



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE GEOLOGIA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**ESTUDO PETROGRÁFICO DOS VEIOS AURÍFEROS DAS FRENTES
DE LAVRA MOGNO E IPÊ DA MINA DO PALITO, SUDOESTE DO
PARÁ**

Trabalho apresentado por:

SAMUEL DOS SANTOS LOBATO

Orientador: Prof. Dr. Evaldo Raimundo Pinto da Silva (UFPA)

Coorientador: Dr Marcelo Lacerda Vasquez (SGB-CPRM)

BELÉM – PARÁ

2022



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE GEOLOGIA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**ESTUDO PETROGRÁFICO DOS VEIOS AURÍFEROS DAS FRENTES
DE LAVRA MOGNO E IPÊ DA MINA DO PALITO, SUDOESTE DO
PARÁ**

Trabalho apresentado por:

SAMUEL DOS SANTOS LOBATO

Orientador: Prof. Dr. Evaldo Raimundo Pinto da Silva (UFPA)

Coorientador: Dr. Marcelo Lacerda Vasquez (SGB-CPRM)

BELÉM – PARÁ

2022

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

L796e Lobato, Samuel dos Santos.

Estudo Petrográfico dos Veios Auríferos das Frentes de Lavra
Mogno e Ipê da Mina do Palito, Sudoeste do Pará/ Samuel dos Santos
Lobato. – 2022

xix, 62f : il. color

Orientador(a): Prof. Dr. Evaldo Raimundo Pinto da Silva

Coorientador(a): Dr. Marcelo Lacerda Vasquez

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade
Federal do Pará, Instituto de Geociências, Faculdade de Geologia,
Belém, 2022.

1. Ouro 2. Hidrotermalismo. 3. Provincia Mineral do Tapajós. 4.
Distrito Jardim do Ouro. 5. Mina subterrânea. I. Título

CDD553.410981



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE GEOLOGIA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
ESTUDO PETROGRÁFICO DOS VEIOS AURÍFEROS DAS
FRENTES DE LAVRA MOGNO E IPÊ DA MINA DO PALITO,
SUDOESTE DO PARÁ

Apresentado por:

SAMUEL DOS SANTOS LOBATO

**Como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Geologia, área
evolução crustal, linha de pesquisa metalogênese.**

Data da aprovação: 28 / 07 / 2022

Conceito: EXCELENTE

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Evaldo Raimundo Pinto da Silva
(Orientador - UFPA)

Prof. Dr. Carlos Marcello Dias Fernandes
(Membro – UFPA)

Prof. Dr. Rosemary da Silva Nascimento
(Membro – UFPA)

Aos meus pais, Lourival (in memoriam) e Pedrita

AGRADECIMENTOS

Neste espaço pretendo expressar todo meu sentimento diante de tudo que vivi com meus familiares e amigos, que me ajudaram a chegar até aqui:

Agradeço a Deus por estar comigo todos os dias.

A minha família, em especial meus pais Lourival (Lauri) e Pedrita, por serem as pessoas que mais me inspiram a ser quem sou hoje, tudo que acredito e vivo, aprendi com eles. Aos meus irmãos Rafaela e Giovani, que por ser o filho caçula estiveram do meu lado, mostrando todos os caminhos, ensinando a viver a vida fora de casa. A minha vó Maria do Carmo, com a qual mora conosco, a mulher mais forte e de coração puro, obrigado por toda torcida. Todo incentivo e força de sair de casa e morar em outra cidade veio de vocês, muito obrigado.

Agradeço a Universidade Federal do Pará, a todas as oportunidades, conhecimento e visão de mundo. Ao Instituto de Geociências e Faculdade de Geologia, pelo fornecimento de infraestrutura e material durante a graduação.

Ao Serviço Geológico do Brasil – CPRM, pelo fornecimento de toda a infraestrutura e disponibilidade dos laboratórios para a elaboração do TCC, em especial ao pesquisador Dr. Marcelo Vasquez e aos técnicos Jenny, Rosalva e Danny. Todos muitos prestativos nas etapas, desde preparação de amostras, análises no MEV e conselhos diante das dificuldades.

A empresa Serabi Gold, na qual tive oportunidade de desempenhar o papel de estagiário, função que me deixou ainda mais apaixonado pela área. Em especial agradeço ao setor Geologia de Mina, Planejamento e Topografia, aos Geólogos Natanael Silva, Anderson Brito e Paula Braz, Romulo, Leonardo, Huenton, e os Engenheiros Paulo Abrantes e Farley, aos técnicos Jacinto, Imer, Diego e Paulo Cardoso, profissionais que são incríveis, obrigado por todos os ensinamentos e pelo laço de amizade que foi criado ao longo do tempo.

Aos meu orientador Dr. Prof. Evaldo da Silva e meu coorientado Dr. Marcelo Vasquez, agradeço por terem aceitado a proposta e me auxiliarem com paciência e dedicação no avanço da pesquisa. Todas as sugestões e correções foram muito valiosas e me ajudaram a chegar até aqui.

Aos meus amigos, com os quais tive a oportunidade de dividir república, Maria Paula, Renato, Fernanda, todos os dias dividimos angústias, rotinas, acontecimentos e um ajudando o outro nos perrengues de morar longe da família. A Maria Paula, que em um segundo momento, morarmos juntos, e nessa etapa nosso laço cresceu mais ainda, obrigado por todo incentivo.

Aos meus amigos de graduação, a denominada GEO16, vocês foram minha segunda família, longe de casa foi com vocês que consegui abrigo e força nos dias difíceis. Todos os momentos foram de grande valia para mim, vivemos tudo que tinha que melhor na graduação, muito obrigado, vou guardar todas as lembranças. Em especial Sandy, Carlos, Marcelo, Kalebe, Wivian, Brenda, Yury, Eli, Isa, Manaças, Ripardo, Cereja, Guilli, Pedro, Sepeda, Gio e Iolanda.

Aos meus amigos de longa data, que me conhecem mais do que nunca, sem dúvida sem vocês, não seria capaz de chegar até aqui. Com vocês sou capaz de ser aquela pessoa pura e integral, sem medo de nada. Obrigado pela parceria e por todos os momentos. Em especial a Valeria, Diego, Emily, Debora, Eduarda e Junior.

Ao meu pai, dedico tudo que sou e tudo que vou me tornar. Desde que comecei minha jornada, ele foi a pessoa mais presente, sempre comigo em todas as realizações diárias e preocupações. A saudade é constante, mas o amor e a certeza de que vou ter sempre seu amor comigo me deixa de coração cheio. Te amo muito, sua memória vai estar comigo sempre.

Por fim, minha imensa gratidão a todos que contribuíram direta ou indiretamente para a conclusão e realização do trabalho bem como da minha graduação. Muito obrigado!!

RESUMO

O depósito do Palito, localizado na porção leste do Distrito Jardim do Ouro (DJO), sudoeste do Pará, hospeda um dos principais depósitos de ouro da Província Mineral do Tapajós (PMT) com mina em produção desde 2003, em recursos estimados em 90.000 toneladas de minério em reservas medidas e indicadas, com teor médio de 8,04g/t de Au (Serabi Gold, 2020). Os corpos de minérios, na mina, ocorrem como filões subverticais com quartzo e sulfetos disseminados ou maciços alojados no Granito Palito (1,88 Ga), caracterizado por textura predominantemente porfírica e intensamente hidrotermalizado. A mineralização é predominantemente controlada por uma zona de cisalhamento de direção NW–SE, do tipo rúptil-dúctil transcorrente sinistral, com algumas variações de direção produto de falhas ou diques, distribuídas nos halos de alteração (Costa, 2008). Quanto a distribuição das alterações hidrotermais na unidade, pode-se reconhecer a existência de três tipos distintos, como metassomatismo potássico, propilitização e alteração sericítica em estilos pervasivos, pervasivo seletivo e fissural (Echeverri-Misas, 2010). Afim de identificar as principais características dos veios mineralizados, de acordo com parâmetros estruturais e mineralógico, e com o intuito de fornecer novos dados e contribuir para o entendimento do enriquecimento mineral do depósito este trabalho foi proposto. Para isto, foram aplicadas técnicas petrográficas em microscópio convencional e por microscopia eletrônica de varredura (MEV-EDS) em amostras dos veios Mogno e Ipê, coletadas em distintos níveis e galerias. De posse dos dados, constatou-se a ocorrência de sulfetos maciços e sua relação com os veios de quartzo em função das variações de conteúdo mineralógico, além da associação mineral entre as partículas de electrum (Au-Ag) e outros sulfetos como calcopirita e sulfetos de Bi com Cu, S, Fe e Te. Esses resultados representam a oportunidade para a elaboração de um modelo genético do enriquecimento metálico nos filões Mogno e Ipê em função dos processos de alteração hidrotermal e possíveis pulsos de reativação no sistema mineralizante, este podendo advir da entrada de corpos subvulcânicos próximos aos filões mineralizados, alterando as condições de precipitação do fluido hidrotermal em diferentes localidades do corpo de minério. Tal constatação pode contribuir no planejamento de mina e cálculo de recursos e reservas, podendo garantir e otimizar o processamento mineral.

Palavras-chave: ouro; hidrotermalismo; Província Mineral do Tapajós; Distrito Jardim do Ouro; Mina subterrânea.

ABSTRACT

The Au/Cu do Palito deposit, located in the eastern portion of the Jardim do Ouro District (DJO), southwest of Pará, hosts one of the main gold deposits of the Tapajós Mineral Province (PMT) with a mine in production since 2003, in estimated at 90,000 tons of ore in measured and indicated reserves, with an average content of 8.04g/t of Au (Serabi Gold, 2020). The ore bodies in the mine occur as subvertical veins with disseminated or massive quartz and sulfides placed in the Palito Granite (1.88 Ga), characterized by a predominantly porphyritic texture and intensely hydrothermal. The mineralization is predominantly controlled by a shear zone of NW–SE direction, of the brittle-ductile sinistral transcurrent type, with some variations in direction due to faults or dykes (Costa, 2008). As for the distribution of hydrothermal alterations in the unit, it is possible to recognize the existence of three distinct types, such as potassium metasomatism, propylitization and sericitic alteration in pervasive, selective pervasive and fissure styles (Echeverri-Misas, 2010). In order to identify the main characteristics of the mineralized veins, according to structural and mineralogical parameters, and in order to provide new data and contribute to the understanding of the mineral enrichment of the deposit, this work was proposed. For this, petrographic techniques were applied under conventional microscope and scanning electron microscopy (SEM-EDS) in samples from the Mogno and Ipê veins, collected at different levels and galleries. With the data in hand, the occurrence of massive sulfides and their relationship with quartz veins was verified as a function of variations in mineralogical content, in addition to the mineral association between electrum particles (Au/Ag) and other sulfides such as chalcopyrite and sulfides of Bi with Cu, S, Fe and Te. These results represent an opportunity for the elaboration of a genetic model of metallic enrichment in the Mogno and Ipê veins as a function of the hydrothermal alteration processes and possible reactivation pulses in the mineralizing system, which may come from the entry of subvolcanic bodies close to the mineralized veins, altering the conditions of precipitation of the hydrothermal fluid in different locations of the ore body. Such a finding can contribute to mine planning and calculation of resources and reserves, and can guarantee and optimize mineral processing.

Keywords: Gold; Hidrotermalismo; Tapajós Mineral Province; Jardim do Ouro District; Underground mine.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1- Localização das áreas do Distrito Jardim do Ouro e da Mina Palito (modificado de Vasquez *et al.* 2017). 3
- Figura 2 - Províncias geocronológicas do Cráton Amazônico de Santos (2003) e domínios tectônicos das províncias Tapajós-Parima e Amazônia Central (modificado de Vasquez *et al.* 2008, 2017). 8
- Figura 3 - Mapa geológico simplificado do Distrito Jardim do Ouro e da área São Domingos com a localização área de estudo. Composição da geologia sobre imagem de modelo digital de terreno em tons de cinza (modificado de Vasquez *et al.* 2020). 11
- Figura 4 - Mapa geológico esquemático da área da mina do Palito (modificado de Vasquez *et al.* 2020); 13
- Figura 5 Seção esquemática dos principais veios mineralizados da mina do Palito (modificado de Serabi Gold 2019, 2020). O perfil está localizado na Figura 4 14
- Figura 6 – (A) Veio Mogno, nível -40 setor sul, com quartzo e sulfetos associados. (B) Veio Ipê, nível -60, setor sul, com sulfetação maciça. Abreviações: re= encaixante, h= hidrotermalito, v=veio 15
- Figura 7 - (A) Falha transcorrente em veio (teto); (B) Falha transcorrente em veio, notar reativações com porções do hidrotermalito e caráter rúptil. (teto) Abreviações: re= encaixante, h= hidrotermalito, v=veio 16
- Figura 8 - Aspectos mesoscópicos veio Mogno. (A) Veio de quartzo maciço com sulfetos disseminados. (B) Hidrotermalito com veio de quartzo e sulfetos associados. (C) Amostra de mão, veio maciço rico em sulfetos e zona oxidada. 18
- Figura 9 - Fotomicrografia veio Mogno (A e B) Aspecto textural do hidrotermalito, notar clastos dispersos em matriz fina intensamente cloritizados, pirita contato reto com vênula e irregular com calcopirita (LP e NC). (C) Associação de minerais com minério, ilmenita fibrosa e possíveis partículas de Au (LP). (D) Alteração em cristais de calcopirita, observar alteração para covielita em borda (LP). 19
- Figura 10 - Fotomicrografia veio Mogno (A) Veio de minério com assembleia rica em calcopirita e associação com bornita e pirotita, notar borda oxidada (LP). (B) Inclusão de pirita (ou pirotita?) em calcopirita e opaco com borda em bornita (LP). 20
- Figura 11 - Aspectos mesoscópicos veio Ipê (A) hidrotermalito sulfetado com porções oxidadas (B) Veio cloritizado com veio de quartzo sulfetado em pirita e calcopirita. (C) Parte

de filão quartzo com alto conteúdo metálico, alta densidade e mineralogia em calcopirita, pirita e bornita.....	21
Figura 12 - Fotomicrografia veio Ipê (A e B) Aspectos texturais do veio, enfoque para matriz fina envoltos em sulfetos e quartzo (vênulas e granulares) (LR e NC). (C e D) Calcopirita anédrica com fraturas preenchidas. (LR e NC). (E e F) Cristal de pirita fraturado preenchido com clorita, enfoque para substituição de calcopirita por esfarelita (LR e NC).	23
Figura 13 - Fotomicrografia veio Ipê (A e B) Relação de contato entre pirita e calcopirita, notar inclusão de magnetita em calcopirita. (LP e LR).	24
Figura 14 - Imagem de elétrons retroespalhados (BSE) do veio. Ipê (A) Assembleia mineral e textural geral veio mineralizado. (B) Relação de contato e inclusões de sulfetos em hidrotermalito	25
Figura 15 - Imagens BSE (A) Veio de quartzo mineralizado, notar agregado de bismutinita granular fino. (B) Reações de substituição entre calcopirita e bismutinita. (C) Cristal de calcopirita substituída por bismunita e bismuto nativo. (D) Alterações na composição de Bi e Te, inclusas em calcopirita.....	26
Figura 16 - Imagem BSE (A) Galena em calcopirita, reação de substituição. (B) Veio de quartzo com esfarelita e galena em borda, indicando substituição (C) Cristais de barita anédrico em veio de quartzo, notar gerações de calcopirita (D) Pirita com cassiterita granular a fibrosa.....	28
Figura 17 - Imagem BSE (A) Partícula de <i>electrum</i> em calcopirita com textura treliça, notar diferença composicional em Cpy. (B) Partícula de Ouro em reação com calcopirita e quartzo. (C e D) Cristais ouro associado a compostos de bismuto e telúrio.	30
Figura 18 - Mapas de distribuição dos elementos químicos em partícula de <i>electrum</i> com calcopirita associada. A) Todos os elementos na partícula de <i>electrum</i> . B) Ouro, C) Prata, e D) Cobre.	32
Figura 19 - Mapas de distribuição dos elementos químicos em uma partícula de ouro com compostos de Bi e Te associados. A) Todos elementos, B) Ouro, C) Bismuto e D) Telúrio.	33
Figura 20 - Mapas de distribuição dos elementos químicos em partícula de <i>electrum</i> com compostos de Bi e Te associados. A) Todos os elementos na partícula de <i>electrum</i> . B) Ouro, C) Prata, e D) Cobre.	34
Figura 21 - Mapa área do Site Palito com galerias e veios (adaptado Serabi 2021)	39

Figura 22 - Seção Transversal Veio Mogno e Ipê com <i>sill</i> e diques associados (adaptado Serabi 2019).....	40
Figura 23 - Seção longitudinal Veio Mogno com pontos amostrais, galerias e disposição do <i>sill</i> (adaptado Serabi 2022).....	41
Figura 24 - Seção longitudinal Veio Ipê com pontos amostrais, galerias e disposição do <i>sill</i> (adaptado Serabi 2022).....	42
Figura 25 - Bloco esquemático com disposição dos corpos geológicos e veios mineralizados Mogno e Ipê e suas possíveis implicações para o controle mineralógico	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Análises semiquantitativa em % dos elementos em respectivos minerais.	26
Tabela 2 - Análises semiquantitativa em % dos elementos em respectivos minerais.	29
Tabela 3- Análises semiquantitativa em % dos elementos em respectivos minerais.	31
Tabela 4 - Minerais metálicos identificados nos veios Ipê e Mogno da Mina do Palito com auxílio de MEV-EDS	37

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CA: Craton Amazônico

PTP: Província Tapajós-Parima

DTJ: Domínio Tapajós

PMT: Província Mineral do Tapajós

PAT: Província Aurífera do Tapajós

DJO: Distrito Jardim do Ouro

Qtz: quartzo

Sp: esfarelita

Chl: clorita

Ser: sericita

Py: pirita

Cpp: calcopirita

Gn: galena

Cov: covelita

Po: pirotita

Bo: bornita

Bi: bismuto nativo

Bin: bismutinita

Bar: barita

El: electrum

Ilm: Ilmenita

Au: Ouro

Mgs: magnetita

Hdl: hedleyita

Cst: cassiterita

Ttd: tetradymita

LP: Luz polarizada

NC: Nicois cruzados

LR: Luz refletida

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	iv
AGRADECIMENTOS	iv
RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	viii
LISTA DE TABELAS	x
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 APRESENTAÇÃO.....	1
1.2 LOCALIZAÇÃO E ACESSO	2
1.3 JUSTIFICATIVAS	3
1.4 OBJETIVOS	4
1.4.1 Objetivos Específicos	4
2 METODOLOGIA.....	5
2.1 LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO	5
2.2 LEVANTAMENTO GEOLÓGICO DE CAMPO E PREPARAÇÃO DE AMOSTRAS ...	5
2.3 PETROGRAFIA E METALOGRAFIA.....	5
2.4 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA	6
3 GEOLOGIA REGIONAL	7
3.1 GEOLOGIA DO DISTRITO JARDIM DO OURO.....	9
3.2 GEOLOGIA DA MINA PALITO	11
4 RESULTADOS	17
4.1 PETROGRAFIA	17
4.2 ANÁLISE POR MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA.....	24
5 DISCUSSÕES	35
6 CONCLUSÃO.....	44
REFERÊNCIAS	45

1 INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO

O Domínio Tapajós (DTJ) da Província Tapajós-Parima foi formado pela acresção de sucessivos arcos magmáticos paleoproterozoicos na margem de um continente Arqueano (Tassinari & Macambira 1999, Santos *et al.* 2000). O DTJ hospeda importantes depósitos magmático-hidrotermais de ouro, além de depósitos subordinados de Sn, Nb-Ta e diamante, sendo referido metalogeneticamente como Província Mineral do Tapajós – PMT (Klein *et al.* 2001, Coutinho 2008, Juliani *et al.* 2014, Vasquez *et al.* 2017, 2021).

