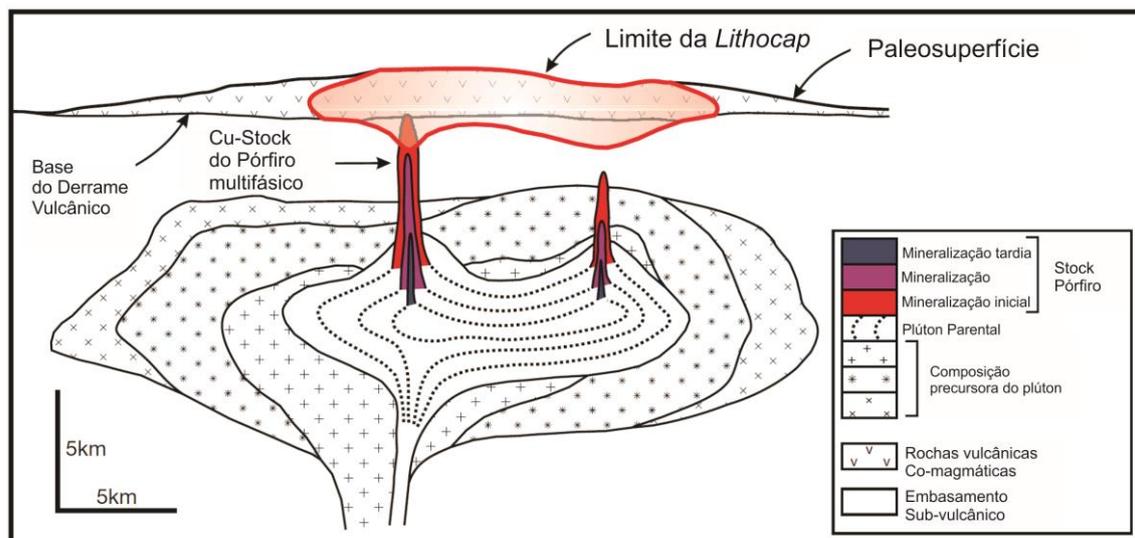
Há também *Skarns* de ambientes do tipo Rift (MEINERT, 2005) associados a magmatismo do tipo S de plútons graníticos, geralmente com composição rica em muscovita primária, biotita, quartzo granular e com radioatividade anômala. São geralmente ricos em Sn e/ou F, embora possam ter presentes outros elementos de importância econômica em conjunto (figura 5d).

6.2 PÓRFIROS CUPRÍFEROS

Os sistemas de Pórfiro Cuprífero são definidos como grandes volumes (10-> 100 Km³) de rocha com alteração hidrotermal e uma concentração significativa de cobre, ouro e molibdênio centrada em um Cu-Pórfiro (SILLITOE, 2010). São mais comuns em ambientes de arcos continentais e oceânicos do Terciário e do Quaternário (COOKE, *et al.*, 2005), mas também, existem casos desses sistemas em dobramentos antigos.

Os depósitos são caracterizados por ter mineralização de baixo teor de Cu, Au e Mo desenvolvido dentro e/ou ao redor de um complexo intrusivo porfirítico, tendo como uma das suas características principais zonas de *stockwork* mineralizadas (SILLITOE, 2010 – Figura 6). Brechas hidrotermais também são comuns nestes depósitos (COOKE, *et al.*, 2005).

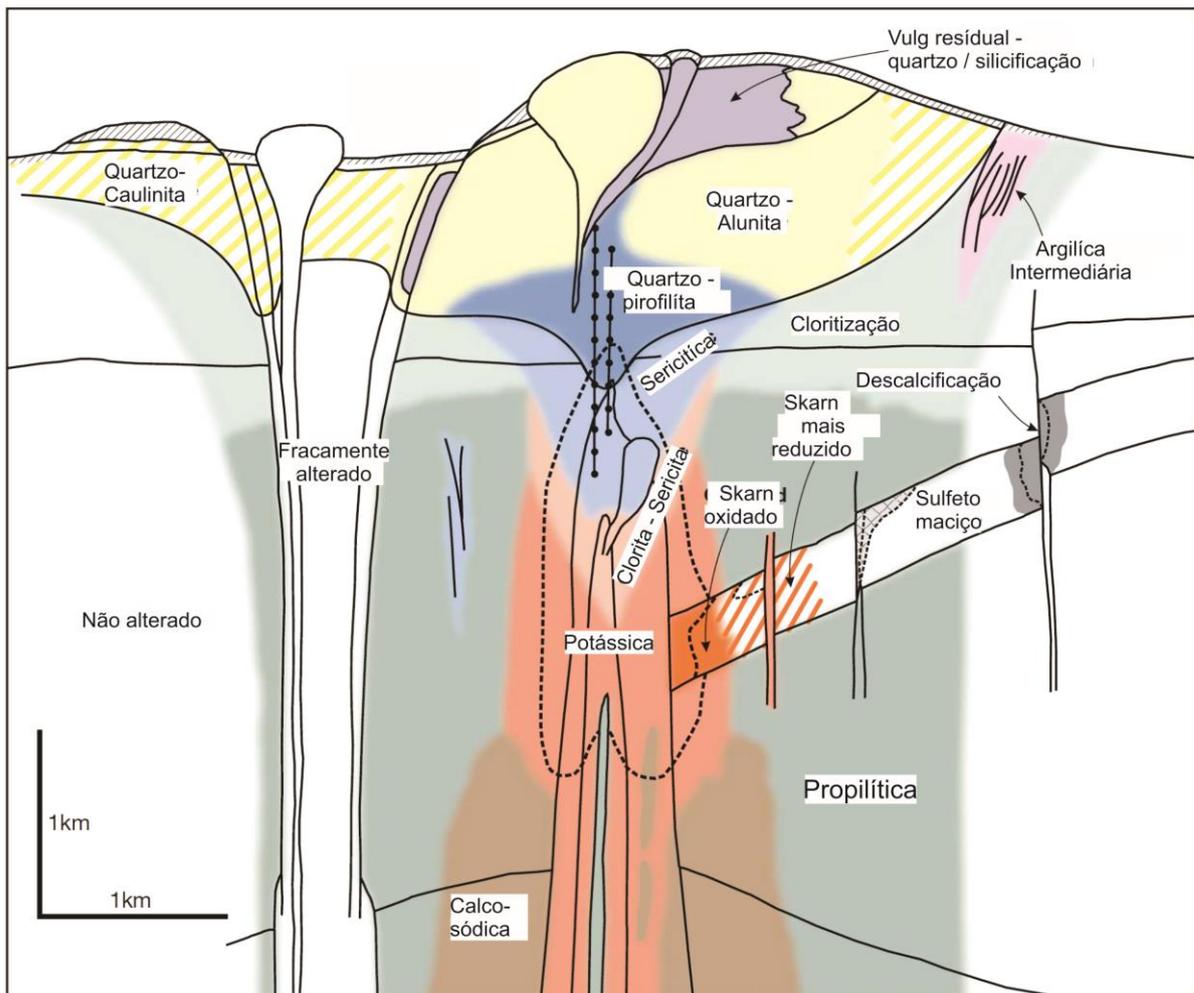
Figura 6: Modelo de Mineralização Cu-pórfiro relacionado a Gênese.



Fonte: Traduzido de Sillitoe, 2005.

Os Minerais de minério primários (singenéticos), tem sua distribuição predominantemente controlada por estruturas, sendo espacialmente e geneticamente relacionadas a intrusões porfíricas félsicas a intermediárias. É caracterizado por uma série de tipos de Veios/Vênulas definidos por sua mineralogia e morfologia. Nesses sistemas há halos de alteração hidrotermal bem definidos pela literatura, sendo estes: Potássica, propilítica, fílica, sericítica, escarnítica, argílica e argílica avançada (SILLITOE, 2010). Sua distribuição espacial é bem marcada, conforme figura 7.

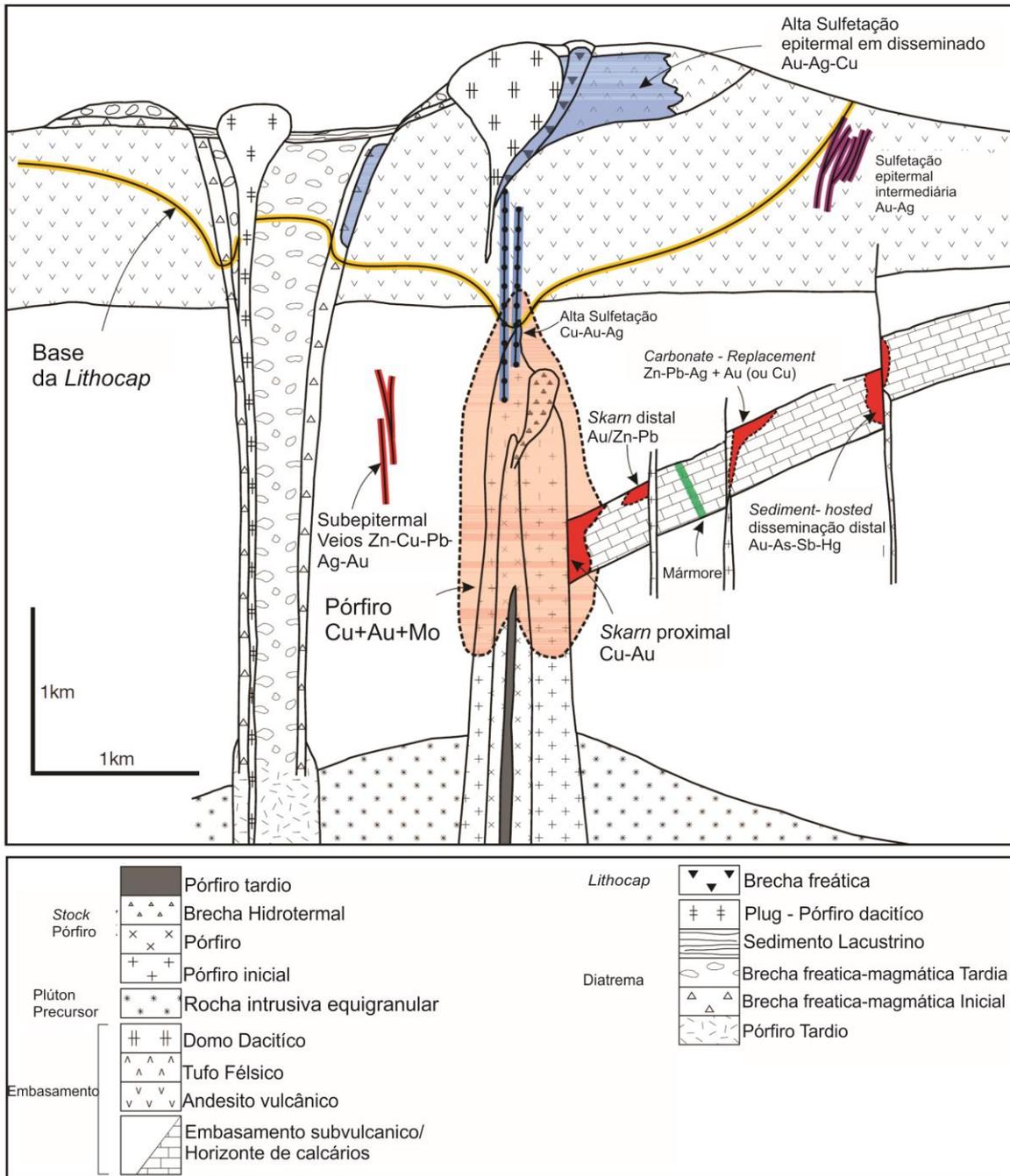
Figura 7: Modelo de Alteração Hidrotermal associado a um Cu-pórfiro.



Fonte: Sillitoe, 2005.

Podem estar associados a mineralizações *skarns*, mineralizações de metais preciosos em substituição de carbonatos (*Carbonate replacement*) e sistemas epitermais de alta, baixa e intermediária sulfetação (SILLITOE, 2010 – Figura 8).

Figura 8: Depósitos associados a um Cu-pórfiro relacionado a suas posições no sistema.



Fonte: Modificado de Sillitoe, 2010.

6.2.1 Séries Magmáticas

Os depósitos de Cu-Pórfiro podem ser classificados em termos de composição geoquímica das intrusões associadas (BARR et al., 1976). A maioria dos 25 maiores depósitos Cu-Pórfiro estão associados com intrusões calcio-alcálicas.

Depósitos de Au-Pórfiro de *Grasberg*, *Bingham Canyon* e *Kal'-makyr* são exceções, associados a intrusões de composição calcio-alcálica com alto K (COOKE et al., 2005).

Também há casos especiais de Cu-Au-Pórfiros associados a intrusões alcálicas, como por exemplo o distrito de *Cadia*, que é o maior acúmulo conhecido de ouro associado a um sistema de pórfiro alcálico (COOKE et al., 2005).

6.2.2 Ambiente Geotectônico

Os sistemas de Cu-Pórfiro são gerados principalmente em ambientes de arco magmático (incluindo *backarc*) sujeitos a um regime de *stress* em escala regional, variando de extensional moderado ao de contracional oblíquo de baixo ângulo (TOSDAL & RICHARDS, 2001). Já a tectônica fortemente extensional, típica pelo magmatismo de composição bi-modal (Basáltico-Riolítico), não possui significativos sistemas Cu-Pórfiro (SILLITOE, 1999a).

Sillitoe (1997) e outros têm destacado a importância da mudança tectônica como um gatilho para formação de minério num sistema do tipo pórfiro. Os depósitos deste tipo não são produtos de vulcanismo de arco típico. Em vez disso, algumas perturbações do regime tectônico predominante desencadeiam a formação de sistemas de pórfiro.

Sillitoe (1998) também identificou cinco atributos-chave dos regimes de compressão que são ideais para a formação de depósitos de cobre de pórfiro:

(1) A compressão impede a subida do magma através da crosta superior, inibindo o vulcanismo;

(2) As câmaras magmáticas rasas resultantes nesses ambientes de compressão são maiores do que aquelas que se formam sob arcos de regime extensional;

(3) O fracionamento nestas câmaras magmáticas é promovido pela sua incapacidade de entrar em erupção, podendo assim, ocorrer a geração de grandes volumes de fluidos magmáticos-hidrotermais com saturação volátil;

(4) A compressão restringe o número de apófises que podem se formar acima de uma grande câmara magmática (possivelmente, devido à falta de extensas falhas

de alto ângulo), proporcionando foco na intrusão, num único *stock*, em vez de um *cluster* de intrusões;

(5) O soerguimento rápido e a erosão (do bloco onde está situado o sistema), promove uma extração eficiente e o transporte dos fluídos magmáticos hidrotermais devido a uma descompressão abrupta (por exemplo, MASTERMAN *et al.*, 2005).

6.2.3 Zonas de Alteração Hidrotermal

Esse tipo de depósito contém elementos litófilos associados a elementos calcófilos, sendo assim, nos depósitos de Cu-Au (Mo), os principais minerais de minério associados são: calcopirita, bornita, calcocita, tenantita, enargita, covelita, entre outros minerais de Cu sulfetados e sulfatados. Podem conter minerais de molibdenita e electrum (liga de Au e Ag) e ocorrem também, minerais de ganga associados, os quais incluem: pirita, quartzo, biotita, feldspato potássico, anidrita, muscovita, epidoto, clorita, entre outros (SILLITOE 2010).

É comum uma alteração hidrotermal tipicamente zonada, tanto na escala do depósito, quanto ao redor de veios e fraturas (SILLITOE, 2010). Em muitos depósitos de Cu-pórfiro a alteração consiste em uma zona no núcleo com alteração potássica, caracterizada por biotita e feldspato potássico e uma zona externa com alteração propilítica, com quartzo, clorita, epidoto e por vezes carbonatos.

Entre as zonas de alteração potássica e propilítica, podem ocorrer a zona fílica, com quartzo, sericita e pirita estando numa região superior ao núcleo (pode ser um *overprint* da potássica) no sistema. Pode-se, ainda, ter a zona argílica, com quartzo, illita, pirita, caolinita, esmectita e calcita (SILLITOE, 2010; figura 7).