A mina do Palito, alvo deste estudo, é lavrada atualmente pela empresa Serabi Gold e está localizada na porção leste do Distrito Jardim do Ouro (DJO), sudoeste do Pará. Trata-se da principal mina de ouro da Província Mineral do Tapajós – PMT, estando em operação desde 2003. A mina do palito contém reservas estimadas de 90.000 t de minérios com um teor de 8,04 g/t de Au que equivale a 181 mil onças de ouro (Serabi Gold 2020). Do ponto de vista geológico, a mina do Palito corresponde a um depósito magmático-hidrotermal de Au e Cu hospedado em um granito do tipo cálcio-alcálico de alto K datado em 1880 Ma, pertencente a da Suíte Parauari e denominado de Granito Palito (Klein & Carvalho 2008, Echeverri-Misas 2010, Vasquez *et al.* 2017).

O Granito Palito e seus corpos encaixantes e intrusivos (diques de dacito) foram alvos de pesquisas no passado e contam com estudos de petrografia, geoquímica e geocronologia (Echeverri-Misas 2010, Santos *et al.* 2013). Além disso, o controle estrutural, a alteração hidrotermal, a composição dos fluidos mineralizantes e a paragênese metálica dos corpos de minério foram estudados por Costa (2008) e por Echeverri-Misas (2010).

Estudos da mineralogia e da composição química, em especial da variação dos teores Au e Cu com a profundidade nos principais veios da mina do Palito por Hole (2018) se mostraram importantes ferramentas na orientação da lavra do minério e no processamento mineral. Esses estudos auxiliaram na indicação da profundidade mais promissora para o ouro e para contaminantes, minerais que podem promover efeitos indesejados durante o processo de beneficiamento e liberação dos metais por cianetação.

Com base nisso, o presente estudo visa contribuir com novas informações sobre a mina Palito, em especial os veios Mogno e Ipê. Para isso, foram realizadas análises petrográfica e metalográfica por microscopia ótica, complementada por análise textural e de química mineral, do mineral de minério e dos minerais hidrotermais associados, por microscopia eletrônica de

varredura (MEV) dos dois veios (Mogno e Ipê),. Por fim, espera-se que encontrar parâmetros para avaliar a a variação dos teores de ouro com os avanços da frente de lavra do minério.

1.2 LOCALIZAÇÃO E ACESSO

A mina do palito está localizada no sudoeste do estado do Pará, no município de Itaituba há cerca de 220 km da sede municipal.

O acesso à área de estudo, a partir de Itaituba, ocorre pela rodovia federal BR-163 (Cuiabá-Santarém) até o distrito Moraes de Almeida. A seguir o acesso é dado pela rodovia do Ouro, a Transgarimpeira, que tem a travessia de balsa no rio Jamanxim na vila Jardim do Ouro e finalmente a estrada vicinal de acesso a mina do Palito (Fig. 1).

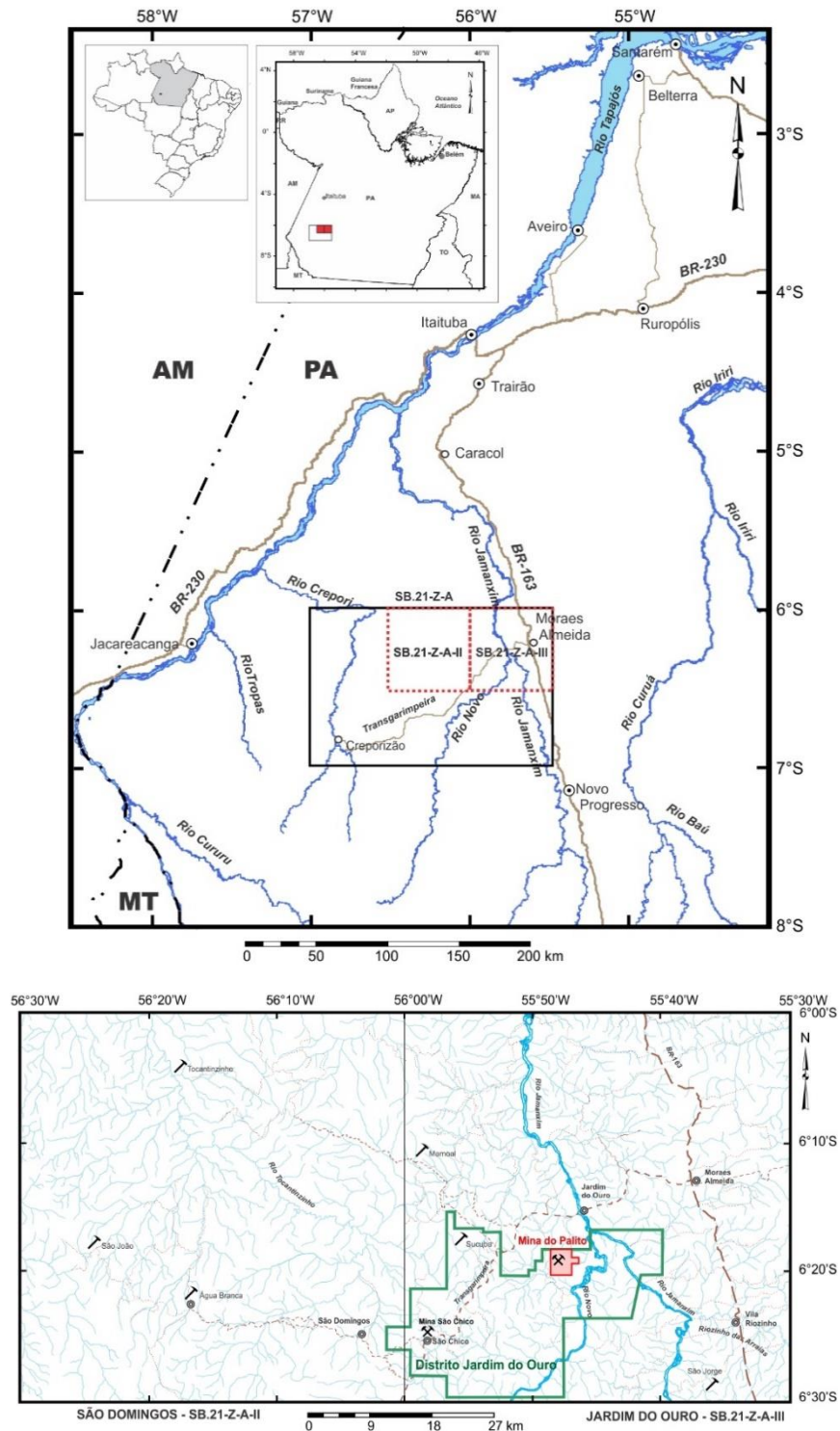


Figura 1- Localização das áreas do Distrito Jardim do Ouro e da Mina Palito (modificado de Vasquez *et al.* 2017).

1.3 JUSTIFICATIVAS

O estudo proposto neste Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) é parte da qualificação do graduando em Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará (IG-

UFPA), Samuel dos Santos Lobato que também foi estagiário de geologia da empresa Serabi Gold na mina do Palito no período de fev/2021 a fev/2022.

O Serviço Geológico do Brasil – CPRM (SGB-CPRM) tem mapeado a geologia e recursos minerais da PMT desde a década de 1970 (Pessoa *et al.* 1977, Melo *et al.* 1980, Klein *et al.* 2001, Coutinho 2008, Vasquez *et al.* 2008), com foco especial nos depósitos de ouro do leste da PMT (Vasquez *et al.* 2017, Gaia *et al.* 2020, 2021) onde se localiza a mina do Palito. Além disso, o SGB-CPRM tem disponibilizado para os estudantes do IG-UFPA seus laboratórios de preparação de amostras, de microscopia ótica e MEV, como parte da colaboração técnico-científica firmada através de convênios entre essas instituições.

Por sua vez, a empresa Serabi Gold tem investido na formação futuros profissionais de geologia de mina ao oportunizar estágios aos estudantes de Geologia e ao permitir este desenvolva um estudo de TCC em um de seus empreendimentos mineiros. Assim, este TCC é um exemplo de parceria de instituições públicas (IG-UFPA e SGB-CPRM) e uma empresa privada (Serabi Gold) que trará uma importante contribuição na formação de futuros profissionais do setor mineral.

1.4 OBJETIVOS

Estudo petrográfico e microquímico dos veios auríferos Mogno e Ipê da Mina do Palito, identificando as principais características dos corpos de minérios de acordo com os controles estruturais e seu enriquecimento mineral.

1.4.1 Objetivos Específicos

- Caracterizar mesocopicamente e microscopicamente os veios de quartzo sulfetados e zonas hidrotermalizadas em associação com as rochas encaixantes e diques de rochas subvulcânicas do depósito de ouro da mina do Palito;
- Identificar variação morfológica e a composição química das partículas de ouro da mineralização dos alvos estudados;
- Investigar possíveis continuidades direcionais e em profundidade dos principais níveis de exploração dos veios mineralizados na mina.

2 METODOLOGIA

2.1 LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

Ao longo deste TCC foram realizadas pesquisas bibliográficas referentes à geologia regional e local da PMT (Klein & Vasquez 2000, Klein *et al.* 2001, Lamarão *et al.* 2002, 2005, Santos *et al.* 2000, 2004, Vasquez *et al.* 2002, 2008, 2017, 2020). Também sobre a metalogenia dos depósitos de ouro (Klein *et al.* 2001, Santos *et al.* 2001, Coutinho 2008, Juliani *et al.* 2014, Gaia *et al.* 2020, 2021, Vasquez *et al.* 2021).

2.2 LEVANTAMENTO GEOLÓGICO DE CAMPO E PREPARAÇÃO DE AMOSTRAS

A etapa de campo consistiu no mapeamento da rocha encaixante, halo hidrotermal e estruturas texturas e texturas mesoscópicas das exposições dos veios Mogno e Ipê nas galerias de frente de lavra em diferentes profundidades da mina. Foram tomadas medidas de orientação estrutural e dimensões dos veios, descrita as relações desses com halo hidrotermal (hidrotermalito) e o granito hospedeiro. Também foram observadas as relações com falhas e diques que cortam os veios e o granito hospedeiro. Foram coletas amostras desses materiais em diferentes níveis de profundidade de lavra dos veios, contabilizando 32 amostras.

As amostras foram preparadas no Laboratório de Análises Mineraias da Superintendência Regional de Belém de SGB-CPRM, o LAMIN-BE. Foram cortados tabletes das amostras para confecção de lâminas polidas para descrição petrográfica e análises por MEV.

2.3 PETROGRAFIA E METALOGRAFIA

As amostras dos veios e hidrotermalitos foram analisadas nos laboratórios de microscopia ótica e eletrônica do LAMIN-BE. As amostras mesocópicas (tabletes polidos) foram descritas a vista desarmada com detalhes observados em lupas de mão de ampliação 10 vezes. Os estudos petrográficos a luz transmitida e metalográficos a luz refletida em cerca de 25 lâminas, foram executados em um microscópio BX-51P da Olympus com sistema de captura de imagens para obter fotomicrografias das paragêneses e texturas. Nas descrições petrográficas e metalográficas foram identificadas as paragêneses de ganga (minerais hidrotermais) e minério (minerais metálicos) e selecionados locais para análise por MEV.

2.4 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA

As análises de MEV foram feitas no microscópio modelo LS15 da Zeiss do LAMIN-BE. As lâminas polidas foram metalizadas com uma película de cromo de aproximadamente 5µm de espessura para obter imagens de elétron retro-espalhado (*backscattered electron* - BSE) dos locais selecionados.

A análise química dos locais selecionados foi por espectroscopia por energia dispersiva (*Energy Dispersive Spectroscopy* - EDS), em condições de alto vácuo ($3,0 \times 10^{-5}$ mPa). Os dados de EDS foram obtidos a uma distância de trabalho de 8.5 mm, com voltagem de 20Kv e corrente de chegada de 10 nA.

3 GEOLOGIA REGIONAL

A evolução do Cráton Amazônico foi marcada por sucessivos eventos de acreção crustal e colisões continentais que retrabalharam uma crosta primitiva com a formação de cinturões orogênicos do Paleoproterozoico ao Mesoproterozoico na borda de um núcleo Mesoaqueano e Neoarqueno (Cordani *et al.* 1979, Texeira *et al.* 1989; Tassinari, 1996). Esses modelos evolutivos baseados nos dados geocronológicos dividiram o cráton em províncias geocronológicas (Tassinari & Macambira, 1999; Santos *et al.* 2000) e depois subdividir em domínio tectônicos (Santos, 2003; Vasquez *et al.* 2008). Neste contexto, a área de estudo se localiza no leste do Domínio Tapajós (DTJ) da Província Tapajós-Parima (Fig. 2).

No DTJ houve acreção de dois ou mais arcos magmáticos entre 2033 e 1870 Ma a margem de um cráton arqueano, em parte retrabalhado no Paleoproterozoico, seguidos de eventos extensionais marcados por vulcano-plutonismo alcalino ácido (tipo A) entre 1880 a 1860 Ma e sedimentação de riftes continentais entre 1840 e 1780 Ma (Santos *et al.*, 2004; Juliani *et al.*, 2014; Vasquez *et al.*, 2017). Localmente houve a colocação de granitos tipo A de 1790 Ma (Granito Porquinho) e soleiras e diques de basalto toleítico continental de 1780 Ma (Diabasio Crepori) que marcam o fim da evolução paleoproterozoica. Outros eventos de magmatismo básico ocorreram por volta de 1200 Ma (Troctolito Cahoeira Seca), 500 Ma (Diabásio Piranha) e 200 Ma (Diabásio Cururu ou Periquito) (Santos *et al.*, 2002).

Nos projetos recentes do SGB-CPRM distinguem dois arcos magmáticos, o Arco Cuiú-Cuiú (2050 -1963 Ma) e o Arco Tropas (1908-1870) no DTJ, ou PMT (Vasquez *et al.* 2017, 2020, 2021). O Arco Cuiú-Cuiú formado pelas rochas supracrustais, paragneisses e anfibolitos do Grupo Jacarecanga (2050-2000 Ma) que representam a bacia deste arco. Os granitoides do Complexo Cuiú-Cuiú (2033-2005 Ma), rochas vulcânicas da Formação Comandante Arara (2016-2012 Ma) e Vila Riozinho (2002-1970 Ma) e os granitoides da Suíte Creporizão (1989-1963 Ma) que marcam uma evolução do magmatismo cálcio-alcalino para cálcio alcalino de alto K a shoshonítico (Vasquez *et al.* 2017; 2020, 2021). O Arco Tropas formado pelas rochas vulcanoclásticas e sedimentares vulcanogênicas das formações Buiucu e Tocantinzinho (1908-1888 Ma) da bacia deste arco. Os granitoides das suítes Tropas (1898-1893 Ma) e Parauari (1895-1873 Ma), os gabroides da Suíte Ingarana (1890-1872 Ma) e as rochas vulcânicas ácidas das Formação Salustiano (1896-1870 Ma) e intermediárias da Formação Bom Jardim (1889-1886 Ma) e as rochas sedimentares vulcanogênicas da Formação Aruri (1888-1863 Ma) marcam a evolução do magmatismo cálcio-alcalino para cálcio alcalino de alto K.

As rochas vulcânicas ácidas da Formação Moraes de Almeida e os granitos da Suíte Maloquinha (1890-1863 Ma) representam o magmatismo tipo A contemporâneo ao magmatismo cálcio alcalino de alto K do Arco Tropas.

A maioria dos depósitos magmático-hidrotermais de ouro no DTJ, ou PMT, se formaram por volta de 1860 Ma (Santos *et al.*, 2001; Juliani *et al.* 2005), localmente tem depósitos com mineralização possivelmente formada há *ca.* 1960 Ma (Lafon e Coutinho 2008)

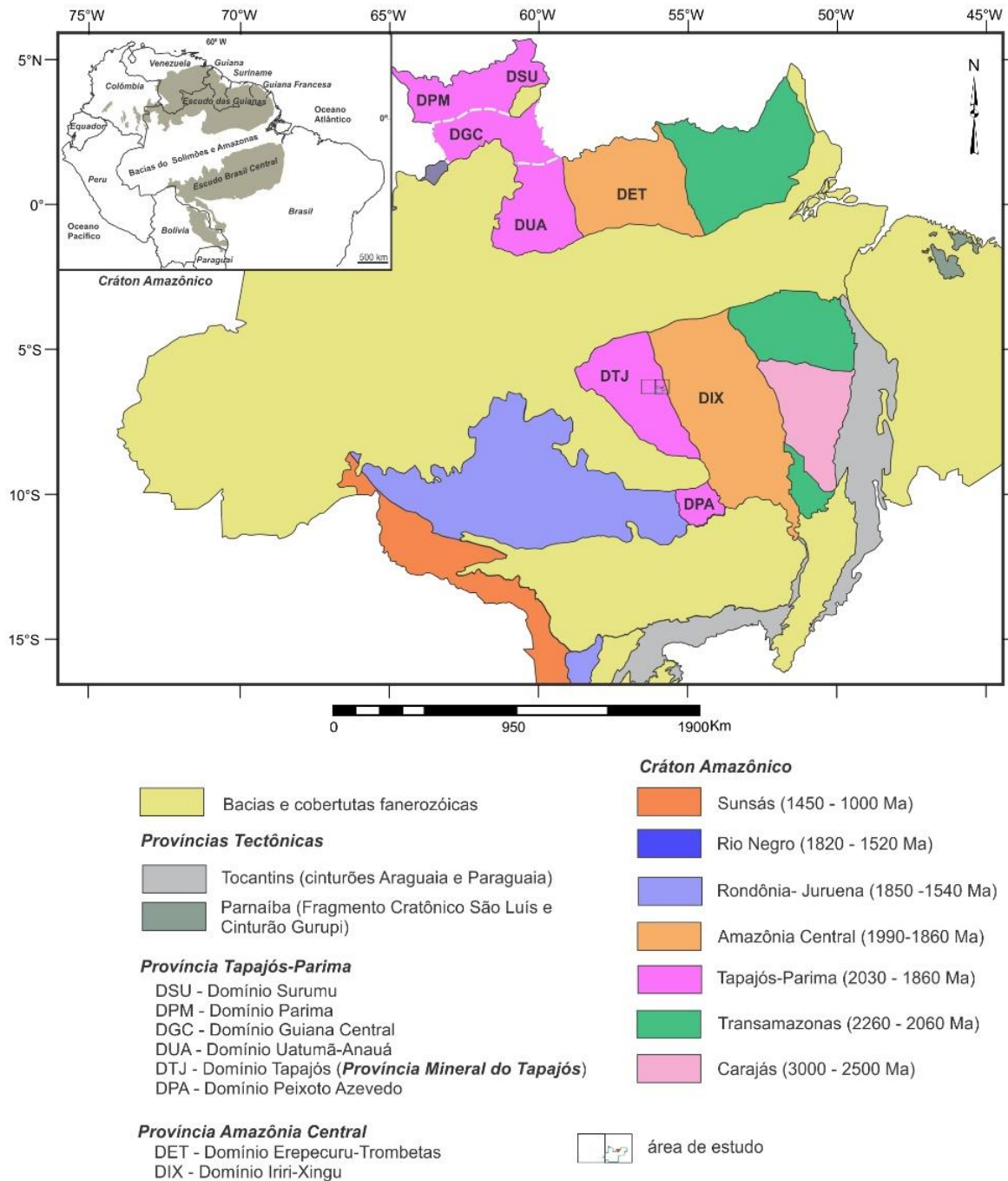


Figura 2 - Províncias geocronológicas do Cráton Amazônico de Santos (2003) e domínios tectônicos das províncias Tapajós-Parima e Amazônia Central (modificado de Vasquez *et al.* 2008, 2017).