Vale salientar que estas alterações mais superficiais (figura 7) sobrepõe as alterações pretéritas e são oriundas da interação com água meteórica com a zona de alteração hidrotermal pretérita, gerando estes chamados *overprints*, que nada mais são do que alteração que se sobrepõe a outras (SILLITOE, 2010).

Os volumes dos diferentes tipos de alterações variam acentuadamente de depósito para depósito. A alteração sericítica pode se projetar verticalmente para baixo como um anel que separa as zonas potássica e propilítica, bem como cortando centralmente a zona potássica (figura 7).

A alteração sericítica tende a ser mais abundante nos depósitos de Cu-Mo-pórfiro, enquanto que a alteração do tipo clorítica-sericítica se desenvolve preferencialmente nos depósitos de Cu-Au-Pórfiro (SILLITOE, 2010).

As zonas de alteração hidrotermal acima citadas podem ter assembleias minerais específicas, assim como profundidades específicas, e cada uma é formada concomitantemente a um tipo de venulação.

6.2.4 Mineralogia e Controle estrutural

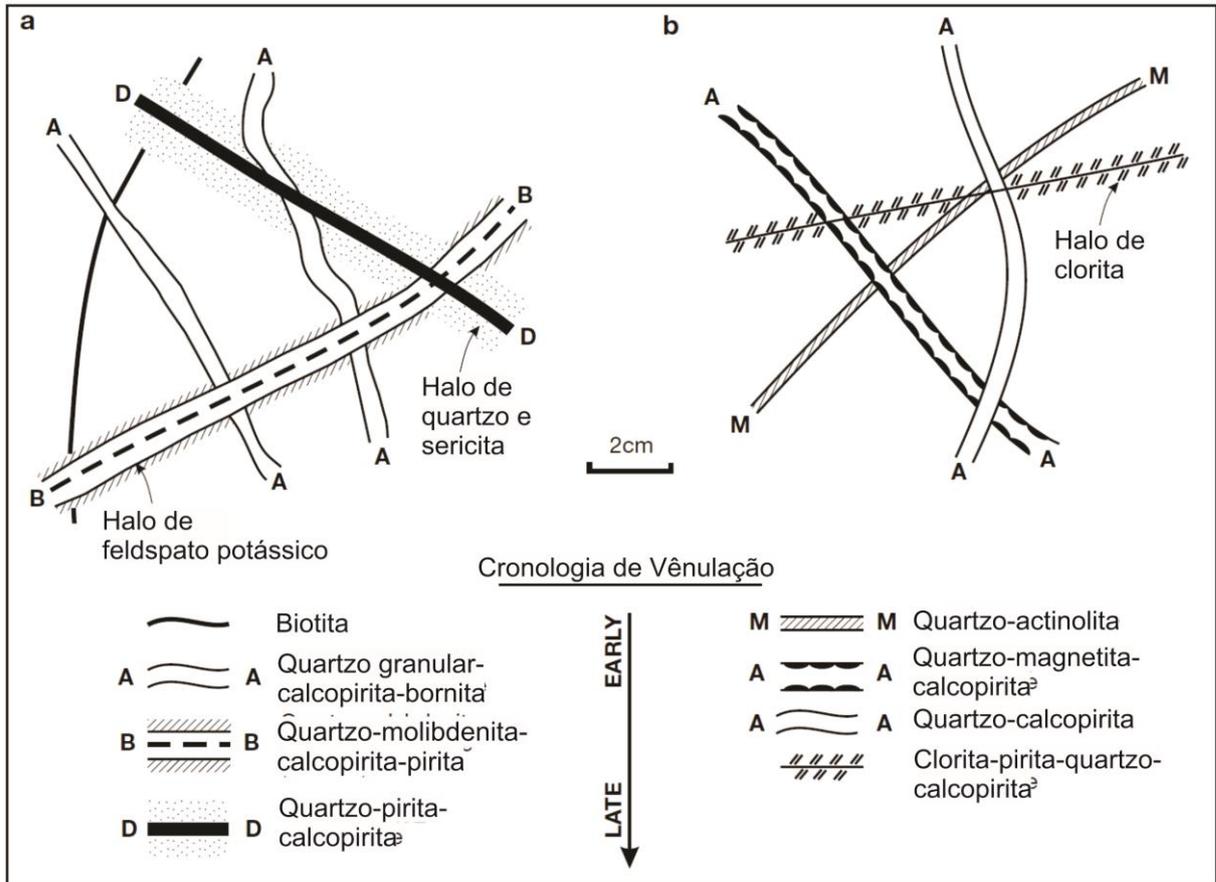
O minério está, predominantemente, associado à zona de alteração potássica, em uma zona de *stockworks* de veios e vênulas que não necessariamente estão no granitoide mineralizador. Também podem estar na rocha encaixante. Os veios e vênulas podem ser classificados quanto a sua composição mineralógica e sua morfologia, os quais variam entre os tipos de pórfiros.

Para Pórfiros de Cu-Mo as vênulas são classificadas em ordem cronológica da seguinte maneira: Tipo A: contém quartzo, calcopirita, bornita, biotita e feldspato potássico em diferentes proporções, apresentam significativa sinuosidade; Tipo B: contém quartzo, molibdênio, calcopirita e pirita, são levemente sinuosas; e Tipo D que consiste em veios paralelos com quartzo, calcopirita e pirita (Sillitoe, 2010; figura 9a).

Para Pórfiros de Cu-Au são classificadas em ordem cronológica da seguinte maneira: Tipo M: compostas por magnetita e actinolita; Tipo A: podem ser compostas por quartzo, calcopirita e magnetita ou apenas por quartzo e ainda podem ser cortadas por um halo de Clorita compostas por clorita, pirita, quartzo e calcopirita (Sillitoe, 2010; figura 9b)

Vale lembrar que depósitos de Cu-Pórfiro podem estar associados a outros tipos de depósitos (epitermais e skarns), formados a partir de escapes de fluidos mineralizantes do sistema que ao encontrar litologias com uma geoquímica contrastante precipitam minério (SILLITOE, 2005 - figura 8). Ao redor do mundo sabe-se de diversos tipos de depósitos associados a sistemas do tipo pórfiro.

Figura 9: Classificação de Vênulas segundo Sillitoe (2010) cronologicamente com sua mineralogia e morfologia.



Fonte: Traduzido de Sillitoe, 2010.

7 MATERIAIS E MÉTODOS

Com o objetivo de proporcionar maior organização e aproveitamento do tempo disponível para executá-lo, este trabalho foi dividido em três etapas principais:

- Pré-campo
 - Revisão bibliográfica da geologia regional;
 - Revisão bibliográfica de depósitos magmáticos hidrotermais.
- Campo
 - Mapeamento geológico de detalhe;
 - Coleta de amostras para petrografia.
- Pós-campo
 - Confecção de mapa geológico de detalhe;
 - Descrição petrográfica;
 - Confecção de tabelas de paragênese mineral;
 - Confecção de diagrama de temperatura *versus* paragênese;
 - Discussões.

Para maior facilidade e praticidade, as etapas executadas, serão detalhadas quanto a sua metodologia a seguir.

7.1 Pré-Campo

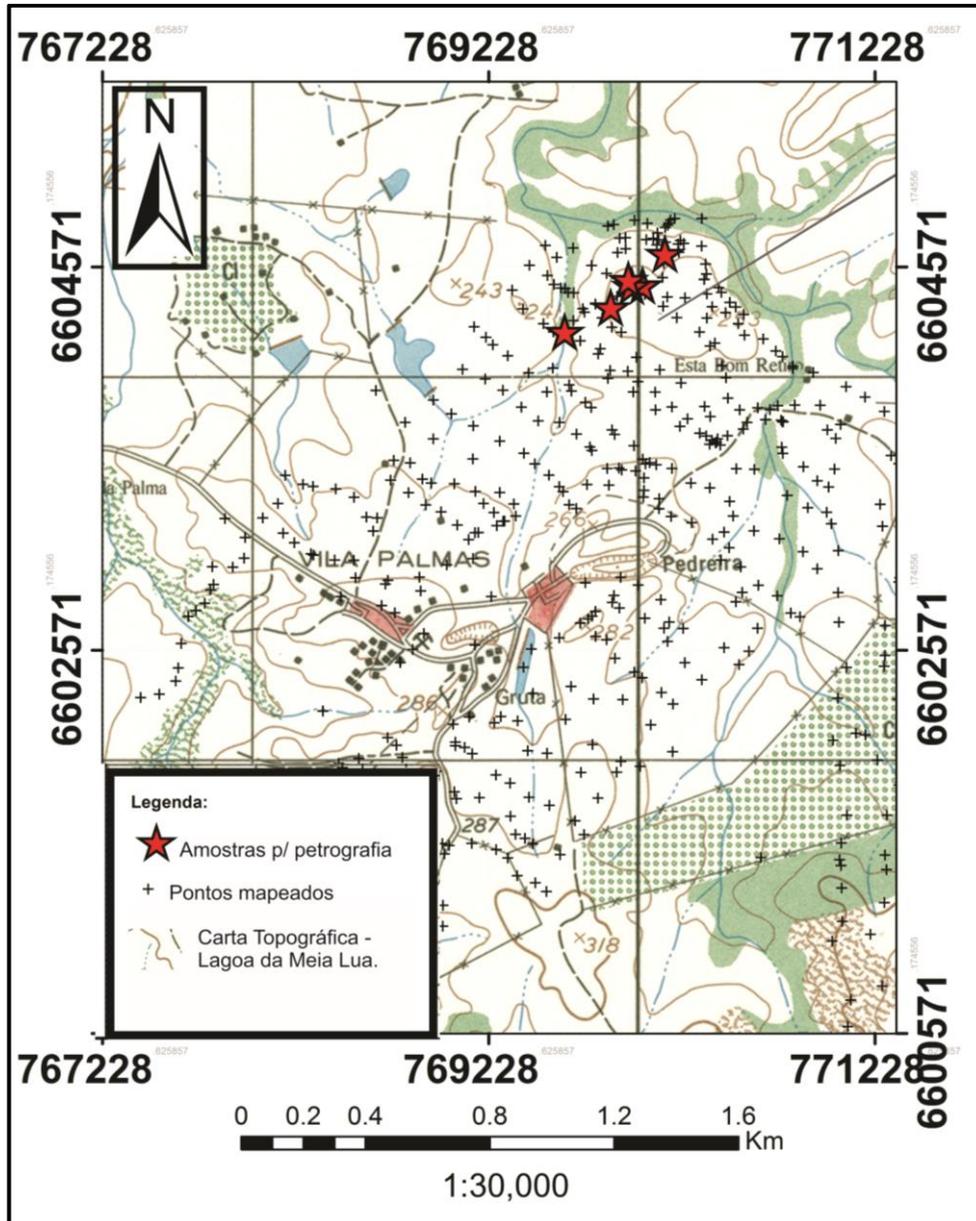
Nesta etapa foi realizada revisão bibliográfica de trabalhos, artigos e publicações relacionadas a geologia regional e local da área, o qual proporcionou uma maior familiarização com a região. Também foi realizado o estudo da arte de diferentes tipos de depósitos magmáticos hidrotermais para se ter um suporte tanto para estudos iniciais quanto para interpretações e conclusões finais.

7.2 Campo

Na etapa de campo foi realizado mapeamento sistemático com pontos espaçados a cada 50 metros em linhas com direção NW-SE espaçadas em 200 metros (figura 10), com o intuito de mapear com maior acuracidade e eficiência as diferentes litologias na região, sendo coletadas, neste processo, amostras da ocorrência e dos arredores que possuem significativa alteração hidrotermal (figura 10).

Esta fase serviu de suporte para o entendimento da distribuição espacial das mineralizações na região.

FIGURA 10: Mapa de pontos do mapeamento realizado.

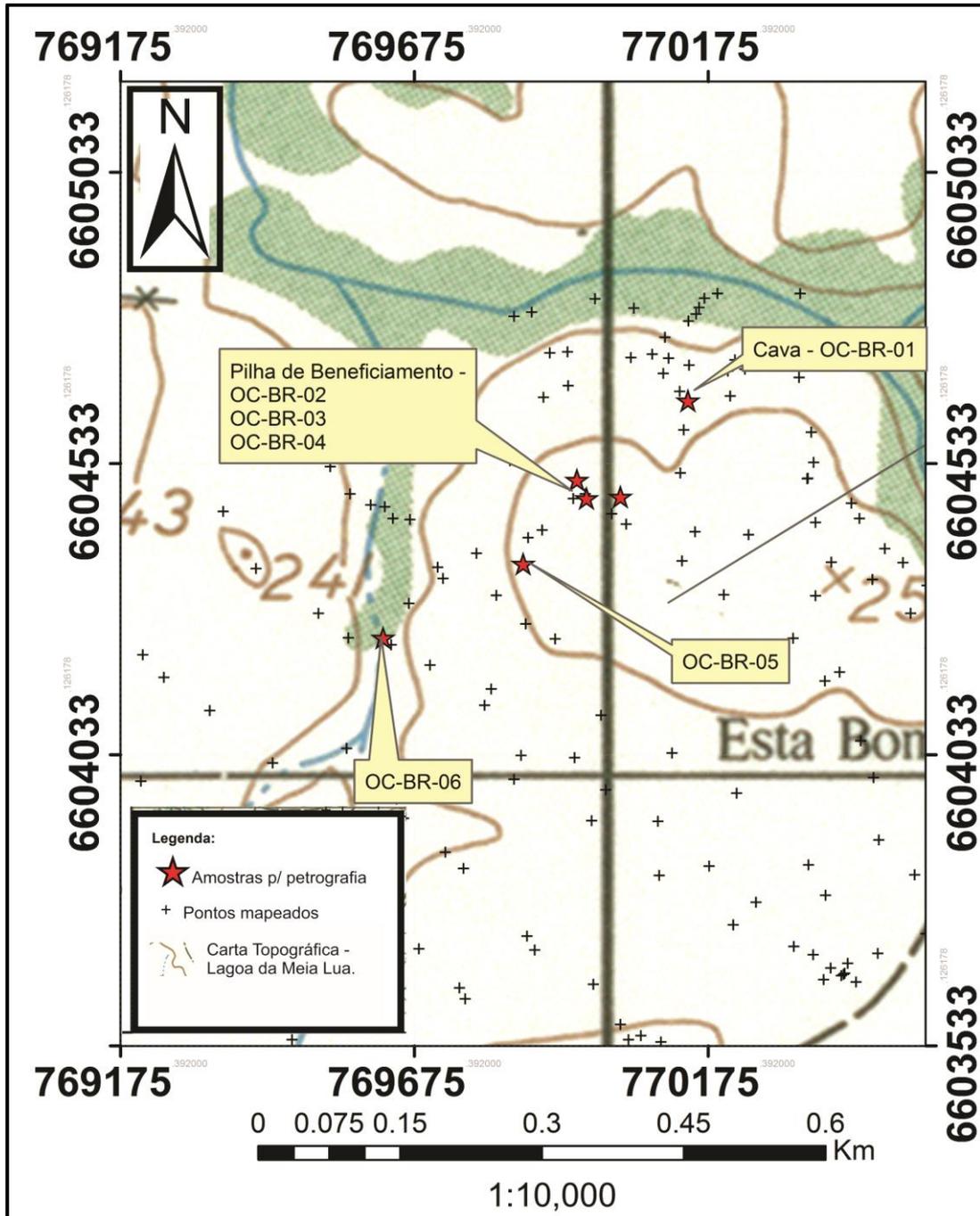


Fonte: Autor

Foram coletadas um total de 6 amostras (figura 11), sendo estas das ocorrências mineralizadas, suas encaixantes e de pontos com alterações hidrotermais significativas para o objetivo do trabalho. A nomenclatura adotada foi OC-BR, para fazer referência em relação a ocorrência Bom Retiro. Entre estas, foram escolhidas amostras da pilha de beneficiamento da mina da Palma, uma vez que, mesmo não sendo possível ter sua posição exata, eram as mais representativas da mineralização

e que, segundo o Relatório Final de Pesquisa da Amazônia Mineração, (2008) são da cava.

Figura 11: Locais da coleta de amostras para petrografia



Fonte: Autor

7.3 Pós-Campo

Inicialmente foi confeccionado um mapa geológico de detalhe, utilizando os dados coletados na etapa de campo, em ambiente computacional com o software ArcGis 10.3, versão para estudante.

As amostras coletadas em campo foram analisadas e descritas macroscopicamente utilizando uma lupa Leica S6D com câmera acoplada.

Para a descrição microscópica, foram confeccionadas lâminas delgadas, seções finas de rocha com espessura de 30 μm , coladas em vidro para serem analisadas ao microscópio polarizador. As amostras foram cortadas em serra circular mecanizada com corte diamantado e, na superfície cortada, a área da lâmina é marcada. Um bloco pequeno da amostra foi cortado e aderida num vidro utilizando resina do tipo epóxi, com o tamanho final desejado da lâmina (aproximadamente 25 x 45 mm). O desgaste grosso da rocha é feito com uma politriz motorizada para rebaixamento da espessura e por fim o desgaste fino é feito sobre uma bandeja de vidro até que a espessura da lâmina chegue a 30 μm . A observação e descrição das lâminas petrográficas foram realizadas utilizando o microscópio polarizador trinocular Leica 4500 com câmera acoplada (UFRGS).

As classificações das amostras foram realizadas, de acordo com as características mineralógicas e texturais da rocha, por classificação visual, priorizando a descrição de venulações, uma vez que, estão intensamente brechadas, hidrotermalizadas e venuladas.

Por fim, os dados gerados pelas descrições petrográficas foram correlacionados com os dados de campo, sendo possível gerar um diagrama de paragênese mineral e um diagrama esquemático de paragênese mineral *versus* gradiente geotérmico para discussões finais.

8 RESULTADOS

Como resultados obtidos, em conjunto com a empresa Nexa Resources – Grupo Votorantim, foi gerado um mapa geológico de detalhe em escala de 1:15.000 (figura 12). Também foram descritas e classificadas por petrografia as amostras coletadas. Para maior organização do trabalho, os resultados foram divididos em:

- Mapa Geológico de Detalhe;
- Descrição das amostras Bom Retiro;
- Skarn a sul da Bom Retiro.

Foi dividido desta maneira para um melhor entendimento, o qual se priorizou apresentar os resultados de petrografia por região, uma vez, que a ocorrência Bom Retiro estará sendo descrita e classificada, petrograficamente, pela primeira vez na literatura, sendo necessário caracterizá-la inicialmente para poder compará-la com outras litologias da área. A seguir um detalhamento de cada resultado obtido.

8.1 Mapa Geológico de Detalhe

O mapa geológico de detalhe apresenta granitóides, meta-ultramáficas, quartzo-mica-xistos, mármore, metavulcânicas, metacherts, veios de quartzo e escarnitos (figura 12).

O Granitóide localizado a norte da área de estudo é fanerítico, equigranular com granulometria média a grossa, leucocrático e com textura milonítica. É composto essencialmente por feldspato alcalino (50%), quartzo (30%) e plagioclásio (20%), em uma proporção que o classifica como granito. Esta rocha compõem o embasamento da faixa vulcano-sedimentar.

As Meta-ultramáficas localizadas em toda a área de estudo, são compostas por tremolititas, tremolita-clorita xistos e magnetita-clorita xistos de coloração verde claro a verde escuro com magnetitas de até 1 cm de diâmetro, granulação fina a média e textura nematoblástica a lepidoblástica.

Os quartzo-mica-xistos que ocorrem em toda a área de estudo tem uma coloração bege (devido ao intemperismo) a verde claro (rocha sã), apresentando textura lepidoblástica a porfiroblástica, por vezes com crenulação relacionada a uma superfície Sn+1. Sua mineralogia é constituída predominantemente por quartzo fino a muito fino e micas, sendo encontradas regiões onde a clorita predomina entre as micas.

Para enriquecer o mapa geológico de detalhe foram incluídas as informações litológicas de Zeni (2015), cujo estudo se desenvolveu na Mina Ibaré. Assim, os metacherts, as metavulcânicas e os mármore seguem esta premissa.

Metacherts constituem camadas de espessuras métricas (de até 2 metros) na mina Ibaré e em cristas nas adjacências desta a norte. São constituídos essencialmente por quartzo recristalizado de granulação fina com textura granoblástica a sacaroidal.

As metavulcânicas (ZENI, 2015) apresentam colorações em tons de cinza a verde, com granulação média, textura equigranular a porfirítica com fenocristais de hornblenda e quartzo e matriz rica em quartzo e plagioclásio, além de minerais máficos. As texturas variam de maciça a foliada (deformação posterior) com fraturas espaçadas de 15 – 30 cm. Em alguns pontos se apresentam amigdaloidais (com carbonatos) em zonas de menor deformação, não sendo possível identificar na área demais estruturas primárias. Apresenta, predominantemente, silicificação forte e pervasiva, porém, por vezes, é possível identificar magnetismo em regiões onde não ocorreu silicificação e traços de Pirita disseminada em sua matriz.

Os mármore calcíticos afloram como pacotes centimétricos a métricos (de até 15 metros) de espessura intercaladas nas rochas metavulcânicas. A coloração é predominantemente cinza claro a branco (com variações em tons de cinza) e a granulação é fina, por vezes, níveis de impurezas pelíticas milimétricas a centimétricas contribuem para a formação de pequenos pacotes de metamargas, que dão um aspecto bandado à rocha. Na mina Ibaré são formadas estruturas alongadas segundo N10-45E, com mergulhos que variam de 50° NW a verticais e encontram-se intensamente fraturados. Os contatos entre metabasaltos e mármore e/ou metamargas são concordantes com a foliação.

Zonas com precipitação de sulfeto maciço ocorrem, principalmente, nos contatos entre o mármore e o metabasalto. Estas zonas apresentam espessuras de até 30 cm e extensões variáveis de até 2 m, com direção preferencial N30E/50NW, porém, são formas descontínuas e irregulares, aparentemente deformadas com os demais litotipos. É possível observar quantidades muito baixas de sulfetos associados a carbonatos em pequenas fraturas posteriores na Mina Ibaré (LOPES & HARTMANN, 2003).

Os contatos entre os litotipos descritos na Mina Ibaré se dão concordantes a foliação, por vezes com interdigitação, o que leva a acreditar que o metamorfismo fora concomitante em ambos. Possuem orientação que varia de N30W a N60W com

mergulho de 45NW-75NW na porção Norte e Leste da área. Na porção Sudoeste a orientação é de N10W com mergulho de $60^{\circ} \pm 5^{\circ}$, quase sem variação da orientação da xistosidade (LOPES & HARTMANN, 2003).

A principal trama metamórfica das litologias na região como um todo, incluindo a Mina Ibaré, indica uma fase de deformação principal (S_n) dada por orientação NE-SW com mergulhos predominantes para o quadrante NW, marcando vergência nas dobras de amplitude métrica para SE. Em algumas zonas decimétricas verticais de direção NW-NNW verifica-se crenulação dada por microdobras apertadas de eixos caindo em médio ângulo para NW, podendo representar zonas de encurtamento na foliação principal marcando um plano S_{n+1} . A região também é marcada por lineamentos, falhas de cavalgamento (inferidas) e falhas transcorrentes (inferidas) que marcam deformação rúptil na região.

Veios de quartzo translúcidos a leitosos e, por vezes, veios apenas de epidoto com direção N45E/80SW são observados na porção central a norte. Na região central é verificada silicificação pervasiva e forte *stockwork* associado com vênulas de quartzo granular fino a médio e magnetita, cortando as unidades máficas e ultramáficas, dispondo-se em uma região de 250 m de diâmetro, aproximadamente.

Diques máficos porfiríticos com fenocristais de hornblenda em matriz fina afanítica cortam as demais sequências, já definido por Lopes & Hartmann (2003) como Lamprófiro Espessartítico. Estes possuem orientação aproximada de N30E, e espessuras de até 1m, sem evidências de metamorfismo (LOPES & HARTMANN, 2003).

Os diques lamproíticos que afloram em raros afloramentos desde a mina Ibaré até a mina Bom Retiro, apresentam alteração hidrotermal em graus variáveis, desde incipiente até intensa. Nos diques de intensa alteração hidrotermal o anfibólio primário (hornblenda / oxihornblenda) está sendo substituído parcialmente ou integralmente por actinolita, clorita, carbonato, mica branca, clinozoizita, esfeno, quartzo, leucóxeno e albita. A matriz composta essencialmente por quartzo e mica branca possui forte alteração hidrotermal do tipo cloritização (ZENI, 2015).

Nos arredores dos diques ocorrem zonação com distribuição de sulfetos como pirita e calcopirita, principalmente, na mina Ibaré e Bom Retiro, não possuindo dimensões mapeáveis em superfície, sendo possível observá-los melhor nas cavas das minas anteriormente citadas (RELATÓRIO, AMAZÔNIA MINERAÇÃO, 2008).

Na porção nordeste, também, ocorrem pequenas ilhas de arenito arcossiano de granulação fina a média composto por K-feldspato, quartzo e micas, isolados e de dimensões métricas e aflorantes.

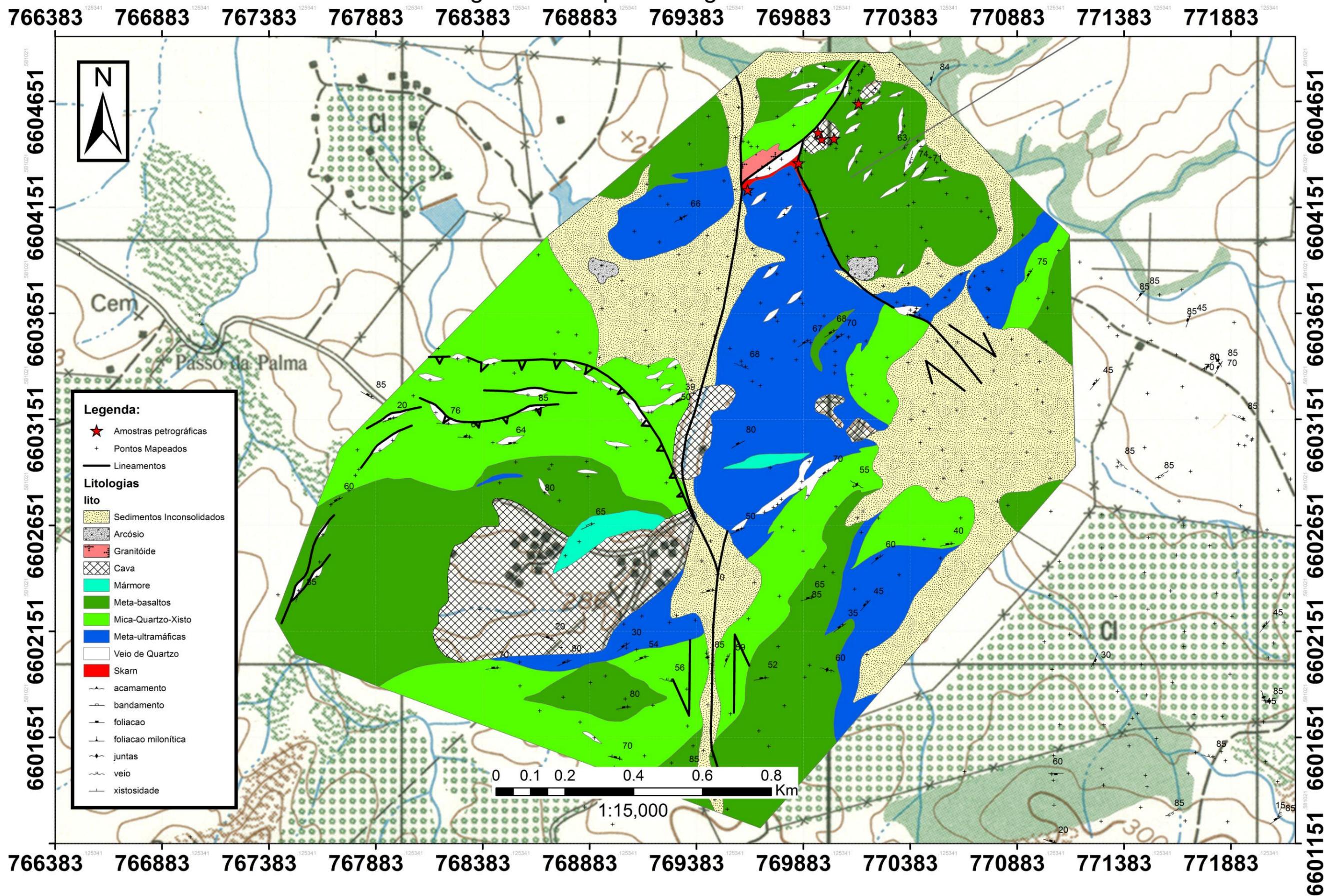
Por fim, a ocorrência Bom Retiro se dá por duas litologias, ambas mineralizadas, separadas pela relação de campo, sendo possível observar relações de corte na qual uma corta a outra. Sendo assim, para maior praticidade do trabalho, foram divididas por ordem cronológica em primeira ocorrência (OC-1) e segunda ocorrência (OC-2).

A ocorrência 1 (OC-1), correspondente as amostras OC-BR-01 e OC-BR-02, tem como características de campo serem coerentes, de cor preta com textura granoblástica. São compostas por minerais de granada, piroxênios e carbonatos, tendo subordinadamente pirita, calcopirita e pontualmente bornita, tanto em disseminado quanto em vênulas.

A ocorrência 2 (OC-2), correspondente a amostras OC-BR-03 e OC-BR-04 tem como características de campo estarem alteradas, serem incoerentes, de textura granular com forte oxidação, não sendo possível identificar os minerais a lupa de mão, porém sendo possível identifica ouro livre a olho nu.

O *Skarn* a sudoeste da Bom Retiro, na porção norte do mapa, tem textura granoblástica, sendo possível observar, com auxílio de lupa, exclusivamente minerais de granada, estando a rocha fortemente oxidada com vênulas de quartzo milimétricas.

Figura 12: Mapa Geológico de Detalhe



8.2 Petrografia

Por questões de praticidade e maior organização deste trabalho os resultados da petrografia foram divididos em dois tópicos, primeiramente apresentando os resultados da ocorrência da mina Bom Retiro (não caracterizados na literatura) e posteriormente os resultados das amostras coletadas em superfície no *Skarn* a sudoeste da Mina Bom Retiro (figura 11), conforme tabela 1.

Tabela 1: Relação das amostras descritas e sua respectiva localização.