3.1 GEOLOGIA DO DISTRITO JARDIM DO OURO

O mapeamento geológico e do recurso minerais das folhas São Domingos – SB.21-Z-A-II e Jardim do Ouro – SB.21-Z-A-III (Vasquez *et al.* 2017) foi aprimorado nos mapeamentos recentes da PMT pelo SGB-CPRM (Gaia *et al.*, 2020; 2021; Vasquez *et al.* 2020) que estão recortados para a área do Distrito Jardim do Ouro (DJO) no mapa da Figura 3.

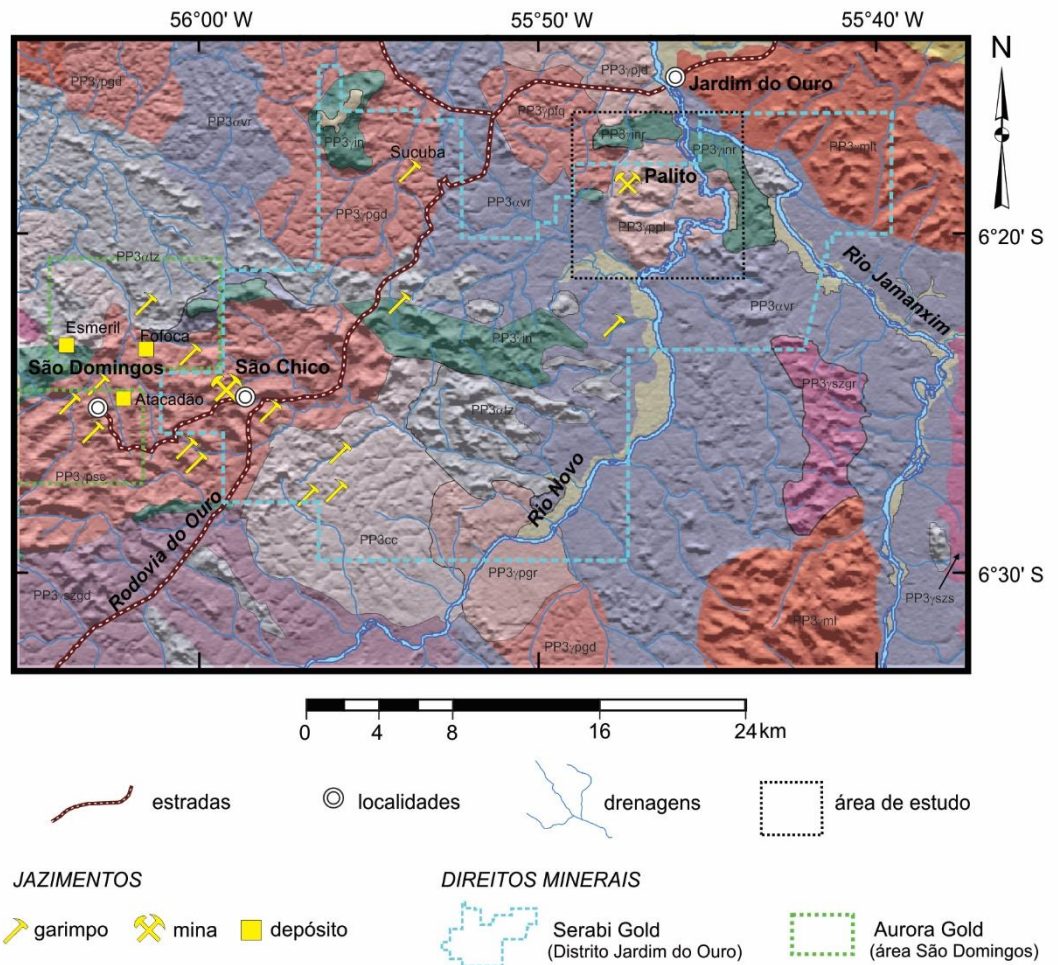
No sul do DJO afloram granitoides do Complexo Cuiú-Cuiú que possivelmente representam uma continuidade dos tonalitos a monzogranitos com idades Pb-Pb em zircão de 2016 ± 3 a 2010 ± 4 Ma com texturas ígneas preservadas ou incipiente recristalização por deformação dúctil que afloram no oeste da São Domingos (Vasquez *et al.*, 2017). No leste da área predominam rochas vulcânicas da Formação Vila Riozinho que marcam a evolução do magmatismo cálcio-alcálico de alto a shoshonítico por volta de 2000 Ma no leste da PMT (Lamara *et al.*, 2002). Granodioritos de ca 1984 Ma da Suíte Creporizão afloram no sudoeste do DJO, enquanto no leste afloram batólitos graníticos dessa suíte destacando-se o Granito São Jorge Antigo (Lamarão *et al.* 2002) (Fig. 3).

No leste do DJO aflora o batólito do Granito São Chico (Fig. 3) composto por granodioritos, quartzo monzoitos e monzogranitos da Suíte Parauari com idades U-Pb em zircão entre 1905 e 1884 Ma (Vasquez *et al.* 2020) e que hospeda a mina São Chico, também da Serabi Gold. A mineralização de ouro neste depósito de ca. 1885 Ma está associada com Ag e sulfetos de Pb e Zn (Vasquez *et al.*, 2017) Este corpo é contemporâneo as rochas vulcanoclásticas e sedimentares vulcanogênicas da Formação Tocantinzinho.

Outros corpos granodioríticos afloram no norte do distrito (Fig. 3), dentre esses se destaca o Granodiorito Fofquinha que é rocha encaixante do Granito Palito que hospeda a mina do Palito. O Granito Jardim do Ouro (Lamarão *et al.*, 2002) tem filiação cálcio-alcálica de alto e idade Pb-Pb em zircão de ca. 1880 Ma como o Granito Palito datado por Santos *et al.* (2013). Estes corpos graníticos da Suíte Parauari foram intrudidos pelo Gabro Rio Novo de idade Pb-Pb em zircão de 1872 Ma (Santos *et al.*, 2013). Corpos gabroicos desta suíte também intrudiram as rochas na parte oeste e central do distrito.

No nordeste do DJO aflora um granito da Suíte Maloquinha de idade Pb-Pb em zircão de 1880 ± 9 Ma que intruiu as rochas riolíticas da Formação Moraes de Almeida de idades 1890 ± 6 a 1875 ± 4 Ma determinadas pelo mesmo método por Lamarão *et al.* (2002) que representam o magmatismo ácido alcálico (tipo A) da PMT.

Diques de dacito e stocks de granito pórfiro cortaram o Granito São Chico e o Granito Palito, mas ainda não foram datados no DJO.



COBERTURAS SUPERFICIAIS CENOZOICAS

Q2a Depósitos Aluvionares: Areias, argilas e cascalhos inconsolidados de depósitos fluviais recentes. Localmente ocorrem como sedimentos semi consolidados de paleocanais. São coberturas clásticas modernas dos rios Jamanxim e Novo e seus afluentes.

N1Q1li Coberturas Lateríticas Imaturas: Lateritas argilosas, argilo arenosas e ferruginosas, com níveis concrecionários ferruginosos. São coberturas superficiais residuais intempéricas desenvolvidas sobre rochas proterozoicas. Destacam-se os platôs lateríticos sobre as intrusões das rochas máficas, mas também ocorrem platôs lateríticos nos morros de intrusões graníticas.

ROCHAS VULCANO-PLUTÔNICAS PALEOPROTEROZOICAS

PP3_{ama} Formação Moraes Almeida: Ignimbritos riolíticos, riolodacíticos e quartzo traquíticos, subordinados derrames de riolitos, quartzo traquitos e traquitos com Fe-horblenda e augita, porfíricos, micromonzogranitos e microsienogranitos pórfiros. São de afinidade alcalina (tipo A) de ambiente pós-colisional extensional. As rochas desta formação idades Pb-Pb em zircão de **1890 a 1875 Ma** e TDMNd de **2,44 a 2,30 Ga** (ϵ Ndt de -2,26 a -3,05).

Suíte Maloquinha

PP3_{ml} Sienogranitos e feldspato alcalino granitos e subordinados monzogranitos, equigranulares médios a microgranulares, porfíricos médios a finos, leucocráticos com biotita. Também ocorrem associados quartzo sienitos e quartzo monzonitos com anfibólio. São de afinidade alcalina (Tipo A) de ambiente pós-colisional extensional. Os granitos desta suíte tem idades U-Pb em zircão de **1871 a 1864 Ma** e idades TDMNd de **2,6 a 2,23 Ga** (ϵ Ndt de -6,4 a -0,72).

PP3_{yt} Granito Igarapé Tabuleiro: Monzogranitos, sienogranitos e quartzo sienitos, equigranulares médios a finos, localmente porfíricos, leucocráticos com biotita rica em ferro. Este pluton corta as rochas vulcânicas das formações Moares Almeida e Vila Riozinho. Um monzogranito deste corpo forneceu uma idade Pb-Pb em zircão de **1880 Ma** e idades TDMNd de **2,24 e 2,22 Ga** (ϵ Ndt de -1,64 e -0,72). Apresenta indícios de cassiterita, xenotímio e monazita nas drenagens.

Suíte Ingarana

PP3_{in} Gabros, diabásios, gabronoritos, quartzo monzogabro, quartzo monzodioritos e tonalitos, equigranulares médios a finos, granofíricos, com anfibólio (hornblenda) clinopiroxênio (augita) e localmente olivina. São gabros cálcio-alcalinos de alto K de arco magmático de margem continental ou de ambiente pós-colisional extensional. Os gabros desta suíte apresentam idades U-Pb em zircão, titanita e baddeleyita entre **1881 e 1872 Ma** e idades TDMNd de **2,4 a 2,24 Ga** (ϵ Ndt de -2,1 a -0,87).

PP3_{rn} Gabro Rio Novo: Gabros e monzogabros e monzodioritos, equigranulares médios com augita, anfibólio e relictos de olivina. Este corpo corta os granitos Palito e Jardim do Ouro e forneceu idades Pb-Pb em zircão de **1878 e 1872 Ma** e idades TDMNd de **2,4 a 2,3 Ga** (ϵ Ndt de -2,1 a -2,0).

PP3_{sd} Gabro São Domingos: Corpo máfico em forma sigmoidal (um lacolito cisalhado?). Com plâto de cobertura laterítica com assinatura geoquímica de protólito de rocha básica, marcado por grandes dipólos magnéticos e baixos radiométricos no mapa K-Th-U de orientações NE-SW e E-W.

(continuação)

Suíte Parauari

- PP3_γpgr** Unidade Granítica: Monzogranitos e sienogranitos, inequigranulares médios a grossos, equigranulares médios e porfíricos médios a finos. São granitos leucocráticos com biotita e anfibólios ricos em ferro e titanita. Correspondem a granitos cálcio-alcálinos de alto K de arco magmático de margem continental ou de ambiente pós-colisional extensional. Os granitos desta suíte tem idades Pb-Pb e U-Pb em zircão entre **1883 e 1877 Ma** e idades TDMNd de **2,53 a 2,1 Ga** (ϵ Ndt -9,3 a -0,76). Os corpos desta unidade apresentam relevo acidentado e
- PP3_γjd** Granito Jardim do Ouro: Monzogranitos, porfíricos médios com biotita, anfibólio rico em ferro (Fe-hornblenda e Fe-edenita) e titanita. Tem idade Pb-Pb em zircão de **1880 Ma** e TDMNd de **2,32 Ga** (ϵ Ndt -1,32)
- PP3_γpl** Granito Palito: Monzogranitos, inequigranulares médios a grossos e porfíricos médios a finos, com biotita (anita), anfibólio rico em ferro (Fe-hornblenda e hastingsita), allanita e titanita. Neste corpo foram reunidos os granitos afetados pela alteração hidrotermal relacionada à mineralização de ouro da mina homônima. Este corpo tem idades Pb-Pb em zircão de **1883 Ma e 1881 Ma**.
- PP3_γpgd** Unidade Granodiorítica: Granodioritos, monzogranitos e tonalitos, equigranulares e porfíricos médios a grossos, com biotita, anfibólio e relictos de clinopiroxênio. São granitoides cálcio-alcálinos normais e de alto K relacionados a um arco magmático de margem continental. Um monzogranito forneceu uma idade U-Pb em zircão de **1895 Ma**. Os corpos desta unidade apresentam relevo arrasado e radiação baixa no mapa K-Th-U.
- PP3_γfq** Granodiorito Fofquinha: Granodioritos, monzogranitos e tonalitos, subordinados quartzo dioritos e quartzo monzodioritos. São equigranulares médios e inequigranulares médios a finos, com tênue orientação por fluxo magmático, leuco a mesocráticos com biotita, anfibólio (Fe-hornblenda e Fe-edenita, Fe-actinolita) e relictos de augita e pigeonita. É cortado pelo Granito Palito, o Gabro Rio Novo. Os granodioritos apresentam idades TDMNd de **2,3 a 2,2 Ga** (ϵ Ndt -3,2 a -1,4 há 1880 Ma).
- PP3_γsc** Granito São Chico - Granodioritos, monzogranitos e quartzo monzonitos, inequigranulares e equigranulares, médio a grosso com hornblenda ricas em ferro. São granitoides cálcio-alcálinos normais e de alto K relacionados a um arco magmático de margem continental. Os granitos deste corpo forneceram idade U-Pb em zircão entre **1905 Ma e 1884 Ma**. Este corpo hospeda importantes depósitos de ouro, como a mina São Chico.
- PP3_αtz** Formação Tocantinzinho: Arenitos e grauvacas líticas vulcanogênicas, brechas de púmices, intercalação de tufo cineríticos e a cristal, lapilli tufo de púmices vítreos e desvitrificados, ignimbritos dacíticos, andesíticos, riolíticos e subordinados derrames de andesitos e riolitos. São depósitos vulcanoclásticos ressedimentados e sedimentares vulcanogênicos depositados em ambientes de leques aluviais, fluvial e lacustrino nos centros vulcânicos. Tufo vítreos forneceram idades U-Pb em zircão de **1905 e 1888 Ma**.

Suíte Creporizão

- PP3_γczgr** Unidade Granítica: Sienogranitos e monzogranitos com subordinados quartzo monzonitos e quartzo sienitos, leucocráticos com biotita, titanita e restos de anfibólio, porfiroclásticos e inequigranulares, granulação grossa a média. São granitos cálcio-alcálinos de alto K de ambiente pós-colisional transcorrente ou de arco de margem continental. No leste da PMT o Granito São Jorge Antigo (PP3_γczs) com idades Pb-Pb em zircão de **1987 a 1981 Ma**, idades TDMNd de **2,41 a 2,26 Ga** e ϵ Ndt -2,68 a -1,03 e o principal representante desta suíte.
- PP3_γczgd** Unidade Granodiorítica: Granodioritos, monzogranitos, quartzo monzonitos e quartzo monzodioritos, com biotita, anfibólio e titanita, porfíricos e equigranulares, granulação média a fina, localmente protomilitoníticos. São granitoides cálcio-alcálinos de alto K de arco magmático de margem continental com idades Pb-Pb e U-Pb em zircão de **1984 Ma**. Apresentam relevo arrasado e radiação baixa no mapa K-Th-U.

Formação Vila Riozinho

- PP3_αvr** Ignimbritos traquíticos, latíticos, dacíticos e riolíticos, fortemente orientados por fluxo, derrames de andesitos, dacitos e riolitos porfíricos. São rochas vulcânicas cálcio-alcálinas de alto K e shoshoníticas com idades Pb-Pb em zircão de **2002 a 1998 Ma**, idades TDMNd de **2,55 a 2,28 Ga** e ϵ Ndt de -3,7 e -1,09. Rochas vulcânicas com idades U-Pb em zircão por volta de **1970 Ma** no depósito Coringa possivelmente estão relacionadas a esta formação.

Complexo Cuiú-Cuiú

- PP3_{cc}** Na parte centro-leste da PMT ocorrem monzogranitos, quartzo monzonitos e granodioritos, com biotita, anfibólio e titanita e subordinados sienogranitos, tonalitos e quartzo dioritos, inequigranulares e porfiroclásticos. São granitoides protomilitoníticos ou preservados da deformação dúctil e anatexia, com geoquímica cálcio-alcálica de alto K de arcos magmáticos maduros e idades Pb-Pb em zircão entre **2016 e 2010 Ma** e idades TDMNd de **2,58 e 2,41 Ga** (ϵ Ndt de -5,45 a -1,49).

Figura 3 - Mapa geológico simplificado do Distrito Jardim do Ouro e da área São Domingos com a localização área de estudo. Composição da geologia sobre imagem de modelo digital de terreno em tons de cinza (modificado de Vasquez *et al.* 2020).