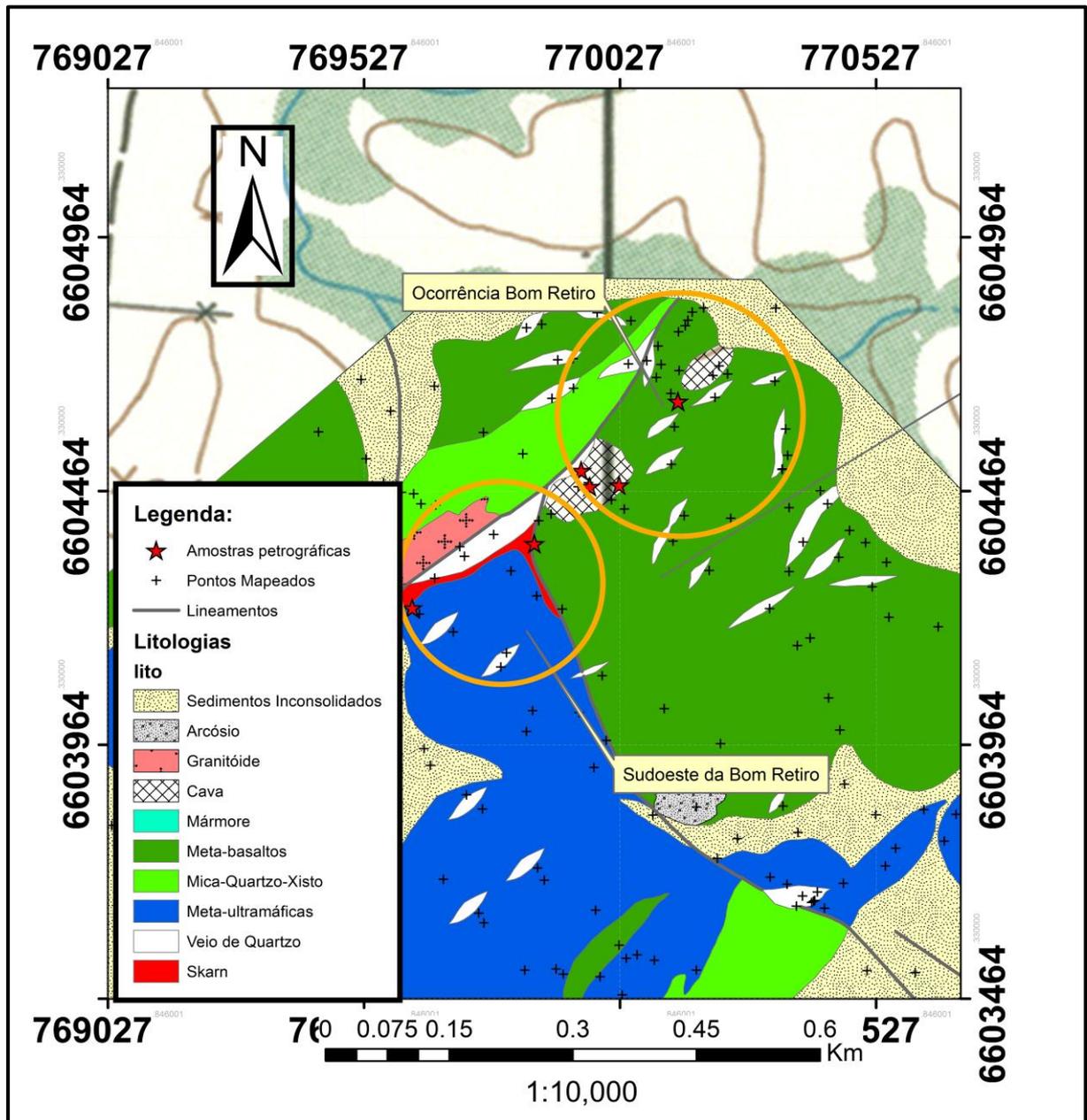
Ocorrência	Amostra	Localização
OC-1	OC-BR-01	Cava
	OC-BR-02	Pilha de Beneficiamento
OC-2	OC-BR-03	Pilha de Beneficiamento
	OC-BR-04	Pilha de Beneficiamento
SKP	OC-BR-05	Sudoeste da Bom Retiro
	OC-BR-06	Sudoeste da Bom Retiro

Fonte: Autor

8.2.1 Ocorrência Bom Retiro

Conforme já citado neste trabalho, a ocorrência Bom Retiro (figura 13) foi separada, pela relação de campo e cronológica, em duas ocorrências, as quais foram denominadas em primeira ocorrência (OC-1) e segunda ocorrência (OC-2).

Figura 13: Regiões pelo qual os resultados de petrografia são apresentados.

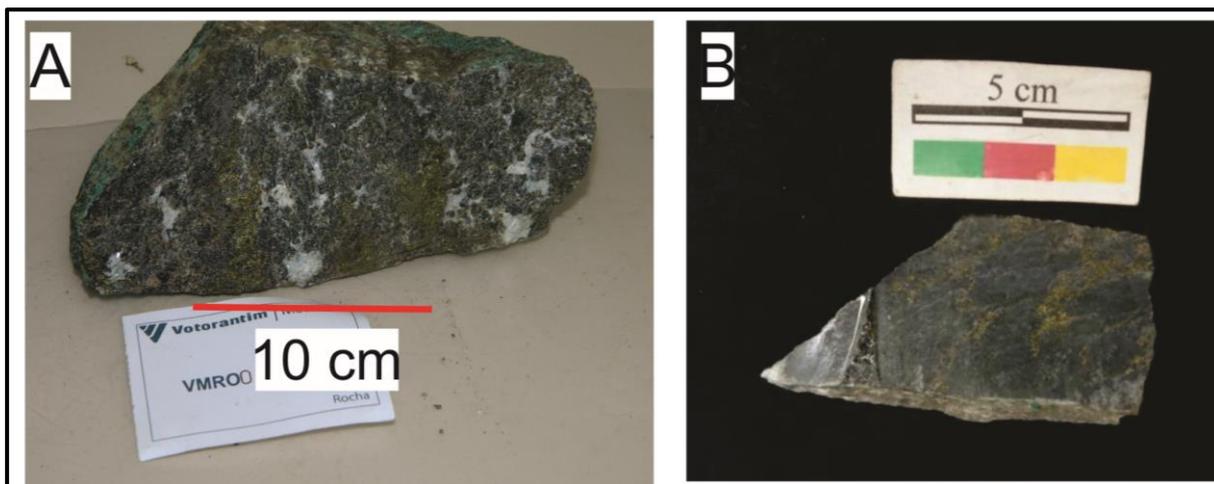


Fonte: Autor

A primeira ocorrência (OC-1), correspondente as amostras OC-BR-01 e OC-BR-02, tem como características macroscópicas serem coerentes, de cor preta com

textura granoblástica. São compostas por minerais de granada, piroxênios com cloritização pervasiva e Calcita, tendo subordinadamente pirita, calcopirita e bornita, tanto em disseminado quanto em vênulas. A calcopirita compõe até 5 % da rocha (figura 14). Classificada como escarnito.

Figura 14: (a) amostra de mão referente a OC-1 (b) amostra de mão referente a OC-2

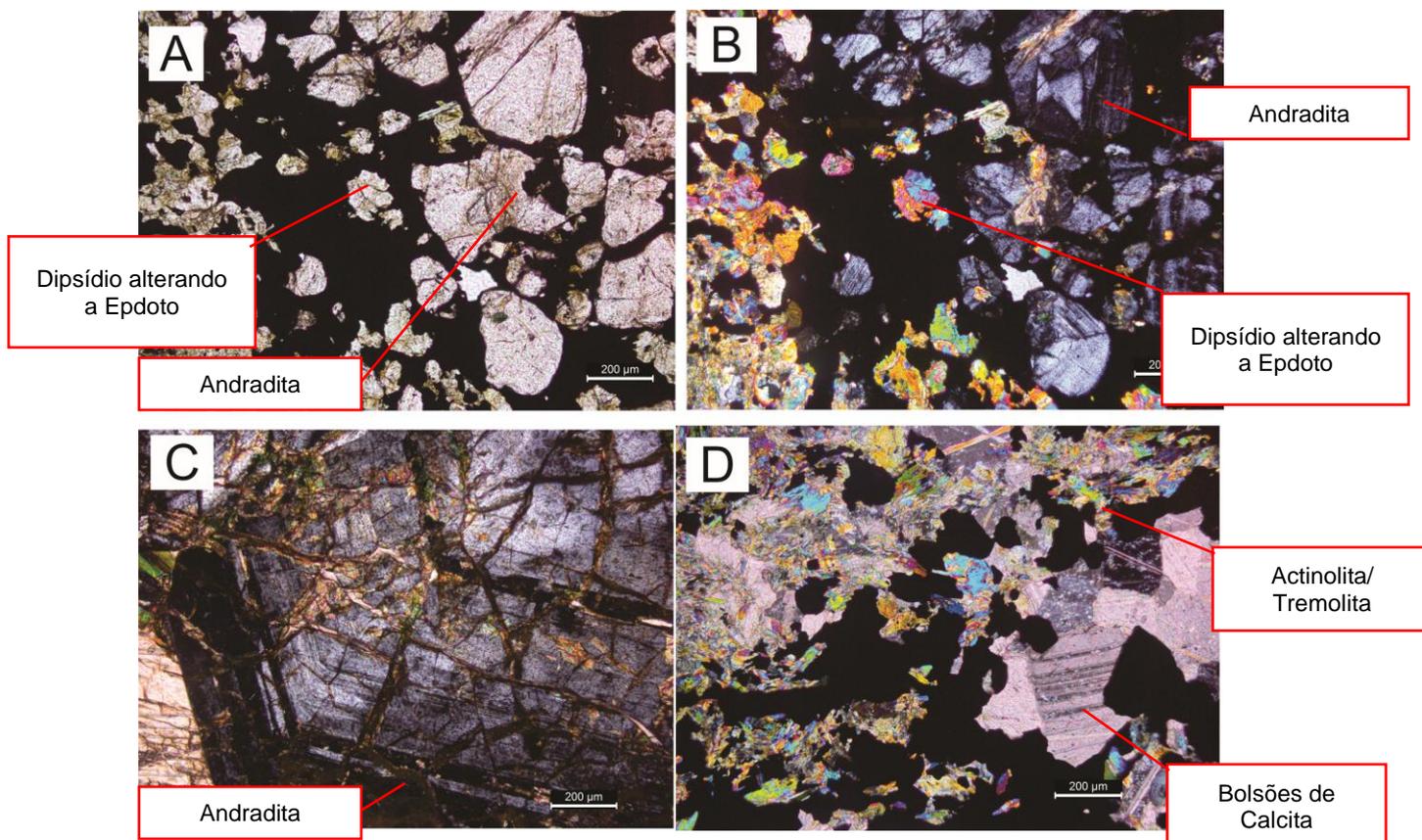


Fonte: Autor

Microscopicamente a rocha apresenta textura granoblástica tendo grande porcentagem brechada, composta por andradita quase sempre fraturadas, calcita, epidoto e diopsídio, com granulometria variando de média a grossa atingindo tamanhos de até 1 cm (figura 15).

A matriz da rocha é composta por granada, diopsídio e calcita. A andradita é zonada (figura 15b) e em conjunto com o diopsídio (alterados para epidoto, clorita ou sericita; figura 15b), este com inclusões de fluorita, ocorrem fraturados ou obliterados por venulações (figura 15a-c). Na matriz são encontrados minerais de calcita, as quais apresentam-se em porções na forma de bolsões (figura 15d) que podem ser do protólito.

Figura 15: (a e b): Andraditas e diposídios fraturados a luz natural e transmitida; (c) Andradita fraturada a luz transmitida; (d) Bolsões de calcita a luz transmitida em conjunto com minerais de Dy e venulação de opacos com tremolita/actinolita.

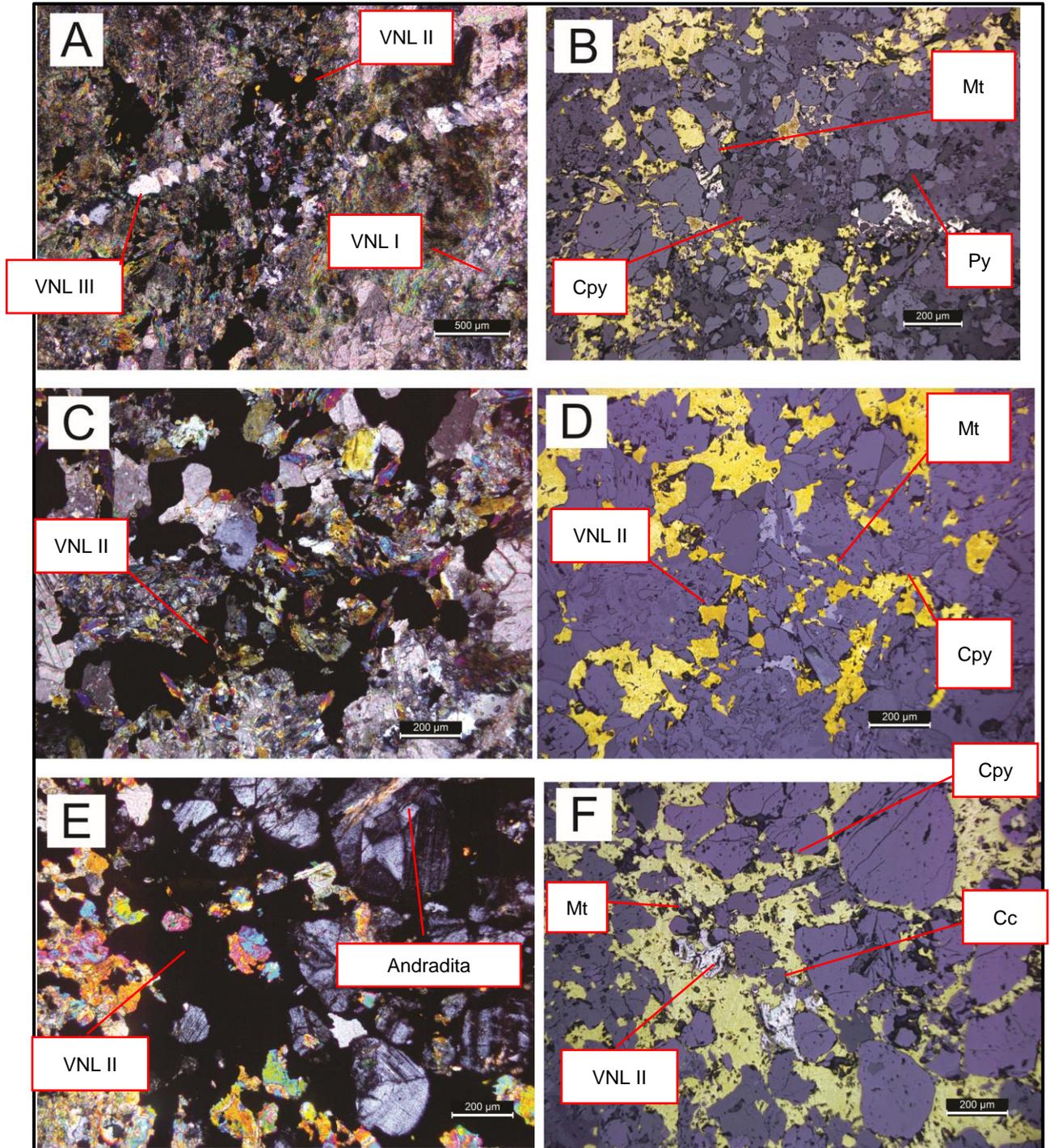


Fonte: Autor

Existem basicamente três tipos de venulações, diferenciadas pela sua mineralogia e pela relação de corte entre as mesmas. Em ordem cronológica:

1. Vênulas de quartzo de até 0,5 mm de espessura com traços de magnetita, pirita e calcopirita, denominadas neste trabalho de vênula tipo I (VNL I; figura 16a);
2. Vênulas compostas por pirita, calcopirita, calcocita (figura 16b) tendo subordinadamente calcita, tremolita, actinolita, clorita, epidoto calcocita e magnetita, onde há porções que variam entre os minerais de minério e de ganga. Esta foi denominada como vênula tipo II (VNL II; figura 16c – 16f);
3. Vênulas de quartzo com pirita, tendo traços de calcopirita, clorita e magnetita denominadas como vênula tipo III (VNL III; figura 16a).

Figura 16: (a) VNI III com microfratura em contato com venulação tipo II (VNL II) e tipo I (VNL I) cortada por venulação tipo III (VNL III) a luz transmitida; (b) Minerais de calcopirita (Cpy), pirita (Py) e calcocita (Cc) a luz refletida; (c) VNL II a luz transmitida; (d) VNL II a luz refletida; (e) Brechamento da VNL II na matriz a luz transmitida; (f) Brechamento da VNL II na matriz a luz transmitida.



Fonte: Autor

Vale salientar que os minerais de minério estão predominantemente e quase que exclusivamente nas venulações tipo II (figura 16c e 16d).

A OC-2 (ver lista de abreviaturas), correspondente a amostra OC-BR-03 tem como características macroscópicas, conforme já citado, estar alterada, incoerente, de textura granular com forte oxidação e porções com malaquita, sendo possível identificar ouro livre (figura 17).

Figura 17: OC-BR-03 em amostra de mão.



Fonte: Autor

Ao microscópico apresenta textura granoblástica, com brechamento, composta por calcita, granada e diopsídio, este alterando para epidoto e actinolita, com granulometria média a grossa.