3.2 GEOLOGIA DA MINA PALITO

O depósito de ouro da mina do Palito consiste em veios de quartzo com sulfetos de orientação NW-SE que cortam um corpo granítico da Suíte Parauari, o Granito Palito (Figura 4). Este pluton granítico de forma elíptica intruiu rochas vulcânicas da Formação Vila Riozinho, o Granodiorito Fofquinha e foi intrudido por gabros da Suíte Ingarana, o Gabro Rio Novo, e diques dacíticos de orientação NW-SE. No nordeste da área também afloram rochas vulcanoclásticas correlatas a Formação Tocantinzinho e granitos da Suíte Maloquinha, o Granito Igarapé Tabuleiro (Figura 4).

A fácies porfírica do granito hospedeiro do depósito foi previamente mapeada como Granito Rio Novo, e a fácies equigranular do pluton localizada na borda oeste foi mapeada

como Granito Palito (Costa, 2008; Echeverri-Misas, 2010). Contudo, a composição petrográfica monzogranítica com biotita e anfibólios e a geoquímica cálcio-alcalina de alto K apresentadas pelas duas fácies sugerem que são cogenéticas. Além disso, as idades Pb-Pb em zircão de cerca de 1880 Ma obtidas por Santos et al. (2013) dos granitos de ambas as fácies indicam a contemporaneidade. Assim, Vasquez *et al.* (2017) propuseram a denominação Granito Palito, com a fácies equigranular constituída de monzogranitos e sienogranitos e geralmente de coloração rosa devido alteração hidrotermal potássica. Os monzogranitos da fácies porfirítica, correspondentes ao Granito Rio Novo, tem biotita e anfibólios (Fe-hornblenda e hastingsita) menos ricos em ferro que aqueles da fácies equigranular (Echeverri-Misas, 2010).

Os principais veios mineralizados do depósito de ouro da mina do Palito geralmente são subverticais e tem orientação N50-40W, mas também tem um sistema de veios secundários orientados segundo ENE-WSW (Costa, 2008). Este sistema de veios mineralizados está relacionado a principal zona de falhas transcorrentes da Província Mineral do Tapajós referida como Lineamento Tocantinzinho (Santos e Coutinho, 2008). Em esquema de cisalhamento de Riedel de movimentação tectônica sinistral, os veios mineralizados principais deste depósito correspondem a componente Y (ou D), a principal componente de cisalhamento, enquanto os veios secundários equivalem um componente de T de maior extensão (Costa, 2008; Santos e Coutinho, 2008). Neste depósito também ocorrem venulações tipo *stockwork* no granito hospedeiro, brechas hidrotermais associadas aos veios mineralizados, falhas transcorrentes e normais que deslocam os arranjos dos veios (Costa, 2008; Echeverri-Misas, 2010).

Os estudos metalogenéticos do depósito de ouro da mina do Palito identificaram sericitização, cloritização, epidotização e carbonatização que em diferentes proporções e combinações e estilos (pervasiva ou fissural) formaram halos hidrotermais que se distribuem nas zonas mineralizadas próximas aos veios e zonas mais distais no granito hospedeiro alcançando de forma mais tênue as rochas encaixantes do Granito Palito (Costa, 2008; Echeverri-Misas, 2010, Vasquez *et al.*, 2017). Também, foram identificados nas etapas precoces do hidrotermalismo um metassomatismo sódico (albitização) local e um potássico (microlinização) mais amplo, além de formação de biotita hidrotermal e clorita (Costa, 2008; Echeverri-Misas, 2010). Neste depósito os halos hidrotermais de alteração potássica (microclinização e biotita hidrotermal) estão próximos aos veios e a alteração propilítica (cloritização, epidotização e carbonatização), por vezes prehnita, titanita e a fluorita, se estende as porções distais. Os halos de sericitização com quartzo e sulfetos se formaram nas porções rasas e próximas da zona mineralizada (Juliani *et al.* 2014; Echeverri-Misas, 2015). Nas porções

apicais e distais ocorrem alteração argílica com formação de pirofilita, sericita e caulinita (Echeverri-Misas, 2010).

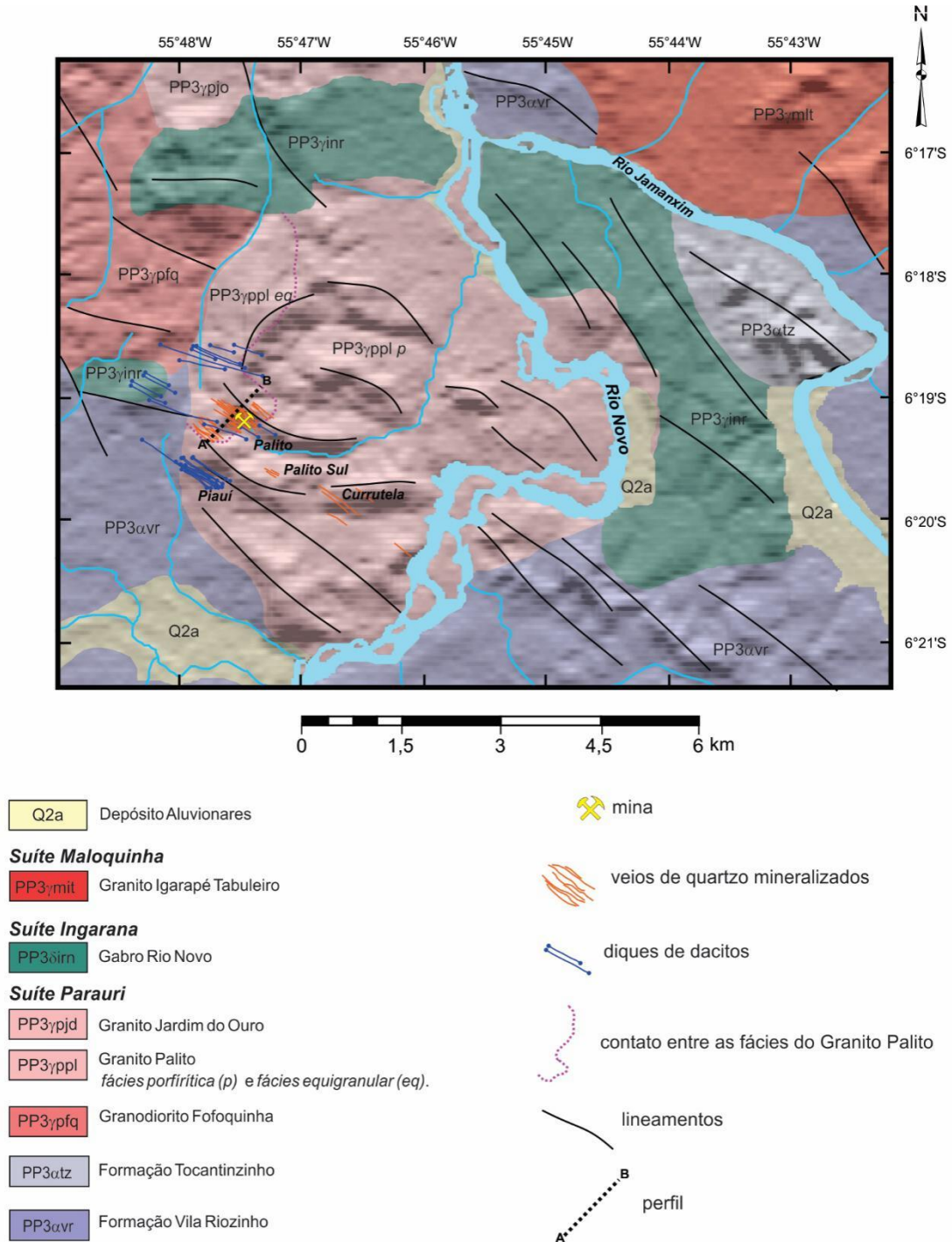


Figura 4 - Mapa geológico esquemático da área da mina do Palito (modificado de Vasquez *et al.* 2020);

Os fluidos hidrotermais do depósito de ouro da mina do Palito apresentam características de mistura de águas magmáticas de alta salinidade com águas meteóricas que desencadearam a precipitação do minério de sulfetos e ouro (Costa 2008, Usero *et al.* 2011).

Estudos de microtermometria desses fluidos e das cloritas associadas estimaram formação deste depósito entre 405 e 350°C e pressões de 1,97 e 4,7 kbar (Costa, 2008).

O minério do depósito de ouro da mina do Palito ocorre como agregados e disseminados de sulfetos nos veios de quartzo e como veios de sulfetos maciços (Costa, 2008; Echeverri-Misas, 2010). Os principais sulfetos são pirita e calcopirita, a esfalerita, galena, calcosita e pirrotita são subordinadas. O ouro, bismuto nativo e a liga Au-Ag (electrum) ocorrem inclusos na calcopirita, mas também ocorrem associados sulfetos de Bi combinado com Cu, Fe, Te e Ag e eventualmente como teluretos e selenetos de bismuto (Costa, 2008, Echeverri-Misas, 2010).

Baseados no estilo de mineralização de ouro e sulfetos filoneana com estreita associação da alteração e dos fluidos hidrotermais do granito hospedeiro, Costa (2008) classificou o depósito de ouro da mina do Palito como um depósito magmático-hidrotermal de Au e Cu relacionado a intrusões. Alternativamente, a elevada salinidade e a presença de alteração potássica, padrão telescopado dos halos hidrotermais neste depósito, e a correlação com depósitos epitermais no norte da PMT (Juliani *et al.* 2005) e tipo pórfiros do garimpo Batalha (Juliani *et al.*, 2002) indicam trata-se de um depósito tipo pórfiro relacionado a evolução de um arco magmático em uma margem continental tipo andina (Echeverri-Minsas, 2010; 2015, Usero *et al.*, 2011; Juliani *et al.*, 2014).

A Serabi Gold tem desenvolvido pesquisa exploratória, estimativa de recursos e lavra subterrânea da mina do Palito desde o início da década de 2000 (Serabi Gold, 2018), e além dos veios da mina pesquisou alvos mais a sul (Figura 4). Dentre os veios principais da mina tem avançado na lavra dos veios Mogno e Ipê (Figura 5).

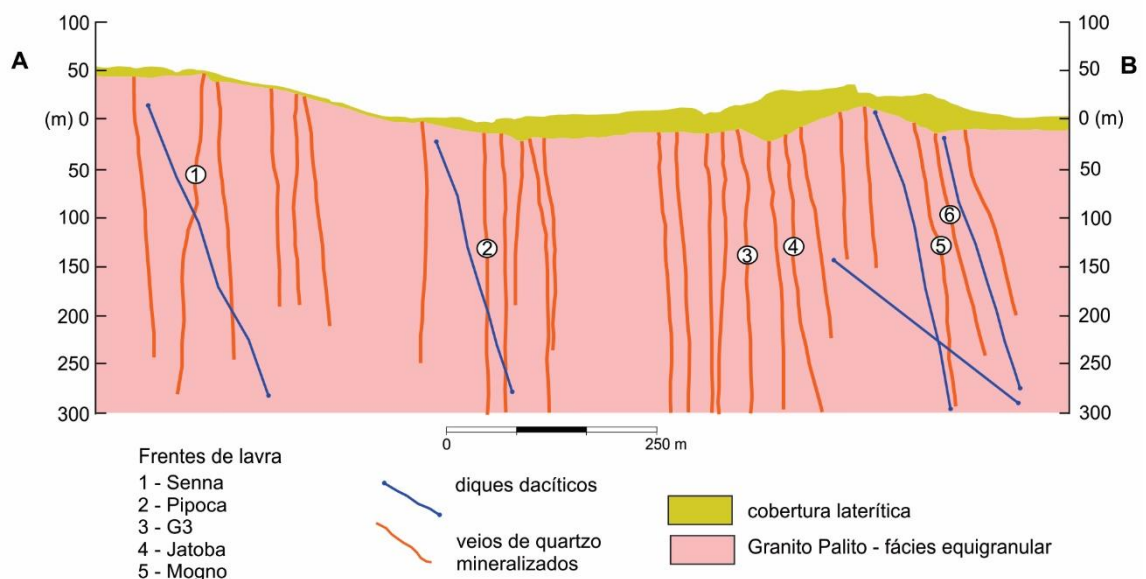


Figura 5 Seção esquemática dos principais veios mineralizados da mina do Palito (modificado de Serabi Gold, 2019, 2020). O perfil está localizado na Figura 4

Os veios Mogno e Ipê apresentam o granito hospedeiro de coloração avermelhada, resultado do forte metassomatismo potássico, inequigranular, com algumas porções porfiríticas, sendo composto principalmente por quartzo, feldspato potássico e plagioclásio, além de clorita e biotita como minerais acessórios. Além disso, há rocha intrusiva de composição subvulcânica, que se dispõem em distintas feições na mina, a primeira na forma de *dike*, e como *sill* (soleira) com mergulho de baixo ângulo, varia de porfirítica, fina a localmente brechoide, de coloração escura.

Na mina, os veios se apresentam subverticalmente com espessura variando de 20 cm a 150 cm aproximadamente, em contato intrusivo com rocha encaixante, em direção NW-SE e com mergulho em 85-89°. É composto por quartzo e sulfetos, além disso, ocorre também vênulas de carbonatos (calcita) em hábito placoíde e fluorita recortando o veio e a rocha encaixante. A mineralização é constituída por minerais sulfetados, principalmente pirita, calcopirita e por vezes pirotita e bornita, na forma de bolsões delgados a lenticulares nos veios de quartzo, por vezes se apresentando de forma disseminado no halo de alteração hidrotermal. O veio Ipê, localizado a aproximadamente 20 m a NE do veio mogno, apresenta similaridade quanto a composição e proporção composicional em mineralização/sulfetação, no entanto, tal estrutura se mostra afetada de forma mais intensa por falhas e diques e maior enriquecimento em teor de Au (Figs.6 A e B).

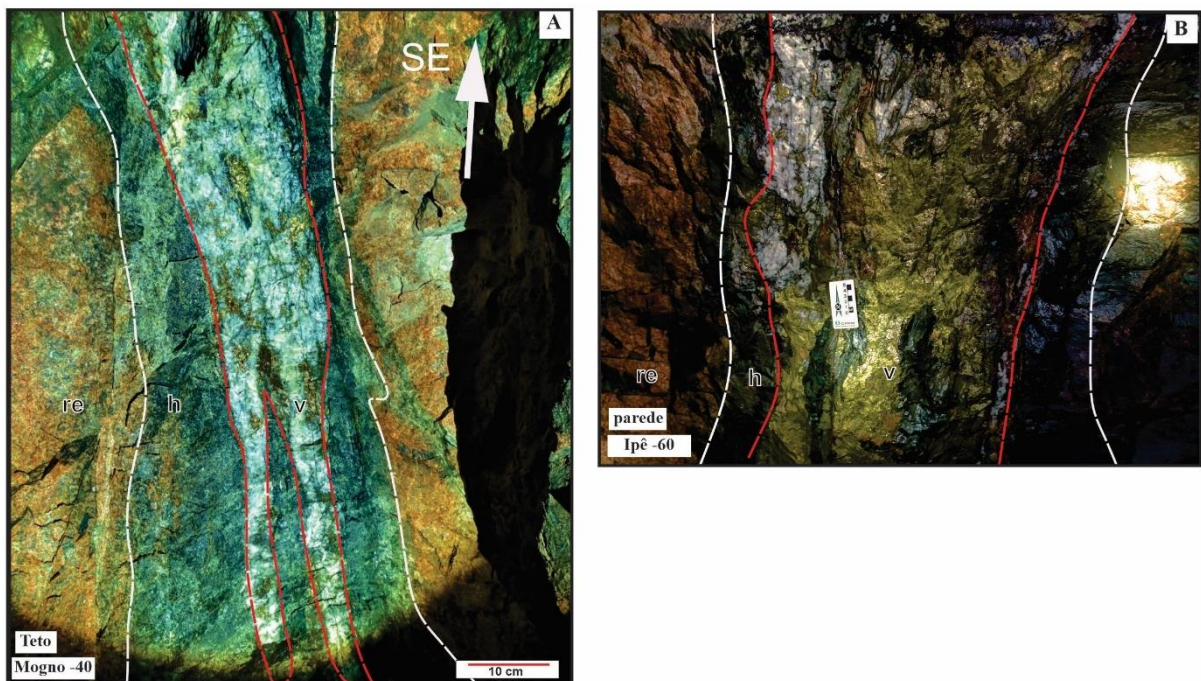


Figura 6 – (A) Veio Mogno, nível -40 setor sul, com quartzo e sulfetos associados. (B) Veio Ipê, nível -60, setor sul, com sulfetação maciça. Abreviações: re= encaixante, h= hidrotermalito, v=veio

A partir de observações de campo, foram possíveis identificar também parâmetros estruturais nos veios, marcados predominantemente pela direção principal da zona de cisalhamento e posteriormente por falhas e fraturas. Em ambos os veios há falhas e fraturas afetando diretamente seu comportamento podendo, por vezes, deslocar o corpo mineralizado por alguns centímetros ou dezenas de metros, a partir de medidas de campo, pode-se constatar que as falhas são do tipo transcorrente (Fig. 7). Costa (2008), classificou as estruturas dentro do sistema de Ridel, com os filões de maior espessura em D (paralelo a direção principal) e os filões menores, discordante em relação ao principal, como alto ângulo R' e X, de médio ângulo em fraturas de tensão (T). Além disso, Costa (2008) também identificou estruturas pós-mineralização de caráter rúptil, que também afetam os veios, com deslocamentos variados. Nesse sentido, também pode-se dizer que o mesmo sistema de falhas e fraturas também afetam os veios Mogno e Ipê.