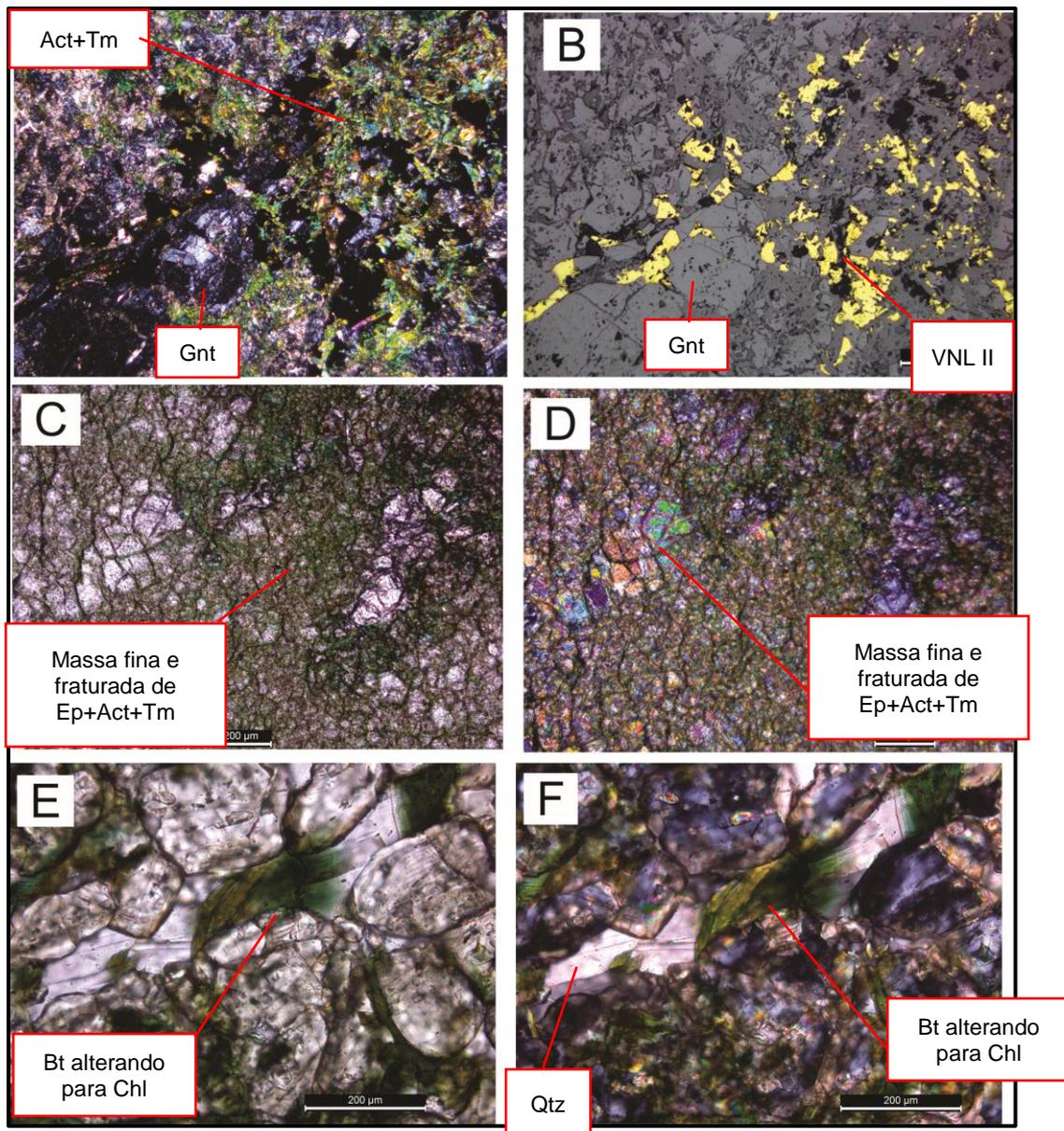
Os cristais de granada e de diopsídio possuem o mesmo comportamento que na ocorrência-1, apresentando-se intensamente fraturados, cortados e englobados pelas vênulas tipo II (VNL II; figura 18a e 18b), que ocorrem em maior abundância na rocha.

Na matriz desta rocha há maior presença de epidoto, actinolita e tremolita muito fina, compondo aproximadamente 60% da rocha, talvez, sendo por isso o aspecto pouco friável e de difícil distinção dos minerais na amostra de mão (figura 18c e 18d).

Nesta rocha temos basicamente a presença de dois tipos de venulações, conforme já descritas, são em ordem cronológica as VNL I e VNL II. O ouro se

apresenta em inclusões em minerais de calcopirita, estando exclusivamente nas VNL II. Também é possível observar vênulas de quartzo finas com biotita (Bt) alterando para clorita, contendo traços de calcopirita e pirita, porém, de forma ocasional na VNL II. Está rocha foi classificada como escarnito.

Figura 18: (a) VNL II englobando cristais de Gnt a luz transmitida; (b) VNL II englobando cristais de Gnt a luz refletida; (c) Minerais finos a muito finos de Ep, Act, Tm e Chl que compõem cerca de 60 % da rocha a luz natural ; (d) Minerais finos a muito finos de Ep, Act, Tm e Chl que compõem cerca de 60 % da rocha a luz transmitida; (e) Bt alterado a Chl a luz natural ; (f) Bt alterado a Chl a luz transmitida.



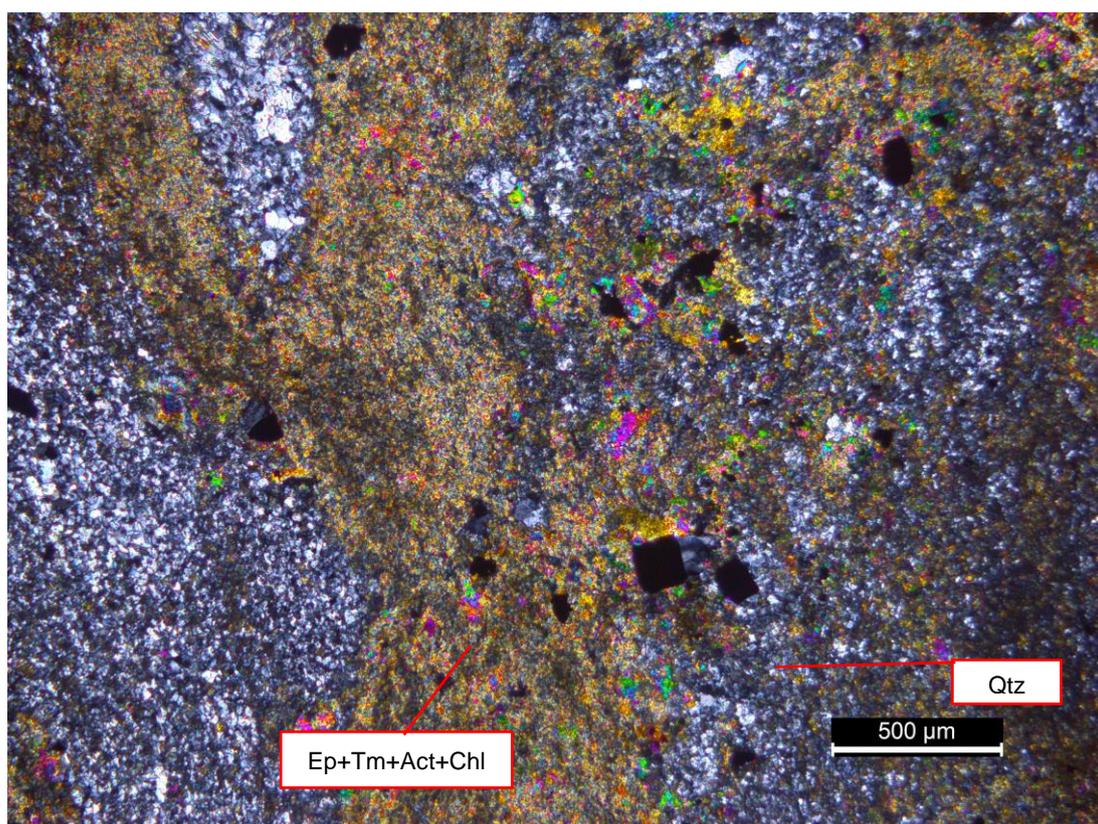
Fonte: Autor

Na área ocorrem veios de quartzo e epidoto (amostra OC-BR-04) associadas a ambas as ocorrências. Estes, macroscopicamente, são coerentes, verdes, com brechamento de aspecto mosqueado dado por porções esbranquiçadas e outras pretas, cortada por vênulas de quartzo com calcopirita e pirita (VNL II), tendo magnetismo moderado.

Microscopicamente é composta na matriz, predominantemente, por uma massa de quartzo, epidoto, calcita, actinolita, tremolita e clorita de granulometria ultrafina (menor que 0,1 mm), por vezes, microcristalina com geometria irregular e sacaroidal, com difícil distinção entre os minerais (figura 19).

Figura 19: Veio, composto por minerais de epidoto, actinolita, tremolita e clorita (Ep-Act-Tm-Ca) ultrafinos de textura sacaroidal e venulações com textura do tipo *Crack and Seal*.

Qtz= quartzo



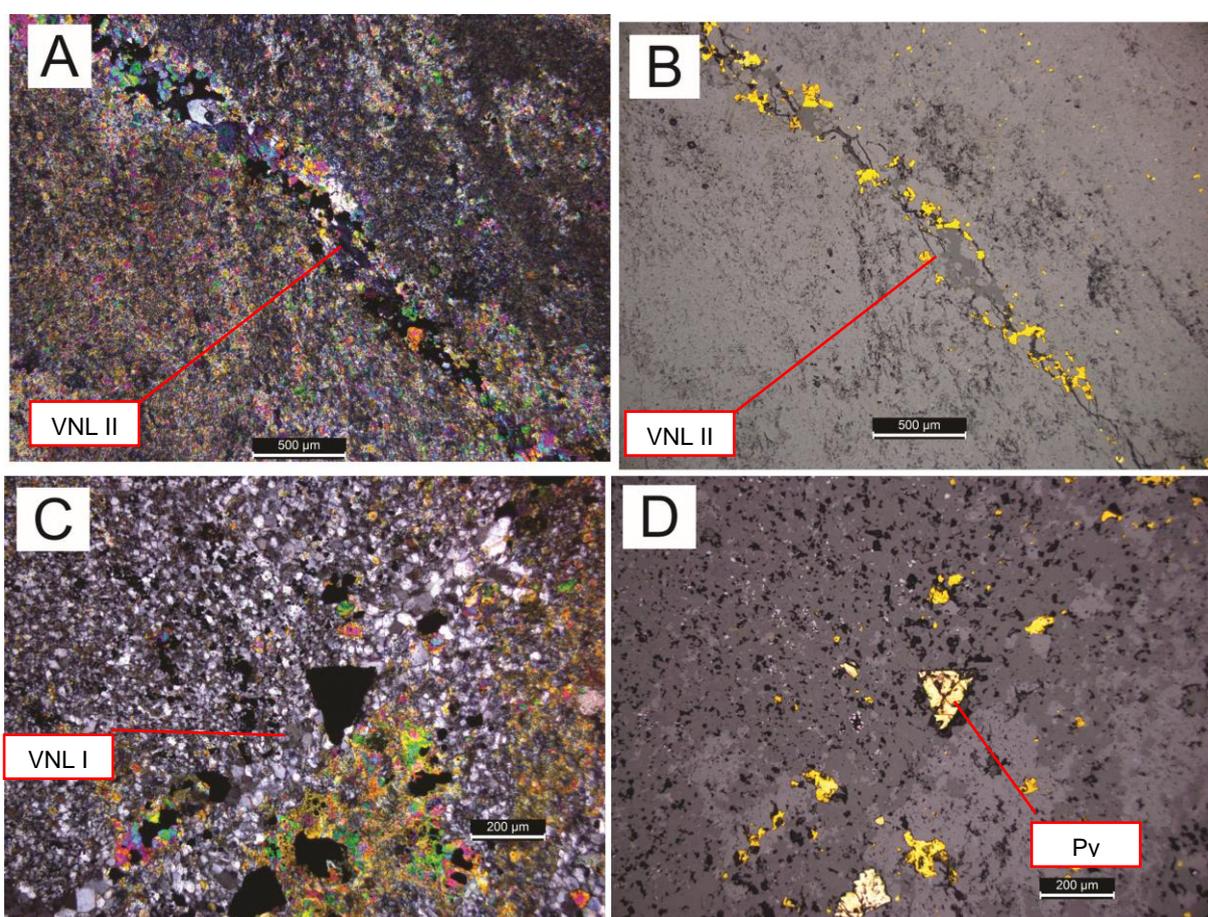
Fonte: Autor

Em geral são compostas por vênulas VNL I que por sua vez são cortadas pela VNL II com magnetita sendo alterada para hematita (figura 19). As VNL II, por vezes,

são compostas apenas por calcopirita e pirita (figura 20 a e 20 b). Também apresenta VNL III (figura 20c e 20d), possuindo traços de titânita.

A trama da rocha, bem marcada pela relação de corte entre as vênulas, é caracterizada como textura do tipo *Crack and Seal* (PLUM *et al.*, 1984), conforme figura 19.

Figura 20: (a) Vênulação tipo II (VNL II) a luz transmitida; (b) Vênulação tipo II (VNL II) a luz refletida; (c) Vênulação tipo III (VNL III) a luz transmitida; (d) Vênulação tipo III (VNL III) a luz refletida; Py = pirita.



Fonte: Autor

Os carbonatos associados as VNL II (figura 20a e 20b), sugere que os fluidos responsáveis pelos minerais de minério pertençam a um fluido hidratado de baixa temperatura.

A OC-1 tem características mineralógicas e texturais de um escarnito cálcico retrógrado (MEINERT *et al.*, 2005), pelo qual foi caracterizado. A OC-2 pelas características texturais e mineralógicas também foi classificada como escarnito

cálcico retrógrado, porém não sendo relacionado ao mesmo evento que o primeiro, sendo diferenciado principalmente pela relação de campo presença predominante da VNL II e pelo ouro associado.

8.2.2 SKARN – Sudoeste da Bom Retiro

No Skarn a sudoeste da Bom Retiro (figura 13) foram coletadas as amostras OC-BR-05 e OC-BR-06, que macroscopicamente apresentam textura granoblástica composta por minerais de granada com oxidação forte e pervasiva e presença de pirita e epidoto irregularmente distribuído na rocha.