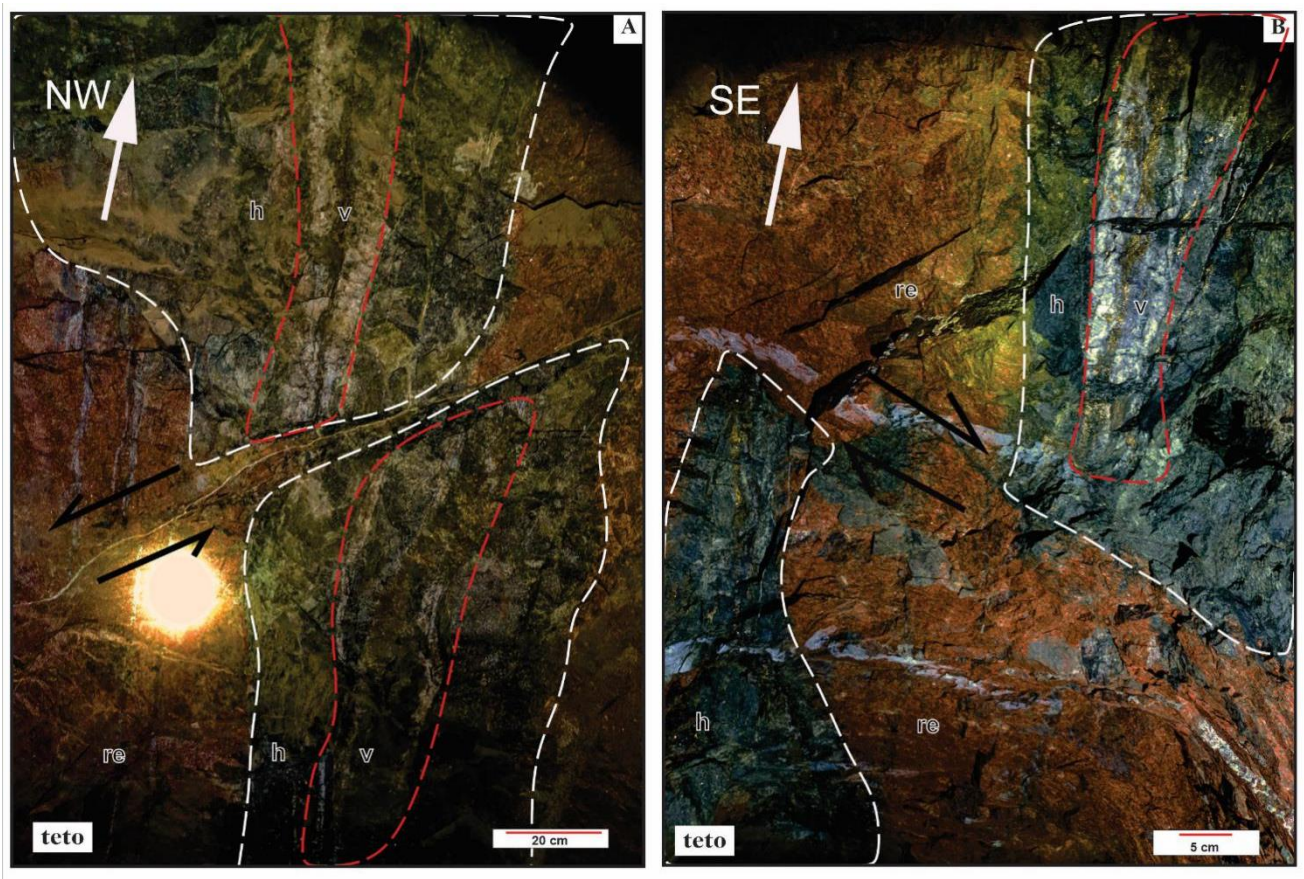


Figura 7 - (A) Falha transcorrente em veio (teto); (B) Falha transcorrente em veio, notar reativações com porções do hidrotermalito e caráter rúptil. (teto) Abreviações: re= encaixante, h= hidrotermalito, v=veio

4 RESULTADOS

Em função do comportamento dos corpos mineralizados e suas possíveis implicações para o processamento mineral, a seguir serão descritas e classificadas amostras de hidrotermalito coletas na mina e distinguidas de acordo com cada veio (Mogno ou Ipê) e com a profundidade.

4.1 PETROGRAFIA

VEIO MOGNO

O veio mogno é composto por um hidrotermalito de coloração cinza-esverdeada com tons esbranquiçados de granulação fina, composto predominante por sericita e clorita e sulfetação em pirita, calcopirita e \pm bornita, \pm pirotita, por vezes carbonatos e fluorita. Em amostras de mão do nível 54 o conteúdo mineralógico do veio é predominantemente em quartzo, clorita, sericita e sulfetos disseminados com algumas vênulas de carbonato. O quartzo apresenta textura leitosa estirado com pirita disseminada. A pirita preenche fraturas com hábito maciço. Por vezes também é possível identificar composição potássica no halo mineralizado, podendo advir da rocha encaixante (Fig.8A). Ademais, em amostras do nível -40 o hidrotermalito apresenta veio de quartzo associados a sulfetos, como pirita e calcopirita, subordinadamente pirotita e bornita, a sericita e clorita ocorre como vênulas, preenchendo fraturas (Fig.8B). Em amostra coletada no nível -60, porção sul, foi possível identificar zonas de gossan, com alteração cloritrica e sericita disseminada e alta taxa de sulfetação em calcopirita, pirotita, bornita e subordinadamente pirita (Fig.8C).

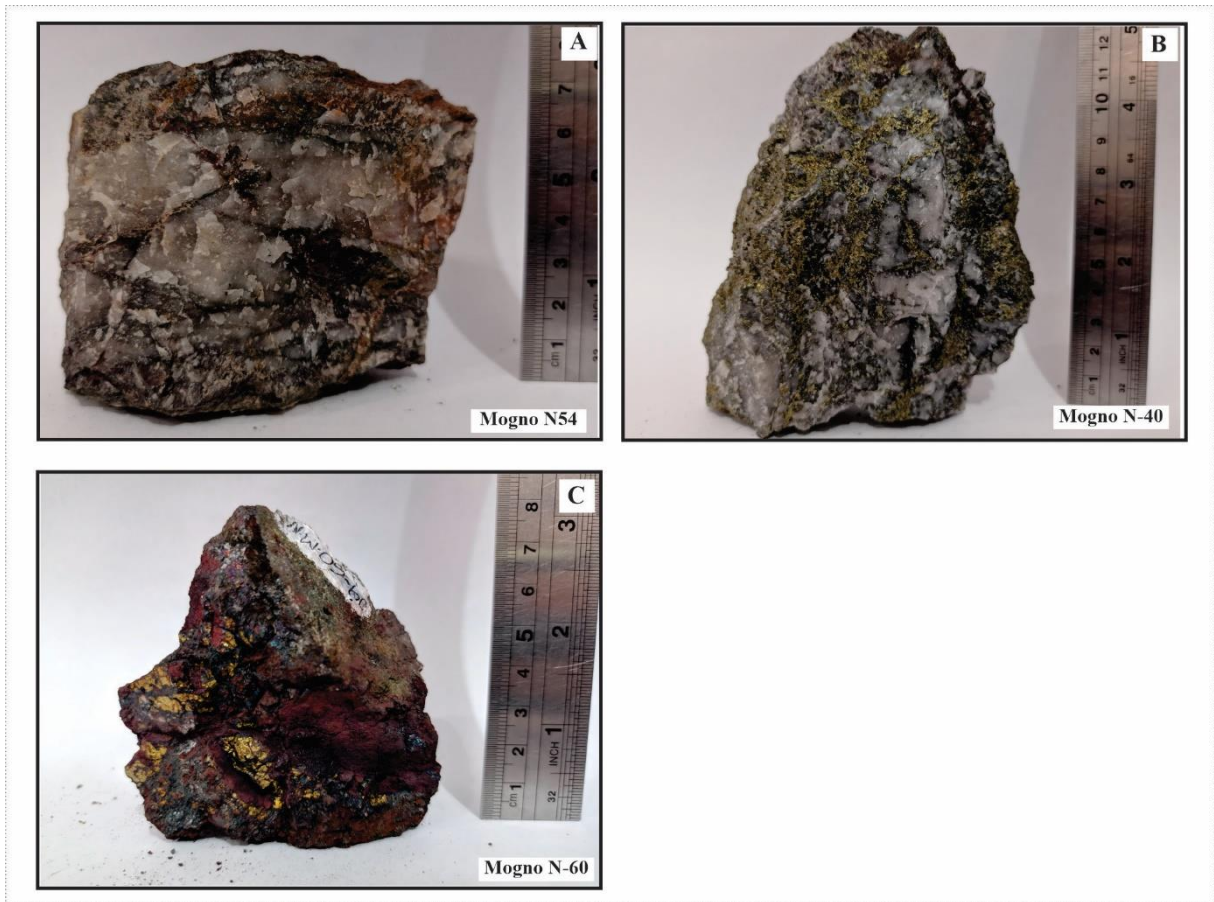


Figura 8 - Aspectos mesoscópicos veio Mogno. (A) Veio de quartzo maciço com sulfetos disseminados. (B) Hidrotermalito com veio de quartzo e sulfetos associados. (C) Amostra de mão, veio maciço rico em sulfetos e zona oxidada.

Ao microscópio, apresenta texturas primárias do tipo hipidiomórfica e poiquilitica assim como texturas relacionadas aos processos hidrotermais como zonação de cristais e substituição. É possível observar, como marca da intensa brechação hidrotermal, cristais muito fraturados, angulosos a arredondados, com textura do tipo cataclástica, evidenciada por pórfiros dispersos em uma matriz muito fina, formada por cristais hidrotermais como clorita, sericita e localmente carbonatos e óxidos de ferro (Figs. 9A e B).

Em relação aos sulfetos, a pirita, é mineral mais abundante da associação, com formas subédricas a anédricas, de hábito cúbico a maciça, ocorrendo de modo disseminado na clorita e/ou de forma maciça em associação com os veios de quartzo. Algumas gerações de piritas se dispõem com textura do tipo poiquilitica, com inclusão de cristais menores de calcopirita (Figs. 9A e B). O contato entre pirita e calcopirita é do tipo côncavo-convexo, indicando uma relação reliquiar entre calcopirita e pirita em um processo de substituição entre ambas. Algumas vênulas de pirita também ocorrem preenchendo fraturas, em contato direto a quartzo.

A calcopirita é o principal sulfeto associado a mineralização Au (Cu), ocorre como vênulas e bolsões no halo de alteração, também de forma disseminada a filões de quartzo. A calcopirita apresenta forte associação com bornita, esfarelita, galena, ilmenita e covielita em texturas do tipo substituição (Figs.9 C e D). A bornita e pirrotita são os sulfetos que exibem maiores associações com a calcopirita em substituição (Figs.10 A e B).

O quartzo está disposto, de forma xenoblástica, com cristais anédricos, arredondados, exibindo extinção ondulante forte e com indícios de processo de alteração e brechação do halo. O quartzo ocorre também como veios e vênulas maciços de quartzo leitoso, associado por vezes com a mineralização.

Os carbonatos, por sua vez, apresentam-se associados principalmente a clorita ou preenchendo falhas e fraturas, na forma de vênulas com espessura de até 15 cm. Os oxi-hidróxidos de ferro ocorrem por vezes associados a borda dos sulfetos, sendo relacionados a processos supergênico do veio.

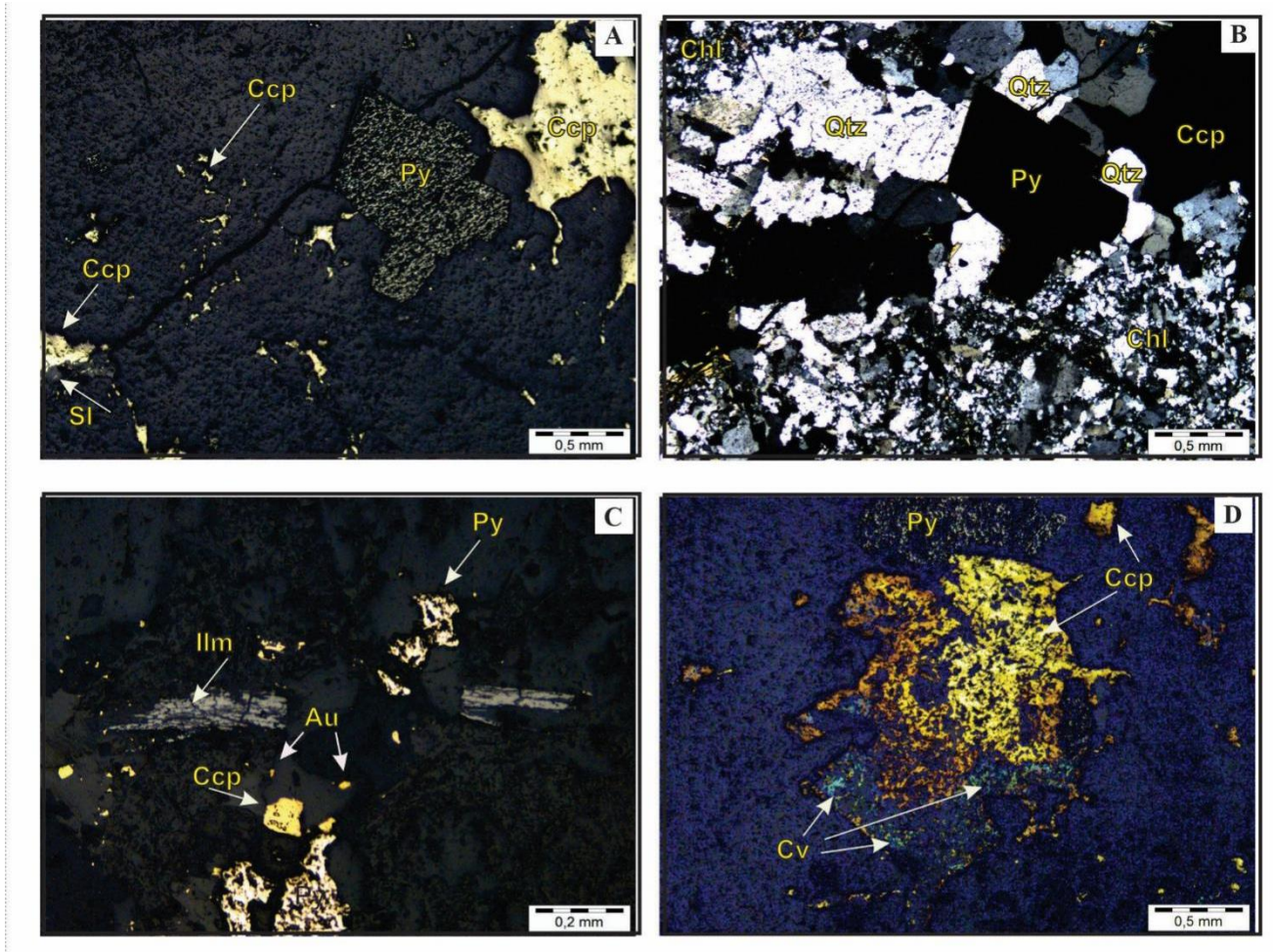


Figura 9 - Fotomicrografia veio Mogno (A e B) Aspecto textural do hidrotermalito, notar clastos dispersos em matriz fina intensamente cloritizados, pirita contato reto com vênula e irregular com calcopirita (LP e

NC). (C) Associação de minerais com minério, ilmenita fibrosa e possíveis partículas de Au (LP). (D) Alteração em cristais de calcopirita, observar alteração para covielita em borda (LP).

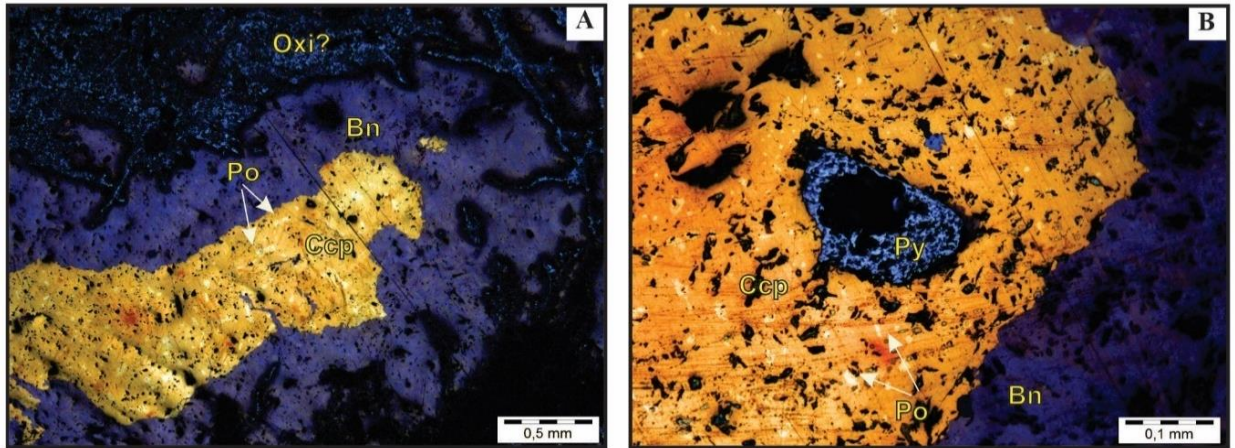


Figura 10 - Fotomicrografia veio Mogno (A) Veio de minério com assembleia rica em calcopirita e associação com bornita e pirrotita, notar borda oxidada (LP). (B) Inclusão de pirita (ou pirrotita?) em calcopirita e opaco com borda em bornita (LP).

VEIO IPÊ

Estrutura localizada a NE do veio mogno, a aproximadamente 20m de distância, a estrutura a qual condiciona o principal *trend* da mineralização segue a mesma feição com a rocha encaixante intensamente potassificada evidenciado pela coloração rósea e seus aspectos texturais, e o hidrotermalito de coloração cinza esverdeado a cinza claro, composto por uma matriz predominantemente clorita, fengita, e sericita, orientado seguindo o segundo *trend* da mineralização NW-SE, e concordante a ele ocorrem veios de quartzo sulfetados, carbonato (calcita e dolomita) e fluorita além de quartzo sem sulfetos associados (Fig. 6B).

Em amostras de mão coletadas em campo, pode se perceber distintos comportamentos texturais do veio, sendo, no nível 19-setor sul, a estrutura é composta predominantemente por sericita e clorita maciças, pirita em vênulas de quartzo e moderado grau de oxidação (Fig.11A). Além do mais, em amostras do nível-40-setor sul o halo de mineralização apresenta maiores proporções mineralógicas, com clorita disseminada e veios de quartzo sulfetados em pirita e calcopirita, também há a precipitação de sulfetos nas fraturas (Fig.11B). No nível -60-setor sul e norte o veio dispõe de um grande aporte em minerais de minério, com ocorrência de pirita, calcopirita, bornita ± pirrotita em veios de quartzo maciços (Fig.11C).