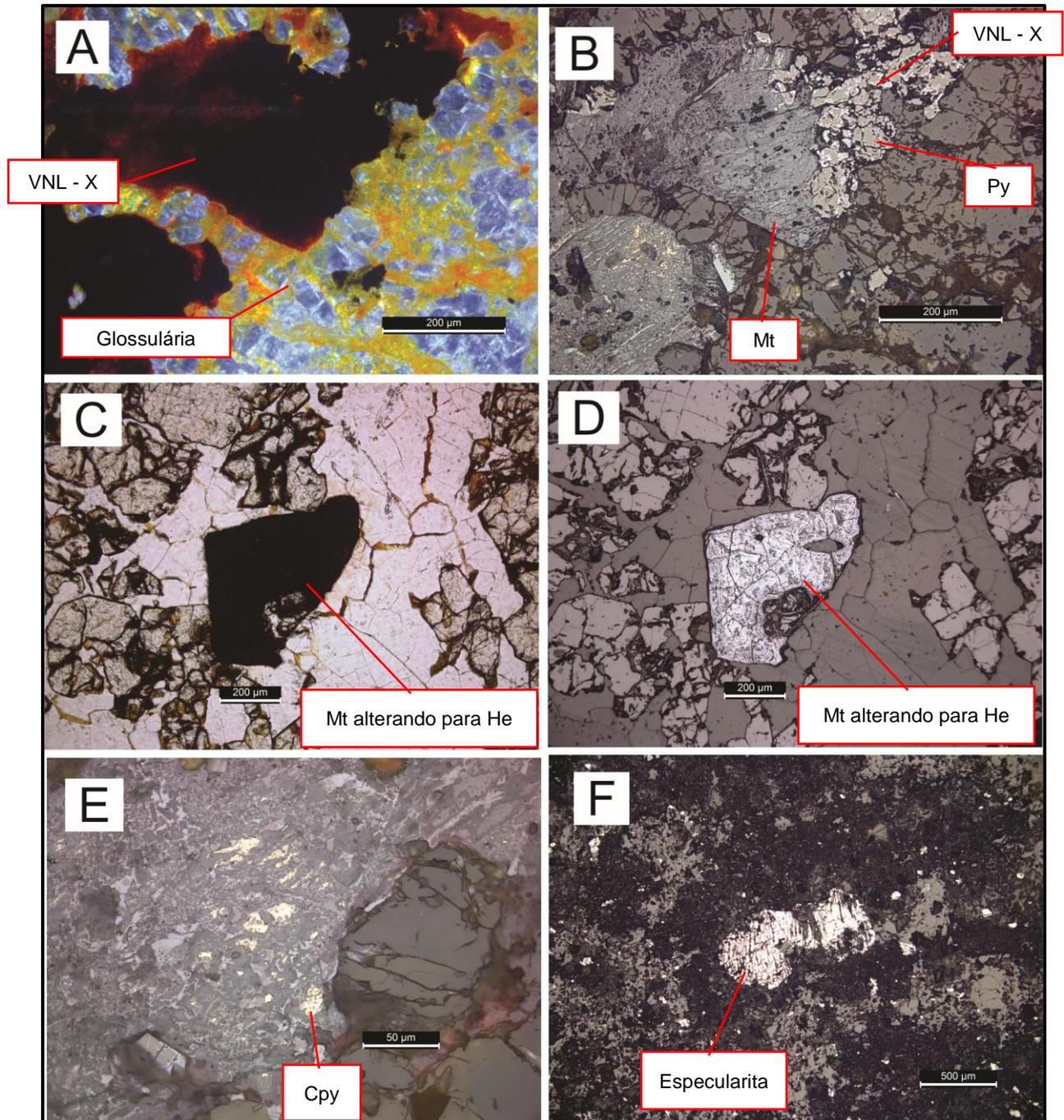
Em microscópio tem textura granoblástica composto por minerais de glossulária e muito raramente minerais de diopsídio. As glossulárias são subédricas a euédricas, isotrópicas e muito fraturadas (figura 21^a), sendo de mais alta temperatura (MEINERT, 2005).

Apresenta vênulas milimétricas de quartzo com traços, em ordem de abundância, de magnetita, calcopirita e pirita (figura 21b). A magnetita se apresenta alterada a hematita (figura 21c e 21d). Nestas vênulas também se observa hematita com hábito especular (especularita; figura 21f).

Em geral, os óxidos são produtos de alteração supergênica marcada por minerais de hematita e goethita, produto da alteração das magnetitas e calcopiritas.

As características petrográficas desta rocha apenas confirma que é um Escarnito. Tem assembleia mineral de mais alta temperatura, bem marcada por minerais de ambiente oxidante de alta temperatura como glossulária e magnetita (MEINERT, 2005). Outro indício de ser mais alta temperatura é a quase ausência de piroxênios, que é uma das características fundamentais de escarnitos mais próximos de sua fonte geotérmica, uma vez que os piroxênios são formados preferencialmente a temperaturas mais baixas que a de formação da glossulária (MEINERT, 2005).

Figura 21: (a) Glossulária com VNL X a luz transmitida; (b) Glossulária com VNL X a luz refletida; (c) Magnetita em veio de quartzo a luz natural; (d) Magnetita (Mt) em veio de quartzo a luz refletida; (e) Vênulas de quartzo com calcopirita (Cpy) e pirita (Py); (f) presença de especcularita distribuída em vênula; He = Hematita



Fonte: Autor

9 DISCUSSÕES

Para melhor organização deste trabalho a discussão foi subdividida em tópicos, possuindo a seguinte ordem:

- Mineralização Bom Retiro;
- Skarn versus mineralização Bom Retiro;
- Paragênese mineral;
- Gradiente Geotérmico.

Em cada sub-item buscou-se discorrer sobre os principais aspectos relacionados à mineralização, assim como realizar uma comparativa a depósitos conhecidos.

9.1 Mineralização Bom Retiro

A partir da liberação dos fluidos derivados da cristalização de rochas intrusivas, algumas identificadas em superfície, há uma contribuição com elementos favoráveis a processos metassomáticos, que tendo interação com o mármore calcítico, resulta na formação de escarnitos cálcicos.

Durante o hidrotermalismo progressivo (de alta temperatura), os primeiros minerais a se desenvolverem foram os piroxênios (Diopsídio) e granadas (Andradita), formados no interior do mármore (MEINERT, 2005). A presença da andradita ao invés de glossulária também sugere estar mais distante da fonte geotérmica.

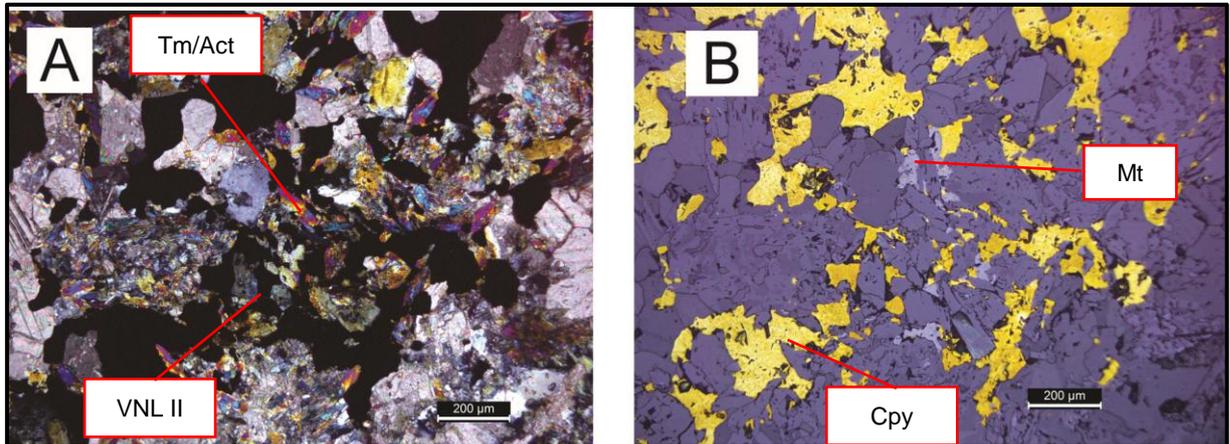
Com o resfriamento da intrusão, fluidos de mais baixa temperatura começaram a circular, o que causou uma alteração retrógrada nas rochas, gerando minerais hidratados a partir dos minerais anidros. A textura que representa a entrada de fluidos é observada nos arredores dos porfiroblastos de granada e pelo fraturamento das mesmas e minerais preenchendo estas fraturas, por vezes, até com brechamento hidráulico.

Os piroxênios foram quase todos obliterados, restando poucos fragmentos, estando a maioria deles alterados para epidoto, clorita e actinolita/tremolita. Alteração esta, formada neste evento retrógrado.

A mineralização composta predominantemente por calcopirita e, subordinadamente, calcocita e bornita, se apresenta na fase retrógrada estando em equilíbrio com os minerais de ganga como actinolita, tremolita, clorita, epidoto e calcita. Por vezes, esses minerais se apresentam como vênulas independentes, os

quais podem não estar somente associados a hidrotermalismo retrógrado, mas a diferentes eventos hidrotermais (figura 22).

Figura 22: Mineralogia de minério em equilíbrio com o de ganga em (a) a luz transmitida e em (b) a luz refletida.



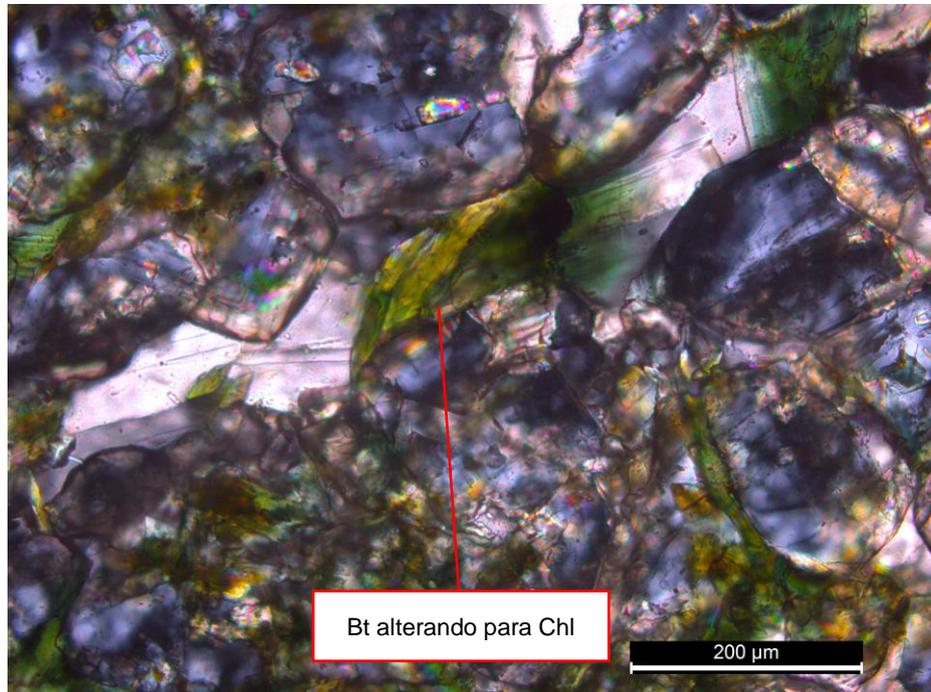
Fonte: Autor

Por essas características a ocorrência OC-1 da Bom Retiro se define como exoescarnito calcítico, mineralizado em fase retrógrada. Muito comum entre escarnitos mineralizados (MEINERT, 2005).

Na OC-2 temos a fonte mineralizadora, a VNL II, que engloba minerais de andradita e diopsídio, os quais foram remobilizados do OC-1. Esta VNL II também apresenta características mineralógicas e texturais de sistema tipo Skarn retrógrado, porém de menor temperatura que OC-1, marcado pela presença de minerais hidratados e de baixa temperatura (MEINERT, 2005).

Porém a presença, em vênulas de quartzo, da biotita alterando para clorita pode marcar uma alteração potássica que sofreu *overprint* (figura 23), gerando minerais de mais baixa temperatura (SILLITOE *et al.* 2010), sendo o responsável pela maior parte da mineralização.

Figura 23: Possível *overprint* de uma alteração potássica, marcado pela Biotita (Bt) alterando a clorita (Chl).



Fonte: Autor

Embora, também haja a possibilidade da OC-2 ser uma evolução do processo retrógrado da OC-1, segundo Relatório de Pesquisa da Amazônia Mineração (2008), esta é independente da OC-1, e sem qualquer relação, a qual, inclusive, corta não somente a OC-1, mas também, as demais litologias.

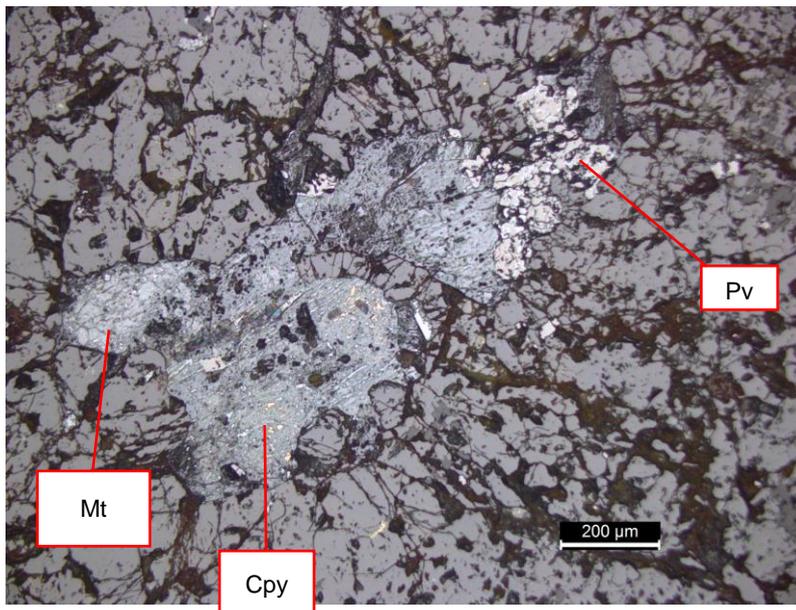
9.2 Skarn versus mineralização Bom Retiro

O *Skarn* mapeado em superfície (SKP) apresenta glossulária, bem formadas e menor presença de diopsídio, definindo assim uma maior proximidade a fonte geotérmica (FOSTER *et al.*, 2004). Uma vez que não foram encontrados minerais de baixa temperatura e nem hidratados, entende-se que foi formado por um processo metassomático hidrotermal prógrado de alta temperatura e baixa pressão (MEINERT *et al.*, 2005).

No hidrotermalismo prógrado em *Skarns* não é comum mineralização associada (MEINERT, 2005), estando quase sempre relacionada a um hidrotermalismo retrógrado (trajetória que se dá com a diminuição da temperatura no sistema).

No SKP também foi observado venulações de quartzo (com traços de magnetita, calcopirita e pirita denominadas, para título de maior entendimento e facilidade este trabalho, como VNL – X (figura 24). Estas por sua vez, pela sua mineralogia, são de maior temperatura. Por essas características, esta vênula pode ser caracterizada como vênula tipo M de um sistema Cu-pórfiro (SILLITOE, 2010).

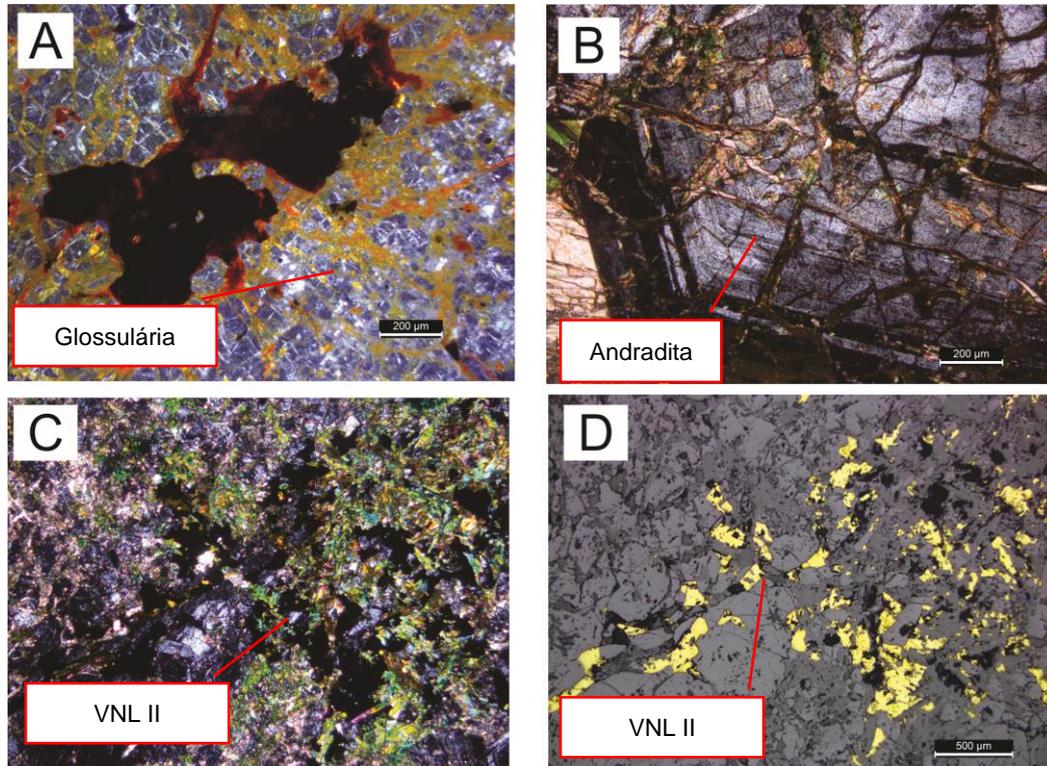
Figura 24: Minerais de quartzo com magnetita (Mt), calcopirita (Cpy) e pirita (py) preenchendo fraturas ou em venulações (VNL – X).