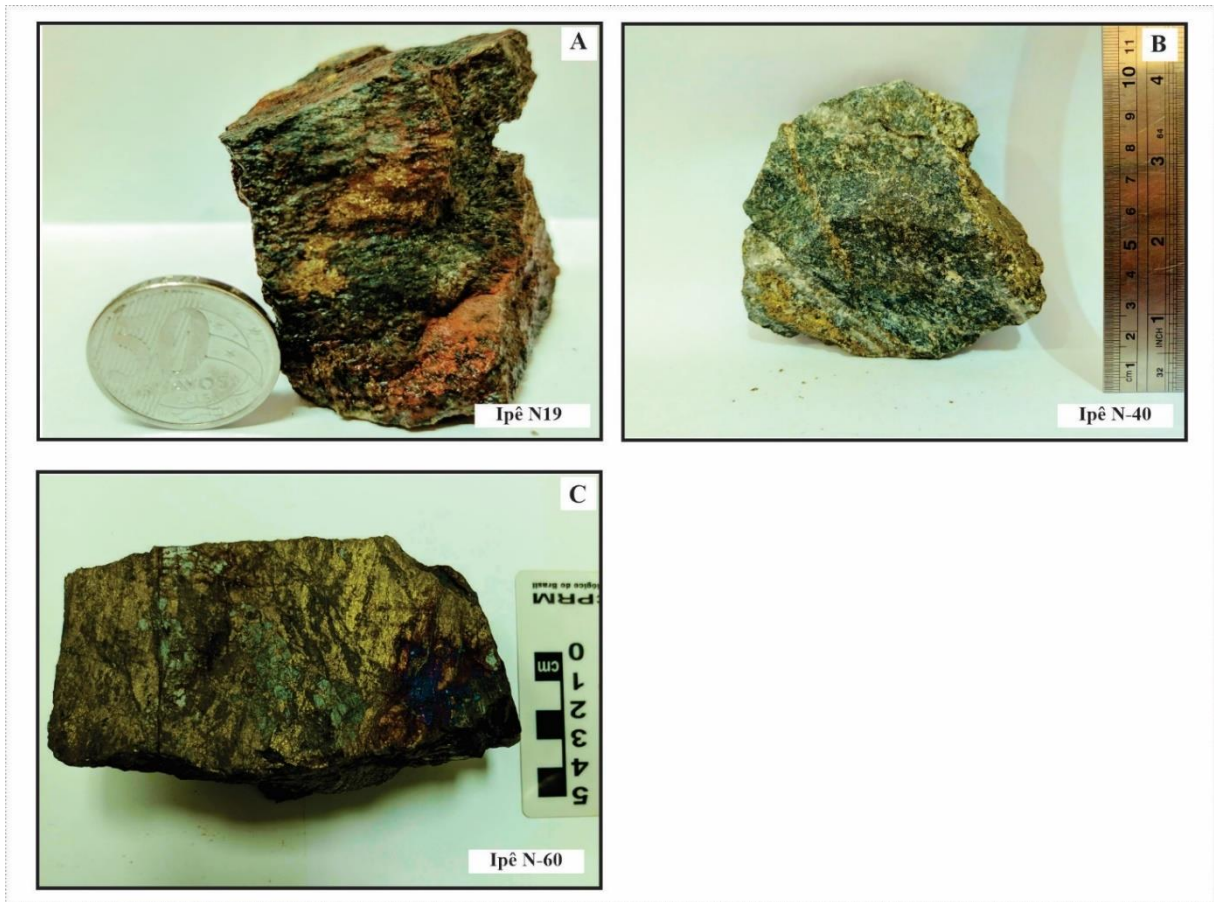


Figura 11 - Aspectos mesoscópicos veio Ipê (A) hidrotermalito sulfetado com porções oxidadas (B) Veio cloritizado com veio de quartzo sulfetado em pirita e calcopirita. (C) Parte de filão quartzo com alto conteúdo metálico, alta densidade e mineralogia em calcopirita, pirita e bornita.

Microscopicamente, o veio é composto por pirita, calcopirita, pirotita, bornita, esfarelita, galena, bismutinita, *electrum*, e ouro nativo dispersos em matriz fina, de clorita e sericita, assim como componentes da rocha encaixante como vestígios de plagioclásio e biotita (Figs.12A e B).

A pirita, de maior proporção em lâmina com textura hipidiomorfica, disseminada a agregada a veios de quartzo, com fraturas preenchidas por carbonatos e outros óxidos, ocorre também inclusa em calcopirita. Cristais de pirita apresentam alto grau de retrabalhamento, muito fraturada, por vezes anédricas. (Figs.12B e E).

Por sua vez, a calcopirita ocorre como agregado associado ao quartzo ou pirita, subédrica. A calcopirita tem forte relação de formação com a pirita, podendo ser observada contatos retos a irregulares entre elas, além de texturas de substituição marcada por hematitas em calcopirita e pirita (Figs.12C e D). Outrossim, de ocorrência mais restrita a calcopirita, há galena, bismutinita e cassiterita ambos em escala de *micros* subordinados a zonas de alto teor,

em contato irregulares, por vezes substituídas (Fig. 12C e Figs.13A e B). Observou-se que partículas de electrum se encontram intercrescido em cristais de calcopirita.

Outros sulfetos como pirotita e bornita também estão associados a assembleia e ocorrem em zonas de alta concentração mineral em teor, na forma de agregados maciços. Minerais carbonáticos e de fluorita também ocorrem na estrutura, geralmente anédricos, de forma disseminada a maciça. Em ambos os veios é possível identificar os minerais primários parcialmente alterados pelo processo hidrotermal, como feldspatos potássicos com forte alteração argílica, além de biotita e anfibólio com alto grau de cloritização.

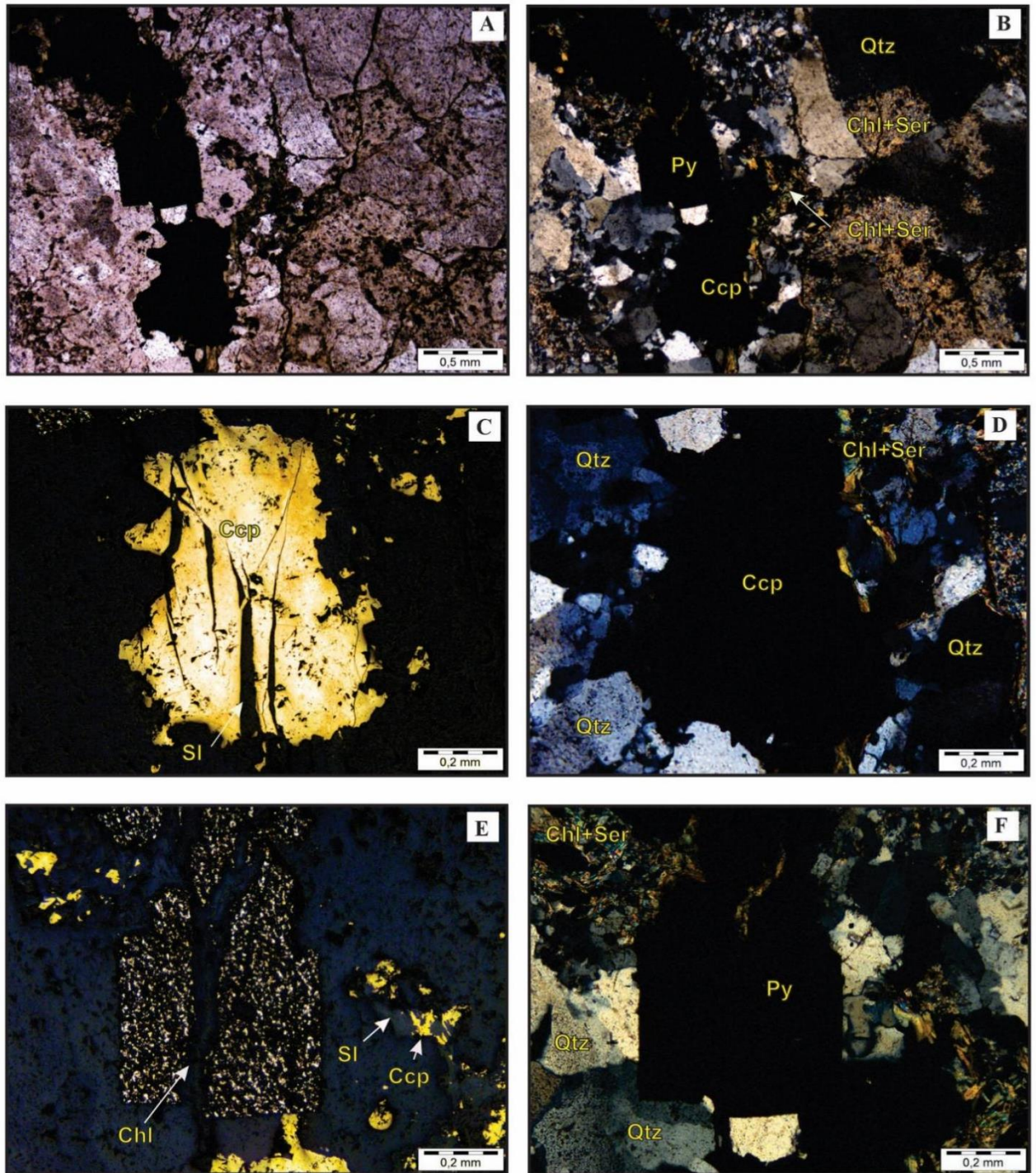


Figura 12 - Fotomicrografia veio Ipê (A e B) Aspectos texturais do veio, enfoque para matriz fina envoltos em sulfetos e quartzo (vênulas e granulares) (LR e NC). (C e D) Calcopirita anédrica com fraturas preenchidas. (LR e NC). (E e F) Cristal de pirita fraturado preenchido com clorita, enfoque para substituição de calcopirita por esfarelita (LR e NC).

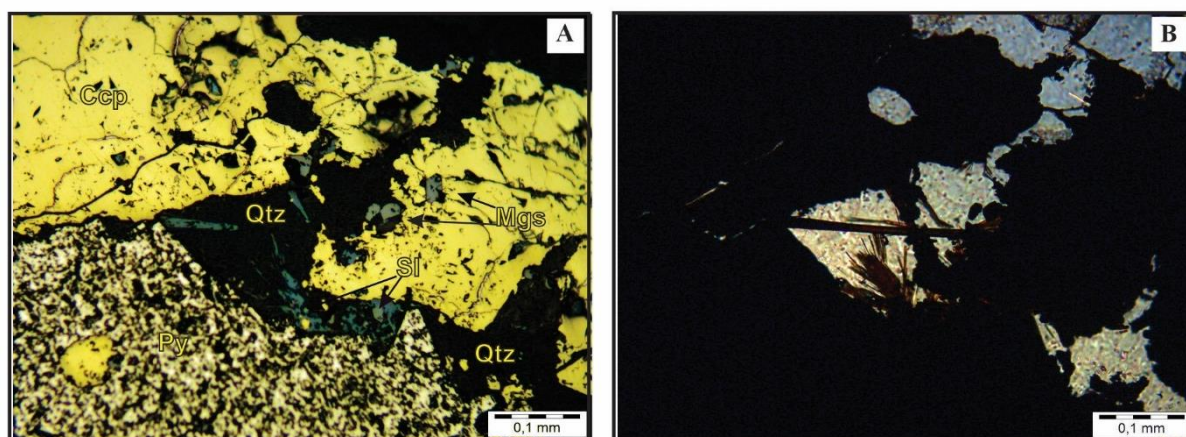


Figura 13 - Fotomicrografia veio Ipê (A e B) Relação de contato entre pirita e calcopirita, notar inclusão de magnetita em calcopirita. (LP e LR).

4.2 ANÁLISE POR MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA

Análises de MEV-EDS foram realizadas de modo a complementar as informações texturais apresentadas e fornecer dados semiquantitativos da composição química presente nos minerais dos veios Mogno e Ipê. A partir dele foi possível identificar as relações de contato entre os minerais de minério e os minerais deletérios, assim como identificar algumas relações genéticas e do comportamento do minério em diferentes teores no corpo mineralizado.

. Nos veios Mogno e Ipê, a partir das análises de MEV, foi possível identificar uma mineralogia de minério semelhante, marcada predominante por pirita, calcopirita, bornita e pirotita e relacionado a essa assembleia foram identificados outros sulfetos, como bismutinita, cuprobismuto, telúrio-bismuto, matildita, galena, barita, esfalerita, calcocita, cassiterita, estanho, pilsenita, hessita, hedleyite, Ag-Te-Bi telureto, wittichenita e *electrum*. Além de minerais de alteração hidrotermal da rocha ou da rocha encaixante, como clorita, sericita, feldspatos, minerais de elementos terras raras, fengita, zircão, calcita, fluorita e óxidos de ferro.

De modo geral, no hidrotermalito a clorita ocorre disseminada em todo o halo mineralizado, exibe-se principalmente com hábito fibroso a irregular, por muitas vezes em contato com quartzo e os sulfetos, com forte enriquecimento em Mg, Al e Fe. O quartzo ocorre de forma granular grosso, em análises de MEV é possível observar que este apresenta relação direta com minerais minérios, na borda de sulfetos ou incluso nos minerais com padrão estrutural em várias fases distintas (Fig.14).

Quanto aos sulfetos a pirita é um dos principais minerais em ambos os veios exibindo diferentes tamanhos e granulações, variando de formas anédricas a subédricas, desde maciças a disseminadas. Nas porções brechadas dos dois veios também ocorrem piritas, de forma

granular, bastantes alteradas. Calcopirita também é identificada em associação com a pirita, mostrando um padrão de reação de substituição (Fig.14A).

A calcopirita se distribui em diferentes proporções no veio, podendo ser como relíquias granulares inclusas em pirita com contato irregulares, indicando reações de substituição, ou como cristais anédricos grossos, dispersos em filões de quartzo (Fig. 14). De acordo com sua distribuição no veio, a ocorrência deste mineral também é correlata a *grades* de alto conteúdo metálico, dessa forma, durante as análises foram possíveis observar também inclusões de sulfetos ricos em Bi, Te, Zn, Sn além de partículas de *electrum*, todas como cristais finos, granulares a fibrosos em contatos irregulares, com forte evidência para reações de substituições com a calcopirita.

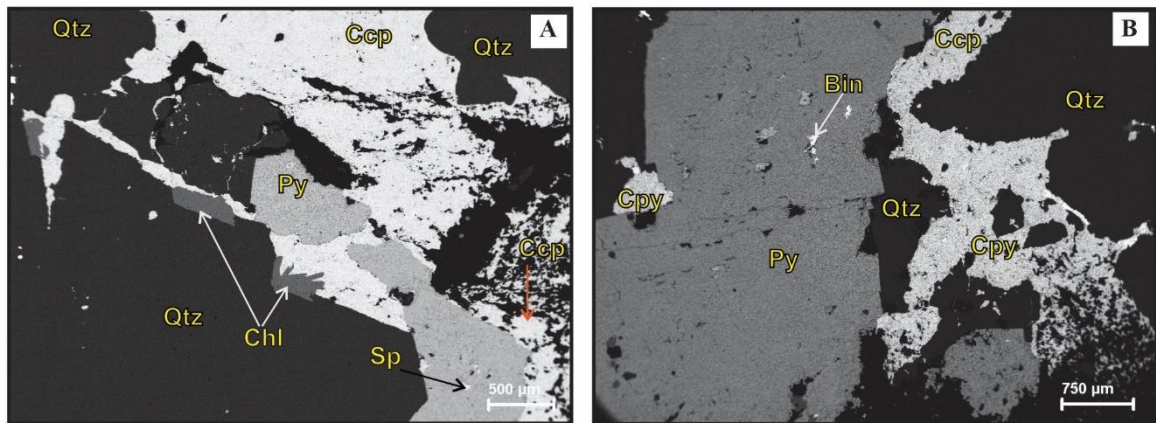


Figura 14 - Imagem de elétrons retroespalhados (BSE) do veio. Ipê (A) Assembleia mineral e textural geral veio mineralizado. (B) Relação de contato e inclusões de sulfetos em hidrotermalito

Outra fase de ocorrência predominante é a bismutinita, partículas finas (<25µm) anédricas ou na forma de vênulas, inclusa em quartzo de hábito granular fino ou em reações com calcopirita (Fig. 15A e B). Em algumas análises, é possível identificar, dentro dos cristais do sulfeto, bismuto nativo, pontualmente no centro (Fig.15C). As fases *hedleyita* e *tetradymita* também foram analisadas, marcando assim uma variação nas proporções de Bi e Te, ambos localizados nas bordas da bismutinita, e por menor, foram identificadas *wittichenita*, com altas concentrações de Cu (Fig.15D).

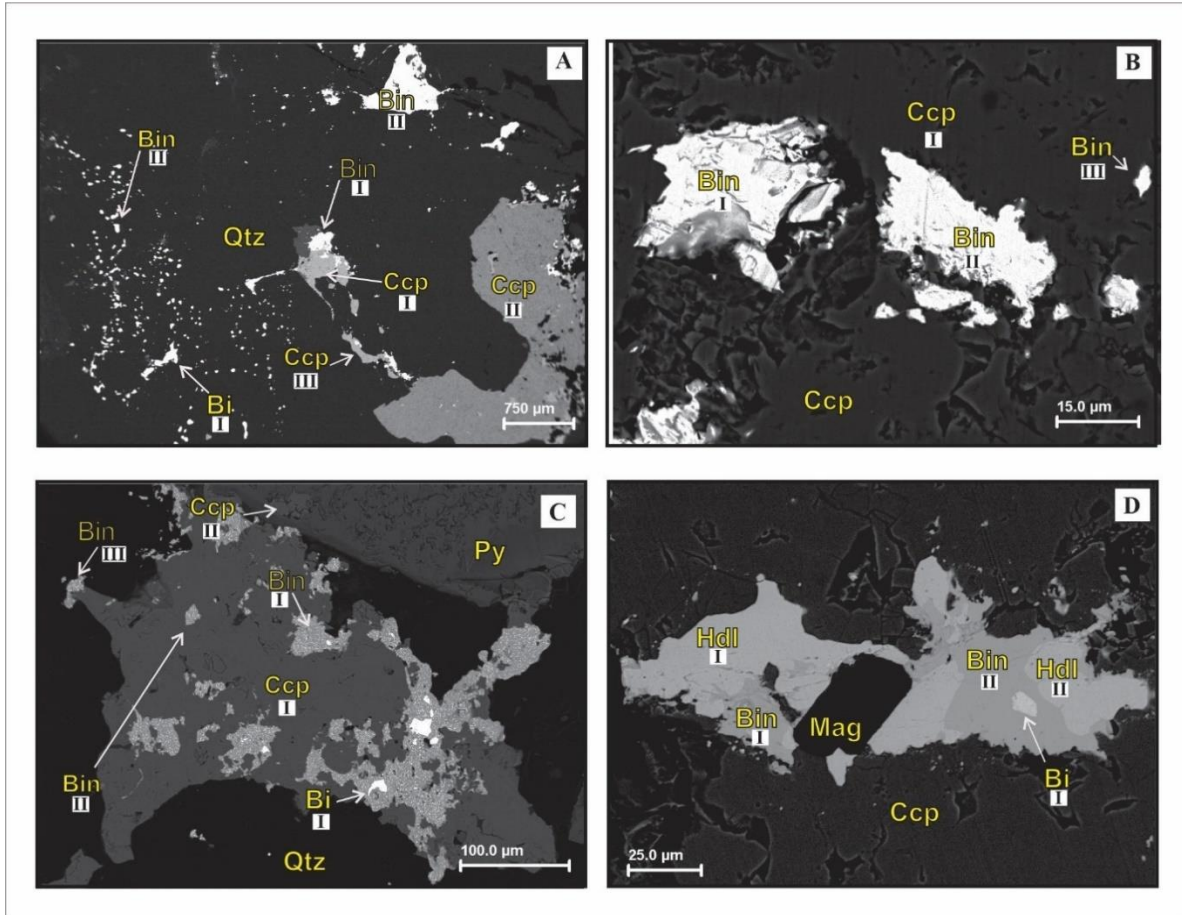


Figura 15 - Imagens BSE (A) Veio de quartzo mineralizado, notar agregado de bismutinita granular fino. (B) Reações de substituição entre calcopirita e bismutinita. (C) Cristal de calcopirita substituída por bismutinita e bismuto nativo. (D) Alterações na composição de Bi e Te, inclusas em calcopirita

Tabela 1 - Análises semiquantitativa em % dos elementos em respectivos minerais.