Fonte: Autor

Pela relação de campo e petrográfica, não foi possível definir se SKP e OC-1 (ver lista de abreviaturas) foram formados concomitantemente e suas diferenças são dadas principalmente pela distância da fonte geotérmica ou se SKP foi formado primeiro por ser proximal e o OC-1 posterior por ser distal, conforme visto na petrografia (figura 25).

Figura 25: (a) Escarnito SKP (Glossulária a luz transmitida); (b) Escarnito OC-1 (Andradita a luz transmitida); (c & d) Mineralização posterior a formação dos escarnitos (VNL II a luz transmitida e refletida);



Fonte: Autor

Não é possível identificar se a VNL – X foi formada concomitantemente ao SKP ou a OC-1, ou se ainda, ela é correspondente a VNL I da Bom Retiro, conforme destacado na tabela 2., portanto o estágio em que se formou é incerto e foi definida de forma interpretativa. Já OC-2 ocorreu posterior a OC-1 conforme observado em campo e em lâmina (tabela 2).

Tendo em vista os estágios de formação dos escarnitos e da mineralização conforme discutido acima, a OC-1, pela sua mineralogia, é um escarnito mais distal da fonte geotérmica que o formou (FOSTER *et al.*, 2004) e o SKP, conforme definido acima, estaria mais proximal, pode-se sugerir duas hipóteses:

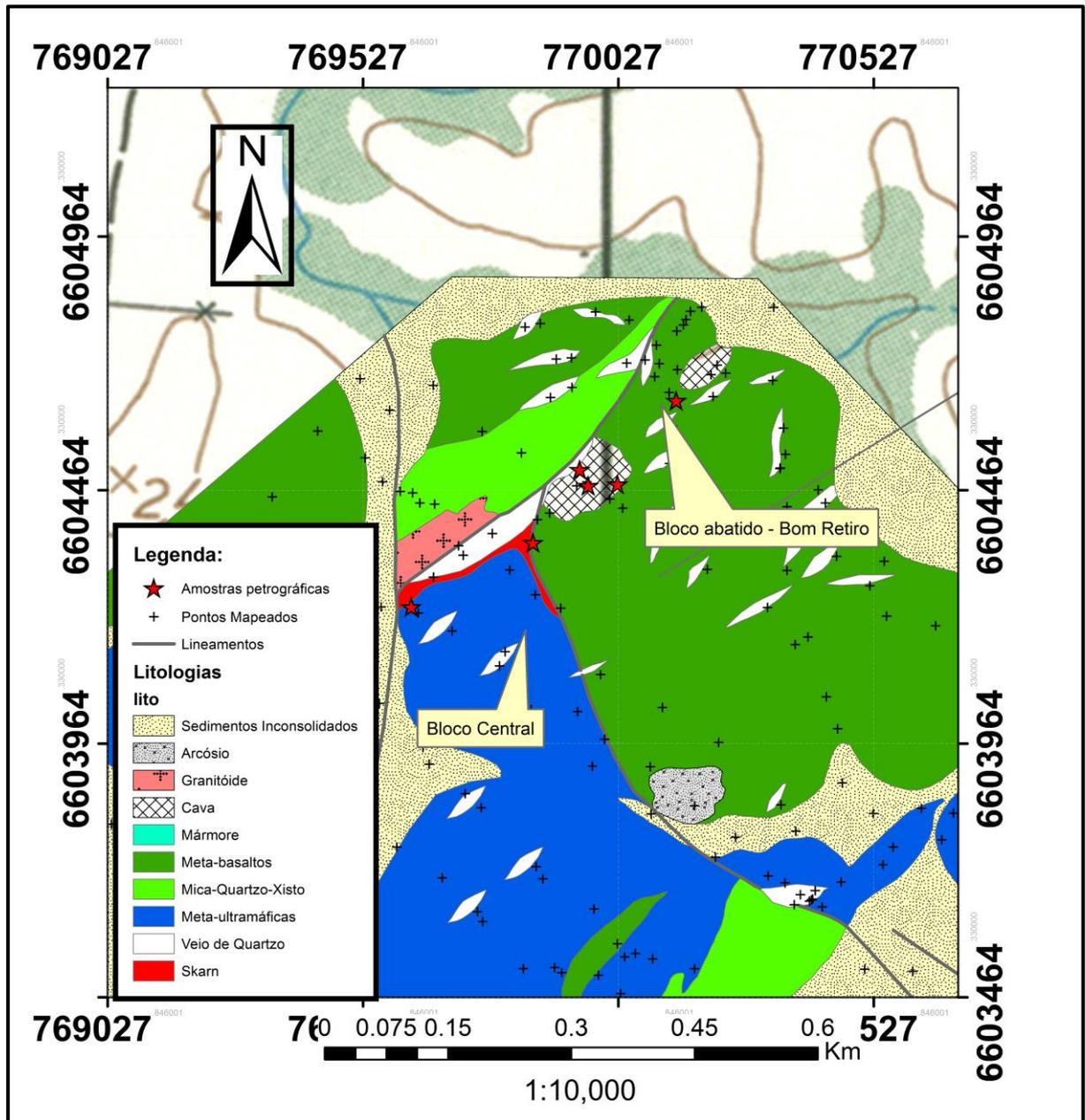
1. Hipótese: O SKP tem uma maior proximidade da fonte térmica que o gerou e não sofreu processos retrógrados. Isto permitiu que fluídos de mais baixa temperatura tivessem o seu escape para norte, na região da ocorrência de Cu-Au, mineralizando-a;

2. Hipótese: Há estrutura NW que secciona o sistema Skarn. O bloco central (figura 26) pode corresponder a um bloco alto com escarnitos mais próximos

da fonte geotérmica, onde o bloco abatido hospeda a Mina Bom Retiro, apresentando um sistema Skarn que pode ter sofrido efeitos de interação com água meteórica ou apenas alteração retrógrada.

Ambas as hipóteses são de suma importância, pois, através das mesmas, é possível traçar um vetor geotérmico, tendo um *Skarn* de mais alta temperatura a sul e outro de mais baixa temperatura na Mina Bom Retiro, similar aos *Skarns* associados a pórfiros alcalinos como no distrito mineiro de Cadia – AUS (FOSTER *et al.*, 2004).

Figura 26: Localização do bloco central (soerguido) e bloco abatido onde está situada a Mina Bom Retiro.



Fonte: Autor

9.3 Paragênese mineral

A paragênese mineral do minério e da ganga, da ocorrência Bom Retiro e do Skarn a sul, é bem marcada em diferentes fases, sendo possível definir um diagrama de paragênese mineral por estágios de formação dos minerais, conforme a tabela 2.

Tabela 2: Sequência paragenética simplificada da assembleia mineral do minério e de minerais de alteração hidrotermal.

Fases Minerais	Skarn Sul	Bom Retiro	
	SKP	OC-1	OC-2
Silicatos			
Andradita		Abundante	
Glossulária	Abundante		
Diopsídio	Casual	Abundante	
Epidoto		Casual	Abundante
Actinolita		Casual	Abundante
Tremolita		Casual	Abundante
Quartzo	Casual	VNL - X = VNL I ?	
Sulfetos			
Calcopirita	Casual	VNL - X = VNL I ?	
Calcocita		Casual	
Pirita	Casual	VNL - X = VNL I ?	
Óxidos			
Hematita		Traço	
Magnetita	Abundante	VNL - X = VNL I ?	
Carbonatos			
Calcita		Abundante	

Abundante: **————** Casual: **———** Traço: **■ ■ ■ ■ ■**

Fonte: Autor

Com o diagrama de paragênese mineral é possível observar as principais diferenças mineralógicas entre o SKP, OC-1 e OC-2 quanto a mineralogia de alta temperatura e anidra. No SKP há glossulária, quartzo e magnetita, em contraste com a presença de minerais hidratados e de baixa temperatura nas OC-1 e OC-2.

Uma outra característica importante é a zonação do diopsídio, sendo mais abundante em OC-1 e menos abundante em SKP, que segundo Meinert (2005), essa

zonação na abundância e/ou presença dos piroxênios define uma maior proximidade a fonte geotérmica do Skarn com menor abundância. Neste caso, o SKP seria o mais proximal a fonte e a OC-1 a mais distal.

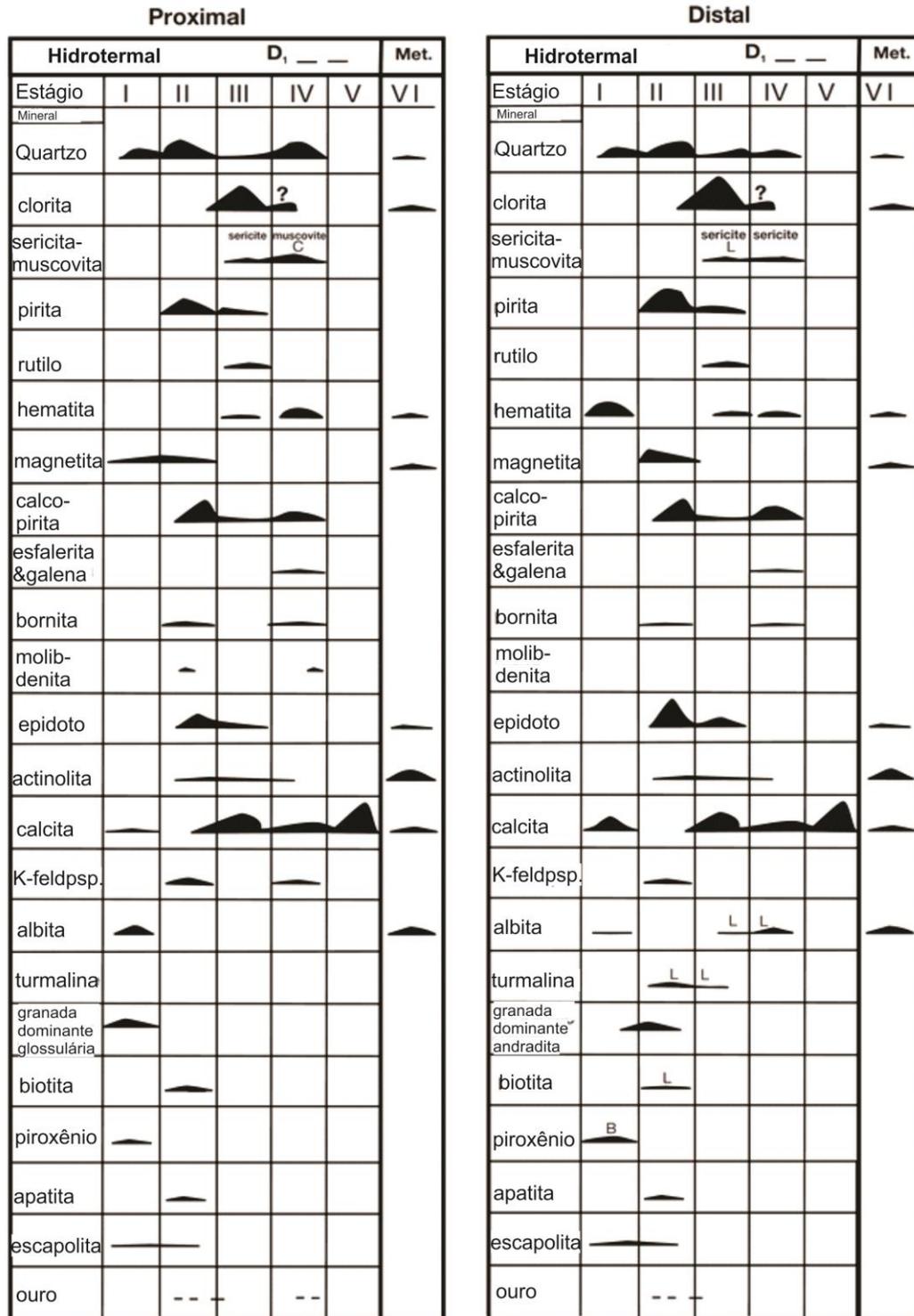
Comparando este diagrama (tabela 2) com os dos *Skarns* de Cadia Quarry e Cadia Far East (AUS) na tabela 3, que são depósitos famosos associados a Cu-pórfiros alcalinos, podem-se observar algumas semelhanças, como por exemplo: (1) a presença dominante de Glossulária no Skarn proximal ao sistema intrusivo Cu-pórfiro é similar ao SKP; (2) a presença de andradita predominante em OC-1 é similar ao *Skarn* Distal de Cadia; (3) a presença de zonação quanto a distribuição de piroxênios é similar a ambos (proximal e distal); e (4) o aparecimento do minério que se dá em estágios posteriores ao da formação do *Skarn* (FOSTER. B. D. *et al.*, 2004).

Vale lembrar que para ser realizada uma comparação mais precisa seria necessário mais dados e métodos mais sofisticados como: Microsonda Eletrônica de Varredura, Datação, Inclusão Fluída e Difractometria de Raio-X.

Porém, mesmo com poucas informações é possível realizar comparações, que sugerem uma relação metalogenética na região do Bom Retiro similar à de Cadia.

Também vale lembrar outro aspecto significativo, em comparação ao modelo Cu-pórfiro tradicional de Sillitoe (2010), que é a presença de vênulas de quartzo com magnetita, calcopirita e pirita SKP, que poderiam ser correspondentes a venulação tipo I (VNL I) da ocorrência Bom Retiro as quais, pelas características mineralógicas, podem ser caracterizadas como vênulas tipo M que são de mais alta temperatura e salinidade, comum em Cu-pórfiros (SILLITOE, 2010), porém, para comprovação dessa relação, seriam necessários outros métodos analíticos.

Tabela 4: Paragênese mineral dos depósitos Escarníticos de Cadia (AUS). Separados por assembleia mineral proximal (Cadia Quarry e Cadia Far East) e distal (Big Cadia e Little Cadia), relativa a posição em relação ao complexo intrusivo de Cadia (AUS).



Fonte: Traduzido de Foster *et al.* 2004.

Já na mina Bom Retiro, temos vênulas responsáveis pela mineralização com mineralogia de baixa temperatura, de minerais hidratados e com a presença do minério, não existente em SKP, estando numa fase retrógrada e sendo formado através de uma solução hidratada de baixa temperatura comum em exoescarnitos (MEINERT, 2005) ou por um processo de *overprint* de uma possível alteração potássica mineralizada (SILLITOE, 2010).

De qualquer maneira com a comparativa ao distrito mineiro de Cadia (AUS) ou a um modelo de Cu-pórfiro tradicional conforme Sillitoe (2010), tanto a mineralogia quanto a sequência de paragênese sugerem uma proximidade a um sistema Cu-pórfiro.

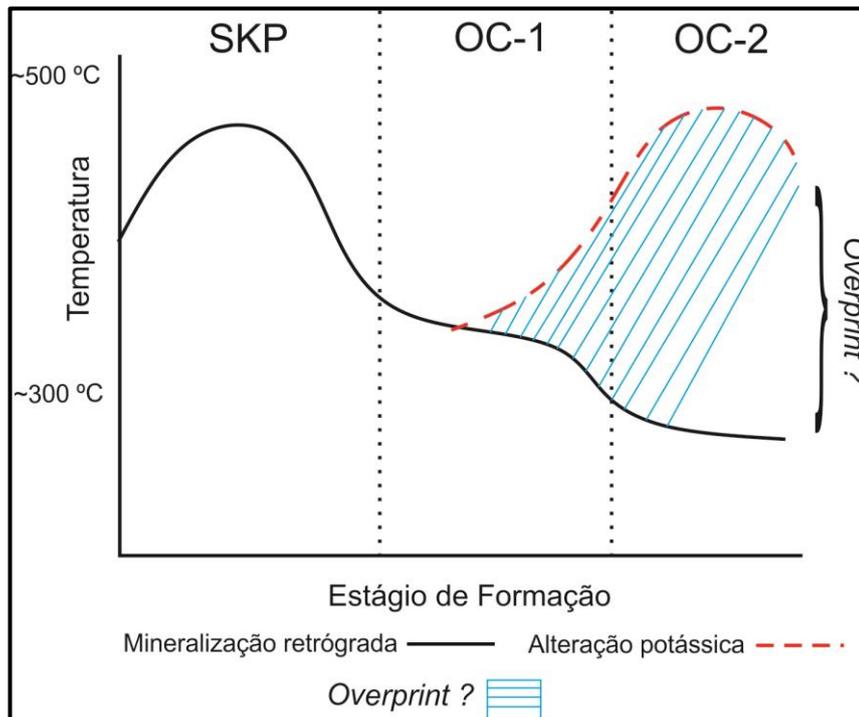
9.4 Gradiente geotérmico

Com as relações petrográficas vistas em lâmina e as discussões realizadas anteriormente foi possível confeccionar, de maneira simplificada, um diagrama esquemático de estágio de formação *versus* temperatura (Figura 27), no qual pode ser destacado que o escarnito a sudoeste da Bom Retiro (SKP) foi formado a uma temperatura maior que o escarnito da Bom Retiro (OC-1) e à mineralização (OC-2) seguindo uma trajetória retrógrada.

Também foi possível construir uma trajetória de temperatura idealizada para a hipótese da mineralização da Bom Retiro (OC-2) ser uma alteração potássica com *overprint* (figura 27), processo hidrotermal no qual houve sobreposição da alteração hidrotermal original formando minerais de baixa temperatura, conforme já discutido neste trabalho.

Vale salientar que para confeccionar um diagrama de trajetória de temperatura em relação aos estágios da mineralização, fiéis ao processo ocorrido, seria necessário mais dados e métodos analíticos específicos, como por exemplo, Inclusão Fluída.

Figura 27: Diagrama esquemático de estágio de formação *versus* Temperatura relacionando SKP, OC-1 e a OC-2.

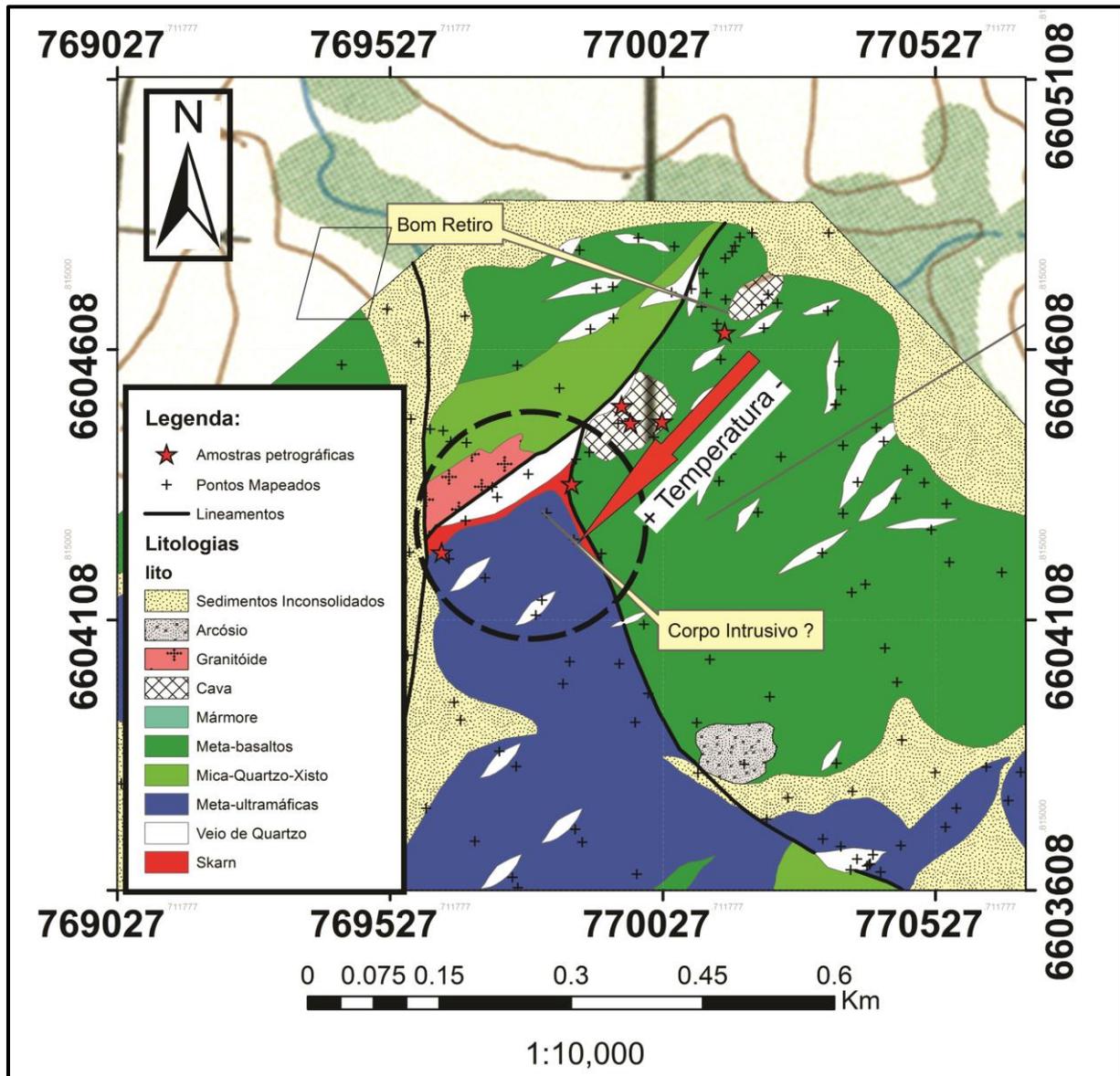


Entretanto, com este diagrama esquemático, já se pode ter uma ideia do gradiente geotérmico, com maiores temperaturas a sudoeste e menores a nordeste (figura 28), mostrando com clareza que a fonte geotérmica deve estar associada a algum corpo intrusivo de alta temperatura (~500°C), necessário para a formação do escarnito rico em glossulária (SKP).

Caso fosse oriundo do metamorfismo, seria necessário metamorfismo de fácies anfíbolito, uma vez que as rochas da região apresentam fácies metamórfica xisto verde (REMUS, 1990).

Por fim, todas as relações discutidas neste trabalho sugerem que há um corpo intrusivo, fonte geotérmica e talvez da mineralização (Cu-pórfiro?), mais próximo do escarnito sul (SKP), o qual pode ser que esteja no bloco central, ou pelo menos a sul-sudoeste da Bom Retiro (figura 28).

Figura 28: Mapa Geológico com gradiente de temperatura e hipótese de um corpo intrusivo próximo ao escarnito rico em glossulária (SKP).



Fonte: Autor

10 Conclusões

Foi possível concluir uma série de fatos com os dados obtidos e discutidos neste trabalho, os quais foram enumerados a seguir:

1. Pela relação de campo em conjunto com características mineralógicas e texturais a ocorrência Bom Retiro pode ser caracterizada como escarnito cálcico (OC-1).
2. A segunda ocorrência da Bom Retiro (OC-2), onde está a maior concentração do minério, pode ser oriunda de um processo hidrotermal retrógrado posterior à primeira ocorrência (OC-1) ou é um *overprint* de uma alteração potássica.
3. As principais diferenças entre OC-1 e OC-2 é quanto a mineralogia de menor temperatura, maior abundância do minério e ocorrência de ouro em OC-2, já em OC-1 minerais de mais alta temperatura.
4. Há presença de vênulas similares as vênulas tipo M (SILLITOE, 2010) no escarnito a sul da Bom Retiro, que podem estar associadas a um sistema tipo Cu-pórfiro.
5. As relações de campo e petrográficas entre os escarnitos e a mineralização sugerem maior temperatura no escarnito a sudoeste da Bom Retiro (SKP).
6. A temperatura necessária para formar tais escarnitos, principalmente o SKP, sugere a presença de um corpo intrusivo nas proximidades, sendo mais próximo do escarnito sudoeste (SKP).
7. A distribuição espacial e a paragênese mineral dos escarnitos da região são similares ao do distrito mineiro de Cadia (AUS), podendo a ocorrência Bom Retiro, por comparação, ser associada a um pórfiro alcalino.

Por fim, a metodologia adotada cumpriu de forma satisfatória os objetivos do trabalho e demonstrou, sem o auxílio de metodologias sofisticadas, eficiência ao solucionar problemas geológicos a princípio complicados, como a vetorização de uma possível fonte da mineralização (Bom Retiro), salientando mais uma vez, a importância das metodologias clássicas da geologia como mapeamento geológico e petrografia.

REFERÊNCIAS

Amazônia Mineração, 2004. **Projeto Palma – Relatório Final de Pesquisa**

Barr, D. A., *et al.* 1976. **The alkaline suite porphyry deposits.** A summary: Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum Special, v. 15, p. 359 - 367

Bitencourt, M. F., Philipp, R.P.; Azevedo, G.C.; Santos, E.L., Holz, M & Dillenburg, S. **Mapa Geológico Lagoa da Meia Lua – Rufino Farias. Escala 1:50.000** 1996.

Burt, D. M., 1977. **Mineralogy and Petrology of Skarns deposits.** Rendiconti della Societa Italiana di Mineralogia e petrologia, v 33. P. 859-873

Chemale Jr. F., 1982. **Geologia da região da Palma, São Gabriel, Rio Grande do Sul.** Dissertação de Mestrado em Geociências. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 146p.

Chemale Jr, F., Hartmann, L.A., da Silva, L.C. **Stratigraphy and tectonism of the Brasiliano Cycle in southern Brazil.** *Commun. Geol. Surv. Namibia* 10, 1995, 151–166.

Cooke. R. D., Hollins. P. **Giant Deposits: Characteristics, Distribution, and Tectonic Controls: Economic Geology**, v. 100, 2005, p. 5

Gastal, M. C. P., Nardi, L. V. S., 1992. **Petrogênese e Evolução do Granito Jaguari: Um Tipico representante Metaluminoso da Suíte Intrusiva Alcalina Saibro, RS.** *Geochem. Brasil.*, 6(2), 1992, pp 169 -189.

Guy, B. A. *et al.* 1988. **Etude microthermometrique des inclusions fluides des skarns a tungstene de costabonne (Pyrenees, France).** *Comptes Rendus de la Academie des Sciences de la terre*, v. 307, p. 33-38

Hames, W. E., *et al.* 1989. **Postmetamorphic unroofing history deduced from petrology, fluid inclusions, thermochronometry, and thermal modeling: An example from southwestern New England.** *Geology*, v. 17, p. 727-730

Hartmann, L.A., Nardi, L.V.S., Formoso, M.L.L., Remus, M.V.D., De Lima, E.F., Mexias, A.S. **Magmatism and metallogeny in the crustal evolution of Rio Grande do Sul Shield, Brazil.** *Pesquisas* 26 (2), 45–63, 1999, Porto Alegre.

Hartmann, L. A.; Chemale Jr., F.; Philipp, R. P., 2007. **Evolução Geotectônica do Rio Grande do Sul no Pré-Cambriano.** In: Iannuzzi, R. & Frantz, J.C. (Ed.): 50 ANOS de Geologia: Instituto de Geociências. Contribuições, p. 97-123.

Kwak, T. A. P., 1987. **W-Sn Skarn deposits and related metamorphic skarns and granitoids.** *Developments in Economic Geology*, v. 24, p. 451

Lopes, A, P., Hartmann, L. A. **Geoquímica de rochas metabasálticas da Mina Palma, Bloco São Gabriel, Escudo Sul Riograndense. Um possível platô Oceanico,** 2003.

Masterman, G.J., *et al.* 2005. **Fluid chemistry, structural setting, and emplacement history of the Rosario Cu-Mo porphyry and Cu-Ag-Au epithermal veins, Collahuasi district, northern Chile.** *Economic Geology*, v. 100, p. 835–862.

Meinert, L.D. **Skarn and Skarn Deposits.** *Geoscience*, 19(4), 1992, 145-162

Meinert, L.D. **World Skarn Deposits.** Society of Economic Geologists, Inc. *Economic Geology 100th Anniversary Volume*, 2005, pp. 299–336

Naumann, M.P. 1985. **O complexo vulcano-sedimentar-ultramáfico e granitóides da região de Ibaré/RS.** Porto Alegre, 161p. Dissertação de Mestrado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Nicolesc, S., & Cornell, D. H., 1999. **P-T conditions during skarn formation in the Ocna de Fier ore district.** Romania: Mineralium Deposita, v. 34, p. 730-742.

Plum, D. V.A. B. **An Unusual 'Crack and Seal' vein geometry.** *Journal of structural geology*, vol. 6, nº 5, p 593 – 597, 1984.

Remus, M. V. D. **Mapeamento geológico de sequencias meta vulcano-sedimentares do Oeste do Escudo Sul-Riograndense, RS** In: Congr Brasil. Geol: 36, 1992, Anais...Natal, v. 6: 2976-2990.

Remus, M. V. D. **Geologia e geoquímica do Complexo Cambaizinho, São Gabriel - RS.** Dissertação de mestrado. PPGGEO-UFRGS, 1990, 267 p. Porto Alegre.

Richards, J. P., Boyce, A.J., and Pringle, M. S. **Geologic evolution of the Escondida area, northern Chile:** A model for spatial and temporal localization of porphyry Cu mineralization: *Economic Geology*, v. 96, 2001, p. 271–305.

Saalmann, K., Hartmann, L. A., Remus, M. V. D., Koester, E. & Conceição, R. V. 2005. **Sm–Nd isotope geochemistry of metamorphic volcano-sedimentary successions in the São Gabriel Block, southernmost Brazil: evidence for the existence of juvenile Neoproterozoic oceanic crust to the east of the Rio de la Plata craton.** *Precambrian Research*, 136(2): 159-175.

Sillitoe, R. H., 1997, **Characteristics and controls of the largest porphyry copper-gold and epithermal gold deposits in the circum-Pacific region.** *Australian Journal of Earth Sciences*, v. 44, p. 373–388.

Sillitoe, R. H., 1998. **Major regional factors favouring large size, high hypogene grade, elevated gold content and supergene oxidation and enrichment of porphyry copper deposits.** in Porter, T.M., ed., *Porphyry and hydrothermal copper and gold deposits: A global perspective*: Adelaide, Australian Mineral Foundation, p. 21–34.

Sillitoe, R. H., 1999^a. **VMS and porphyry copper deposits: products of discrete tectonomagmatic settings**. Mineral deposits: Processes to processing: Biennial SGA Meeting, 5th, and Quadrennial IAGOD Symposium, 10th, London, Proceedings, v. 1, p. 7–10.

Sillitoe, R. H., 2010. **Porphyry Copper Systems**. Society of Economic Geologist Inc. Economic Geology v 105, p. 3-41.

Soliani Jr., E.; Koester, E.; Fernandes, L.A.D. (2000) **Geologia isotópica do Escudo Sulrio-grandense, parte II: os dados isotópicos e interpretações petrogenéticas**. In: Holz, M.; De Ros, L.F. (Eds.) Geologia do Rio Grande do Sul. CIGO-UFRGS, p. 175-230.

Tosdal, R.M., and Richards, J.P., 2001, **Magmatic and structural controls on the development of porphyry Cu ± Mo ± Au deposits**: Reviews in Economic Geology, v. 14, 2001, p. 157–181.

UFRGS. **Mapeamento Geológico: 1:25.000 - Projeto Lagoa da Meia Lua-Rufino Farias- Vila Nova . Faixa X** -Monografia de Trabalho de Conclusão UFRGS, 1996.

Watanabe, T., 1960, **Characteristic features of ore deposits found in contact metamorphic aureoles in Japan**: International Geology Review, v. 2, p. 946-966

Zeni, M, A. **Petrologia dos escarnitos hospedados nos mármorees da mina Ibaré, Vila Palma, RS** – Monografia de Trabalho de Conclusão UFRGS, 2015