A							
	Calcopirita			Bismutinita		Bismuto	
	S	Fe	Cu	S	Bi	O	Bi
I	36,36	30,83	32,81	19,39	80,61	6,48	93,52
II	36,26	30,24	33,5	19,09	80,91	5	95
III	35,84	30,37	33,78				
B							
	Bismutinita			Calcopirita			
	O	S	Bi	S	Fe	Cu	
I	3,69	18,26	78,05	35,42	29,36	35,22	
II	4,51	18,17	77,32				
III	3,98	19,41	76,62				
C							
	Bismutinita		Calcopirita		Bismuto		
	S	Bi	S	Fe	Cu	O	Bi
I	18,84	81,16	35,3	30,8	33,9	3,33	96,67
II	19,3	80,7	36,1	31,7	32,2		
III	18,7	81,3					
D							
	Bismutinita		Hedleyita		Bismuto		
	S	Bi	Te	Bi	O	Bi	
I	18,1	81,1	23,7	76,3	7,01	92,99	
II	19,1	80,9	23,55	76,45			

Sulfetos mais raros também foram caracterizados como galena, ora incluso em calcopirita ora na borda de esfarelita por reações de substituição. (Figs.16A e B). Também foram individualizados cristais de barita, em hábito granular agregados com calcopirita em sua borda, a respeito desta fase no ponto, também pode-se perceber que há distinção textural entre as calcopiritas, assim como diferenças nas proporções de Fe em ambas (Fig.16C). De forma mais restrita, também ocorrem óxidos de estanho, marcado pela cassiterita, em cerca de seis pontos, com hábito granular a fibroso, incluso em pirita (Fig. 16D).

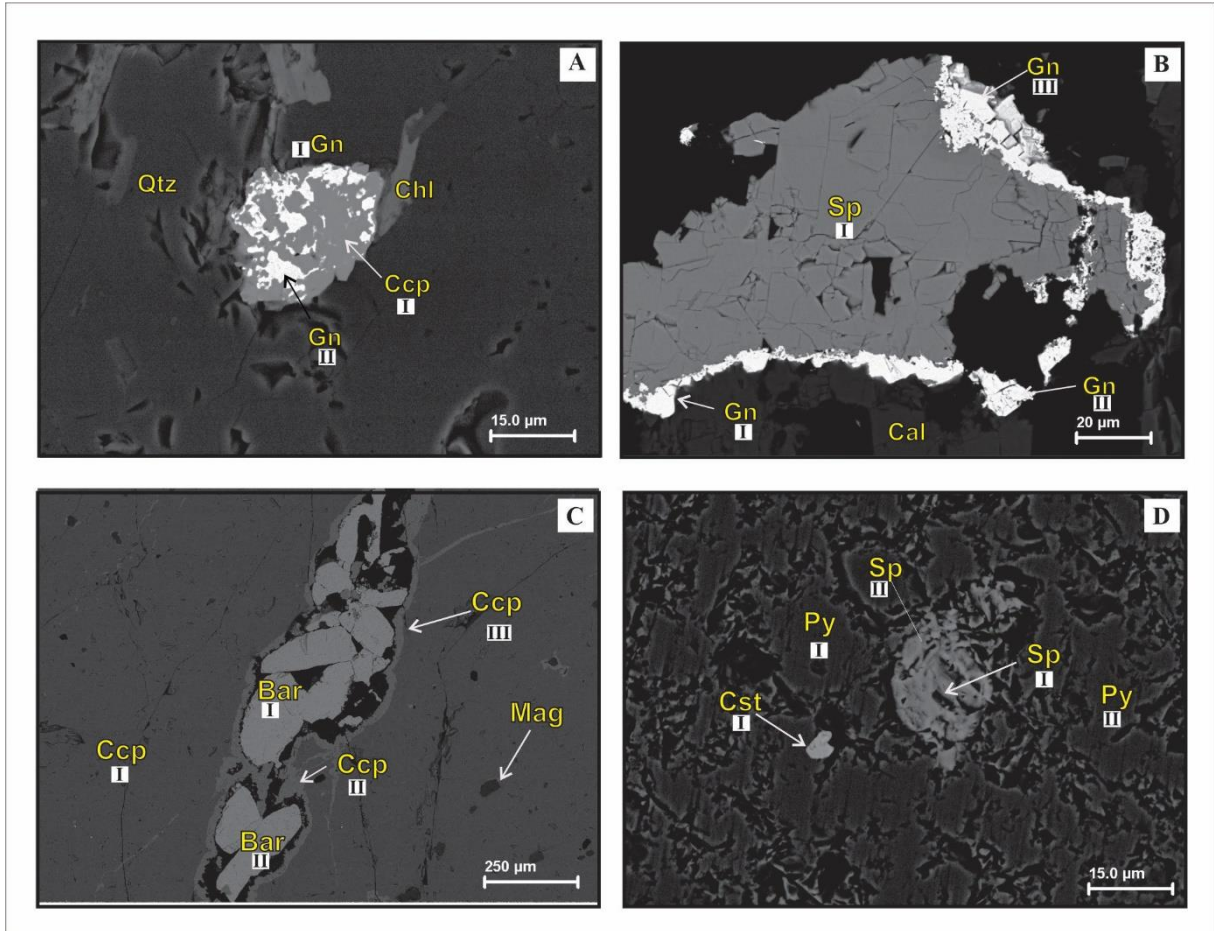


Figura 16 - Imagem BSE (A) Galena em calcopirita, reação de substituição. (B) Veio de quartzo com esfarelita e galena em borda, indicando substituição (C) Cristais de barita anédrico em veio de quartzo, notar gerações de calcopirita (D) Pirita com cassiterita granular a fibrosa

Tabela 2 - Análises semiquantitativa em % dos elementos em respectivos minerais.

A						
	Galena		Calcopirita			
	S	Pb	S	Fe	Cu	
I	24,8	75,2	37,3	29,9	32,8	
II	16,8	83,2				
B						
	Galena		Esfarelita			
	S	Pb	S		Zn	
I	14,3	85,7	45,4		56,4	
II	14,5	85,5	47,1		52,9	
III	14,8	85,2				
C						
	Calcopirita			Barita		
	S	Fe	Cu	O	S	Ba
I	34,64	29,89	35,48	30,93	13,73	55,35
II	26,08	11,1	62,82	27,81	13,78	58,41
III	26,43	11,36	62,21			
D						
	Pirita		Esfarelita		Casiterita	
	S	Fe	S	Zn	O	Sn
I	52,9	47,1	36,4	63,6	27,33	72,67
II	53,46	46,54	39,2	60,8		

Nas duas estruturas, foram detectadas partículas de *electrum* com distintas taxas de variação em Au-Ag, em hábito anédrico granular e fibroso de granulação fina, por vezes incluso em calcopirita e por menor em pirita e quartzo (Figs.17A e B). Sua ocorrência também está associada com bismutinita e sulfetos ricos em Te, marcando também reações de substituição nas partículas (Fig17C e D).

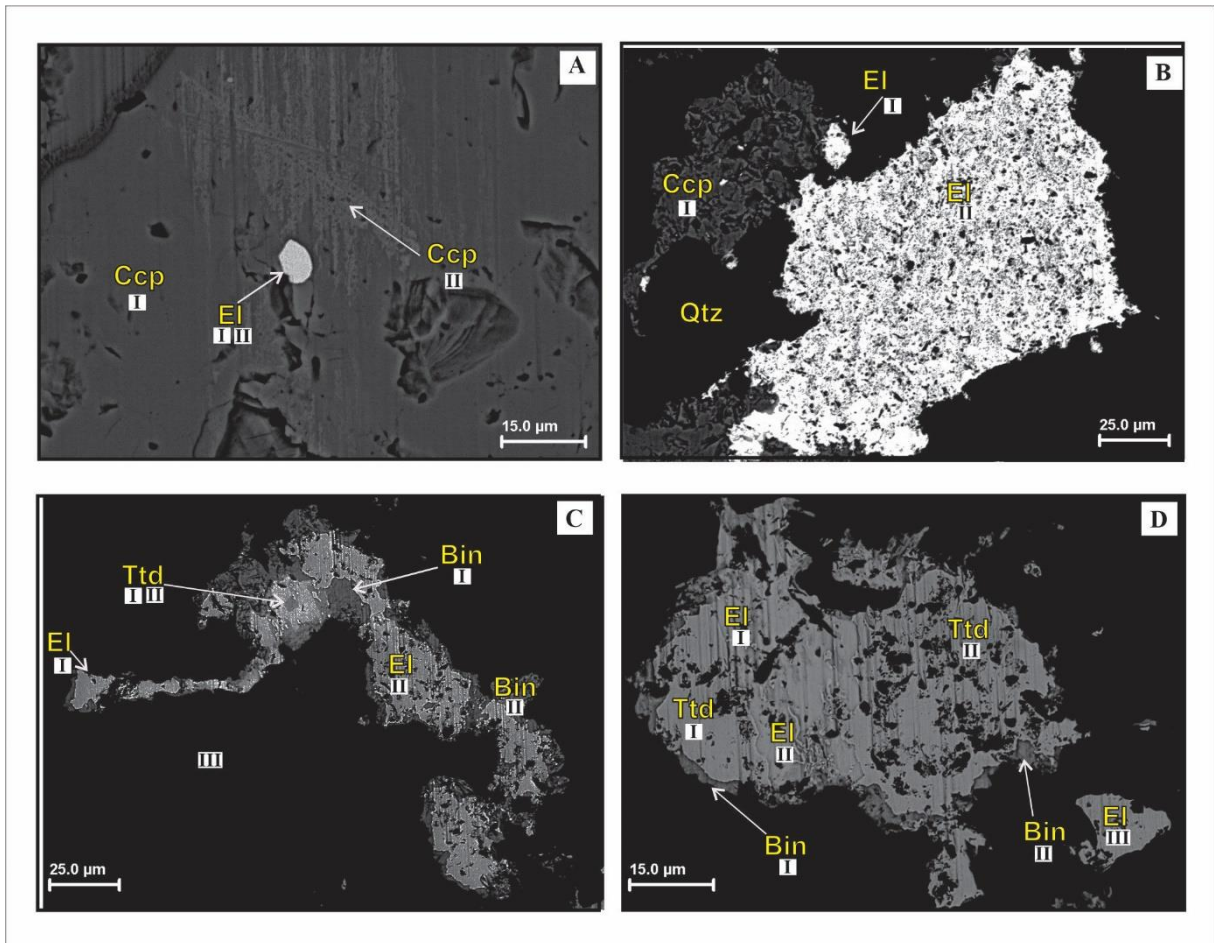


Figura 17 - Imagem BSE (A) Partícula de *electrum* em calcopirita com textura treliça, notar diferença composicional em Cpy. (B) Partícula de Ouro em reação com calcopirita e quartzo. (C e D) Cristais ouro associado a compostos de bismuto e telúrio.

Tabela 3- Análises semiquantitativa em % dos elementos em respectivos minerais.

A						
	Electrum		Calcopirita			
	Ag	Au	S	Fe	Cu	
I	28	72	35,1	34,6	30,3	
II	27,5	72,5	34,6	30,9	34,5	
B						
	Electrum		Calcopirita			
	Ag	Au	S	Fe	Cu	
I	21,76	78,24	35,05	30,67	34,27	
II	22,03	77,97				
C						
	Electrum		Bismutinita		Tetradymita	
	Ag	Au	S	Bi	Te	Bi
I	21,42	78,58	19,02	80,98	39,95	60,05
II	22,88	77,12	18,65	81,35	25,78	74,22
D						
	Electrum		Bismutinita		Tetradymita	
	Ag	Au	S	Bi	Te	Bi
I	21,89	78,11	19,02	80,98	24,57	75,43
II	21,76	78,24	19,05	80,95	24,54	75,46
III	22,19	77,81				

As partículas foram classificadas como ligas metálicas de ouro e prata (*electrum*), variando em diferentes proporções, com o auxílio do Sistema de Energia Dispersiva acoplada ao MEV, foram gerados mapas composicionais das partículas de Ouro, com a delimitação dos principais domínios elementares de Au, Ag, Cu, S, Si, Te e Bi. Nos mapas é possível identificar ora uniformidade de concentração para Au nos cristais ora as distribuições de forma irregular por outros elementos como Bi e Te. O mapa da figura 18, veio Ipê, nível -60, exibe partícula de *electrum* com igualdade em distribuição entre Au e Ag. Já no mapa da figura 19, de partícula de *electrum* com variação na distribuição elementar entre Au, com borda em predomínio em Bi e possível reação central em Te. A figura 20, também apresenta similaridade no comportamento dos elementos de Au, Ag, Bi e Te, com reação similar de Bi nas bordas e concentrações de Te, Au e Ag na porção central.

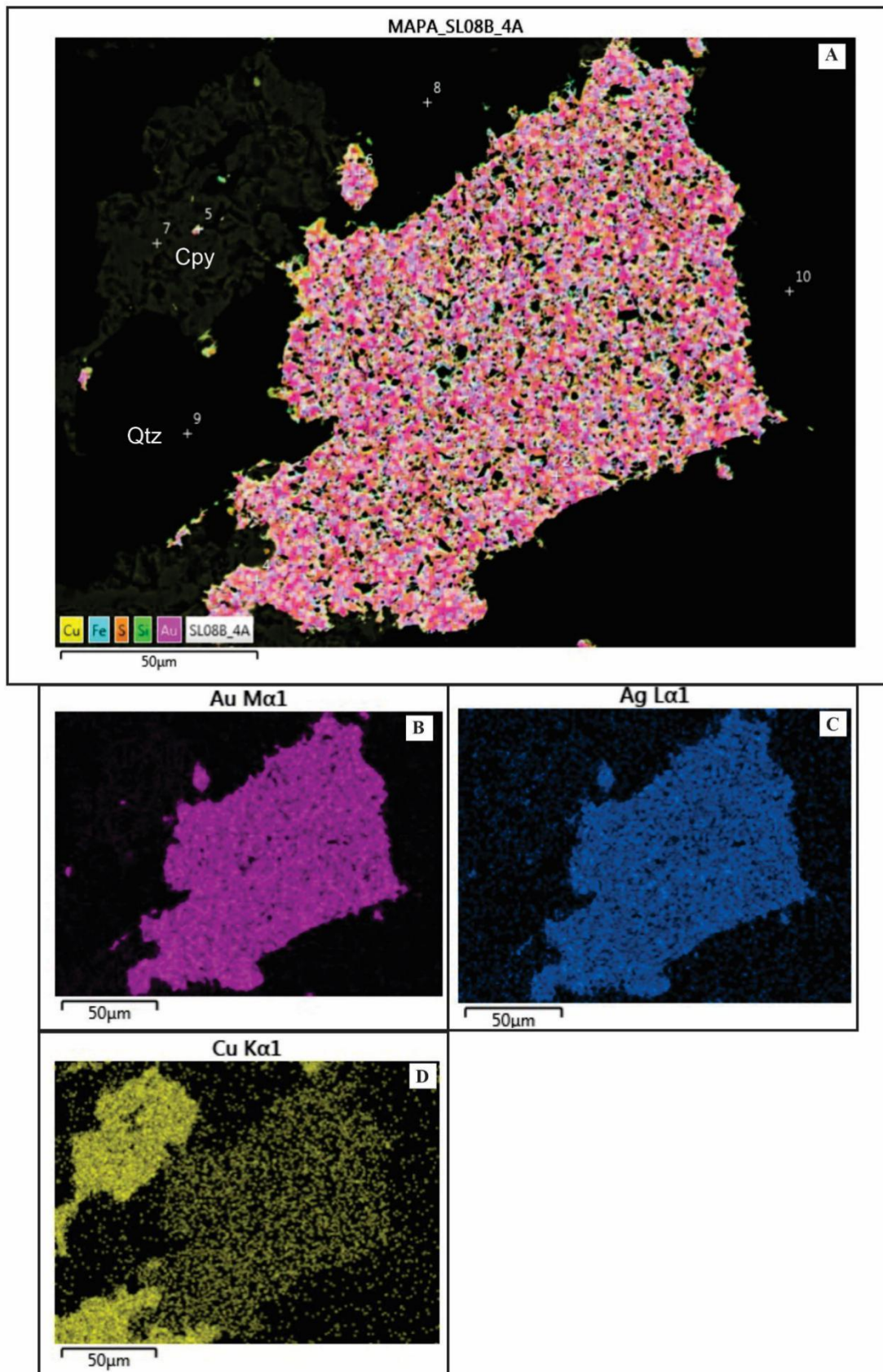


Figura 18 - Mapas de distribuição dos elementos químicos em partícula de *electrum* com calcopirita associada. A) Todos os elementos na partícula de *electrum*. B) Ouro, C) Prata, e D) Cobre.

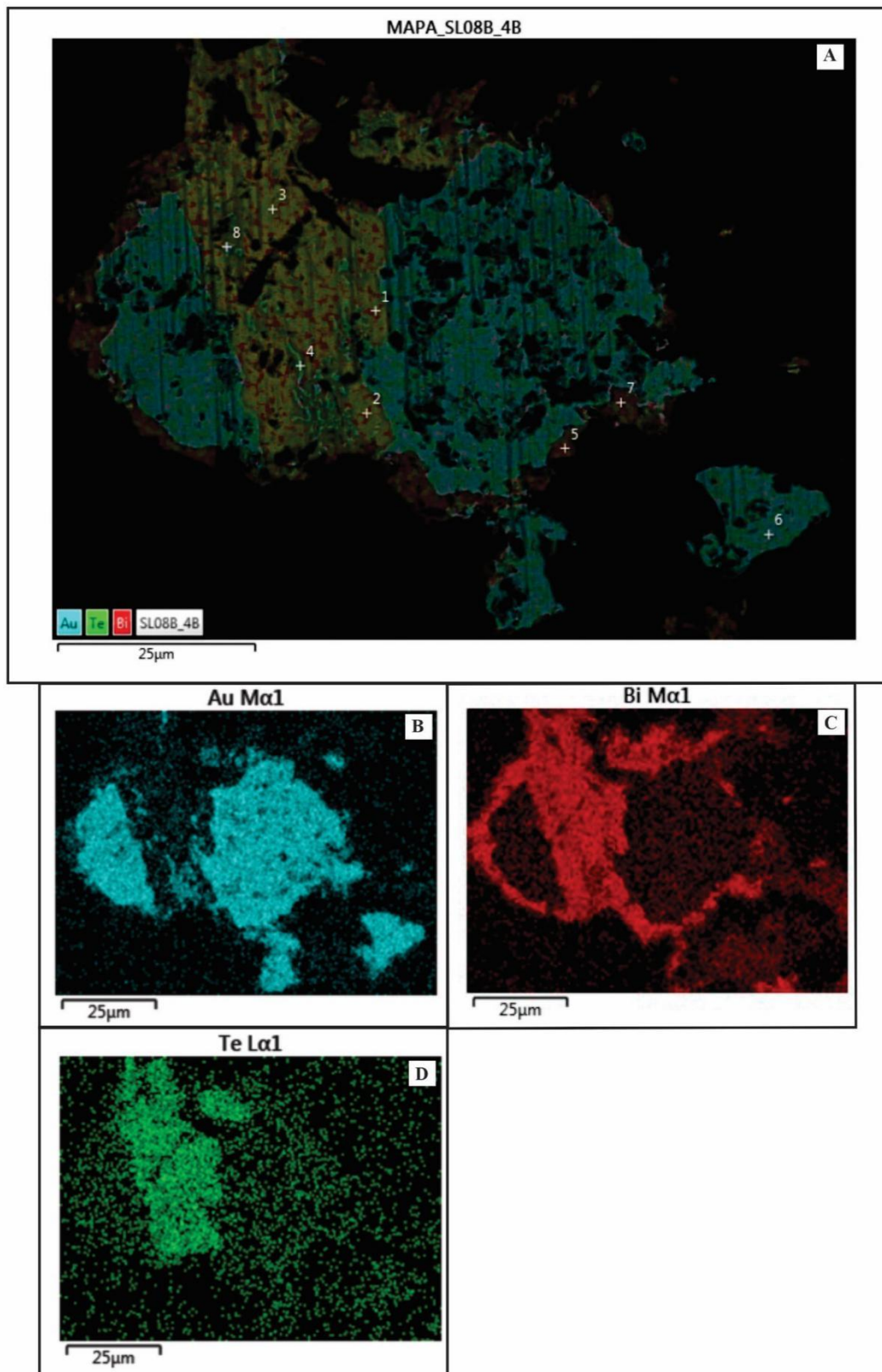


Figura 19 - Mapas de distribuição dos elementos químicos em uma partícula de ouro com compostos de Bi e Te associados. A) Todos elementos, B) Ouro, C) Bismuto e D) Telúrio.

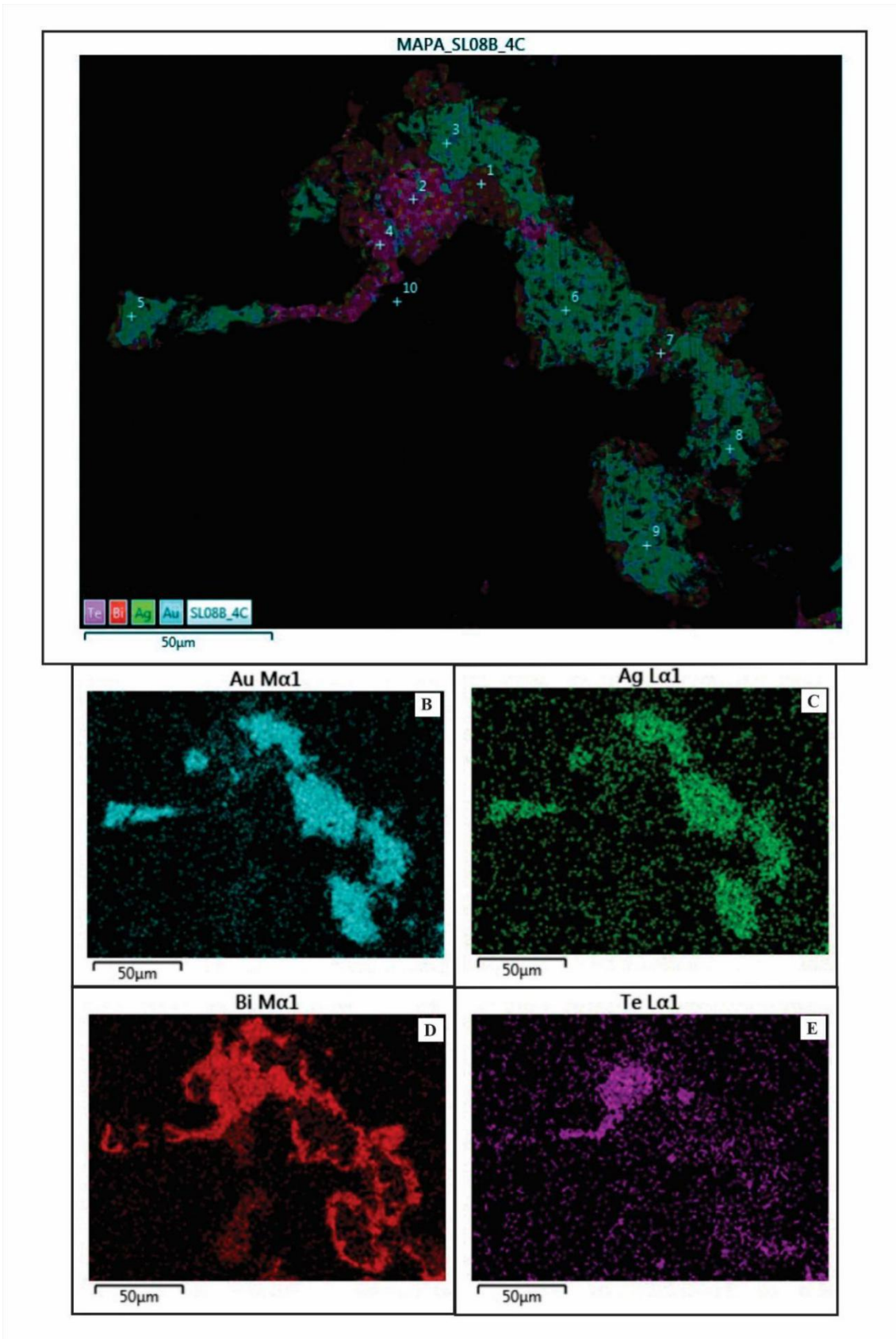


Figura 20 - Mapas de distribuição dos elementos químicos em partícula de *electrum* com compostos de Bi e Te associados. A) Todos os elementos na partícula de *electrum*. B) Ouro, C) Prata, e D) Cobre.

5 DISCUSSÕES

No depósito de ouro da mina do Palito, os estudos de Costa (2008) e Echeverri-Misas (2010), caracterizam os corpos de minério principalmente compostos por quartzo sulfetados e de sulfetos maciços alojado em zonas de alteração sericítica na porção apical do corpo granítico, também ocorre de forma subordinada veios secundários de quartzo sulfetados e com sulfetos disseminados nos *stockworks* na zona de alteração potássica, porção mais profunda do corpo.

Os estudos realizados por Hole (2018) na qual é discutido os principais controles mineralógicos dos veios, como estrutural, litológico, profundidade e pressão, seguindo esta mesma linha, pode se constatar em novas análises a constância neste comportamento. Em função da proposta deste trabalho e do exposto no capítulo anterior, com o conhecimento da mineralogia, aspectos texturais e ocorrência de partículas de ouro e *electrum* pode ser constatar certas significâncias texturais e mineralógicas nos veios estudados.

CARACTERÍSTICAS PETROGRÁFICAS

Os estudos petrográficos revelaram que a pirita e calcopirita são os principais sulfetos de minério em ambos os veios Mogno e Ipê, ocorrendo entre essas duas fases distintas reações de substituições. A bornita e pirrotita, representam fases precoce, pois se desenvolvem concomitantemente como inclusão em calcopirita, também são indícios para maiores teores de Au/Cu ao longo dos filões. A combinação de calcopirita e esfarelita em reações de substituição mútua, podem indicar que há diferentes picos de acréscimo ou decréscimo de temperatura ao longo de todo sistema de evolução da mineralização. Também ocorre galena, ora inclusa em calcopirita ou na borda de esfarelita, podendo sendo introduzida por processos hidrotermais tardios.

Sabe-se que a presença de ligas de ouro e prata também são condicionadas pela fase calcopirita, indicando maior compatibilidade do minério com o mineral e sua composição a cobre. Além disso, fases ricas em bismuto (bismuto nativo, bismutinita, tetradimita, wuttichenita, hedleyita, entre outros) também são correlatos em ambos os veios, e ocorre como inclusões em cristais de calcopirita, assim como ocorrência de *electrum* está associada ao bismuto. Este comportamento do bismuto pode trazer implicações significativas para o depósito, pois sabe-se que são indicadores para condições distintas de temperaturas assim como também são relacionados a veios hidrotermais e sua gênese.

VARIAÇÃO MINERALÓGICA EM PROFUNDIDADE

Os veios mogno e ipê exibiram resultados distintos nas análises de química mineral ao se tratar da lâmina e localidade do veio, pois pode-se constatar o enriquecimento mineral e metálico em profundidade, de acordo com a localidade do veio e outros corpos rochosos.

Hole (2018) aborda a respeito dos controles de mineralização dos veios no depósito do Palito, destacando que a profundidade e pressão dos fluidos, pode contribuir para o acréscimo da razão Au/Cu. Nesse sentido, ao se compilar os dados obtidos nestas análises, pode-se perceber que ambos os veios, em profundidade, apresentam maior aporte mineral metálico. Essa correlação pode ser explicada pelo transporte de cobre e ouro dentro de um sistema magmático-hidrotermal de duas fases coexistentes, a primeira em vapor rico em enxofre e outro em fluidos ricos em salmouras, em sistemas mais rasos (<3km), a solubilidade de Au e Cu diminui rapidamente à medida que há a diminuição da temperatura, enquanto em níveis mais profundos a pressão confinante é maior, causando a precipitação maior em Cobre (Hole, 2018 apud Murakami *et al.* 2009). Ele propõe o sistema de controle de mineralização semelhante para o depósito do Palito, pois foi constatado o aumento na razão de Cu/Au em profundidade sugerindo que este assume um papel importante para precipitação mineral.

A Tabela 4 elenca os veios estudados bem como seus pontos amostrais, localidade e ocorrência mineral, podendo ser também compatível com os estudos de Hole (2018), na qual demonstra um maior enriquecimento em fases ricas em Cu e Au (Ag), bem como fases ricas em Bi, Te, Sn e Zn que podem indicar diferentes condições ambientais, como temperatura e pressão em profundidade.

IPE		
LÂMINA	NÍVEL	MINERAIS METÁLICOS
SL12	19	Pirita (FeS ₂); Calcopirita (CuFeS ₂); Galena (PbS);
SL07	-40	Pirita (FeS ₂); Calcopirita (CuFeS ₂); Bimutinita (Bi ₂ S ₃); Bismuto (Bi); Esfarelita (ZnS);
SL08	-60	Pirita (FeS ₂); Calcopirita (CuFeS ₂); Bimutinita (Bi ₂ S ₃); Esfarelita (ZnS); Cassiterita (SnO ₂); Electrum (Au-Ag); Ouro Nativo (Au); Hedleyita (Bi ₇ Te ₃); Wittichenita (Cu ₃ BiS ₃); Ag-Te-Bi telutero (Ag ₁₆ FeBiTe ₃ S ₈); Pilsenita (Bi ₄ Te ₃); Estanho (Sn);
SL13	-60	Pirita (FeS ₂); Calcopirita (CuFeS ₂); Bimutinita (Bi ₂ S ₃); Esfarelita (ZnS); Cassiterita (SnO ₂); Electrum (Au-Ag); Ouro Nativo (Au); Hedleyita (Bi ₇ Te ₃); Hessita (Ag ₂ Te); Wittichenita (Cu ₃ BiS ₃); Ag-Te-Bi telutero (Ag ₁₆ FeBiTe ₃ S ₈); Pilsenita (Bi ₄ Te ₃);

MOGNO		
LÂMINA	NÍVEL	MINERAIS METÁLICOS
SL16	54	Pirita (FeS ₂); Calcopirita (CuFeS ₂);
SL04	-40	Pirita (FeS ₂); Calcopirita (CuFeS ₂); Bimutinita (Bi ₂ S ₃); Bismuto (Bi); Bismutoferrita (BiFeO ₃); Esfarelita (ZnS);
SL02	-60	Pirita (FeS ₂); Calcopirita (CuFeS ₂); Galena (PbS); Hedleyita (Bi ₇ Te ₃); Tetradymita (Bi ₂ Te ₂ S); Barita (BaSO ₄); Bismutoferrita (BiFeO ₃); Electrum (Au-Ag);
SL01	-60	Pirita (FeS ₂); Calcopirita (CuFeS ₂); Bimutinita (Bi ₂ S ₃); Bismuto (Bi); Galena (PbS); Tellurobismuthite (Bi ₂ Te ₃); Esfarelita (ZnS); Matildita (AgBiS ₂);

Tabela 4 - Minerais metálicos identificados nos veios Ipê e Mogno da Mina do Palito com auxílio de MEV-EDS

A mineralização de ouro do depósito da mina do Palito está relacionada à um evento magmático-hidrotermal da intrusão do Granito Palito da Suíte Parauari que foi intrudido por diques e soleiras de dacito, *stocks* de granitos pórfiros corpos de gabros da Suíte Ingarana (Costa, 2008; Echeverri-Misas, 2010; Vasquez *et al.*, 2017). Este granito foi cortado por veios de quartzo sulfetados e veios de sulfetos maciços, dentre esses os veios Mogno e Ipê, com halos hidrotermais associados. O hidrotermalismo e mineralização de sulfetos e ouro também afetou os diques e soleiras e granitos pórfiros, sugerindo que essas intrusões tardiais também podem ter sido fontes de calor, fluidos e metais durante uma reativação também marcada pelas falhas que cortam os veios.

Atualmente na mina, com os auxílios dos levantamentos técnicos realizados pelo setor de geologia, é possível observar o papel que tais corpos podem desempenhar para o controle das mineralizações. Para isso, foi elaborado um modelo genérico individualizando *grades* para evolução dos teores de minério, todos influenciados pela entrada no *sill* e falhas. Nesse sentido, os *grandes* foram caracterizados como “low grade distal, low grade, médium grade, high grade e high grade proximal” que tem como referência a localidade do corpo subvulcânicos e sua mineralogia específica.

Com o auxílio deste estudo e com localidade de certos pontos amostrais, pode-se constatar que há, próximo aos corpos intrusivos, maior enriquecimento de metais, enquanto em zonas distais ao corpo, a mineralogia em sulfetos é diminuta. A tabela 4 e o mapa (Fig.21) com as seções transversais (Fig.22) e longitudinais (Figs; 23 e 24) dos veios Mogno e Ipê, podem também auxiliar no entendimento do comportamento dos filões e suas variações mineralógicas de acordo com o comportamento dos outros corpos litológicos.

O modelo da Figura 25, elucidada como estão dispostos os corpos intrusivos subvulcânicos em relação aos veios Mogno e Ipê. Na representação, nota-se que os corpos apresentam proximidade com as estruturas mineralizadas, podendo assim, de acordo com a localidade, concentrar metais. O modelo proposto ainda necessita de mais estudos e metodologia

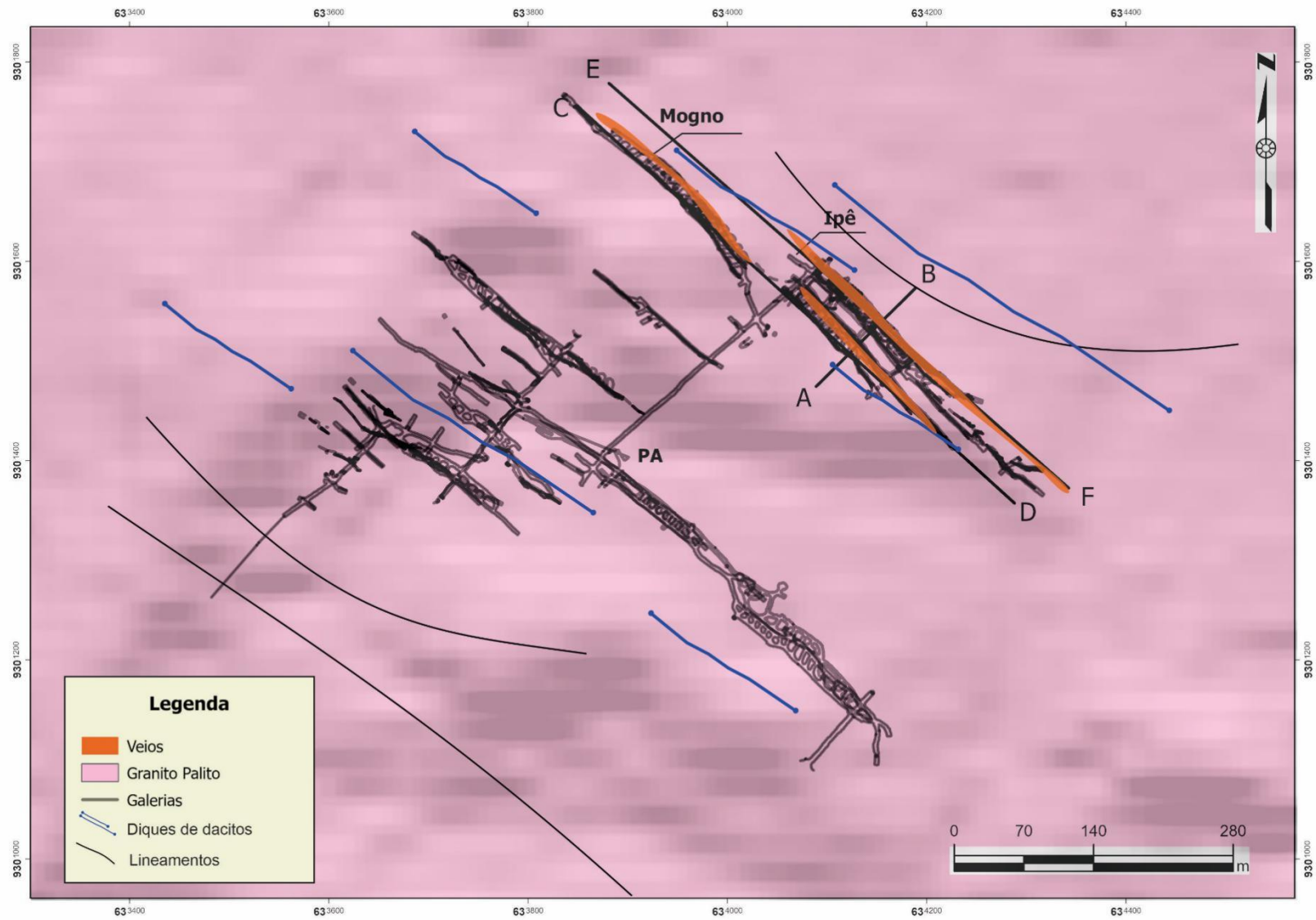


Figura 21 - Mapa área do Site Palito com galerias e veios (adaptado Serabi 2021)

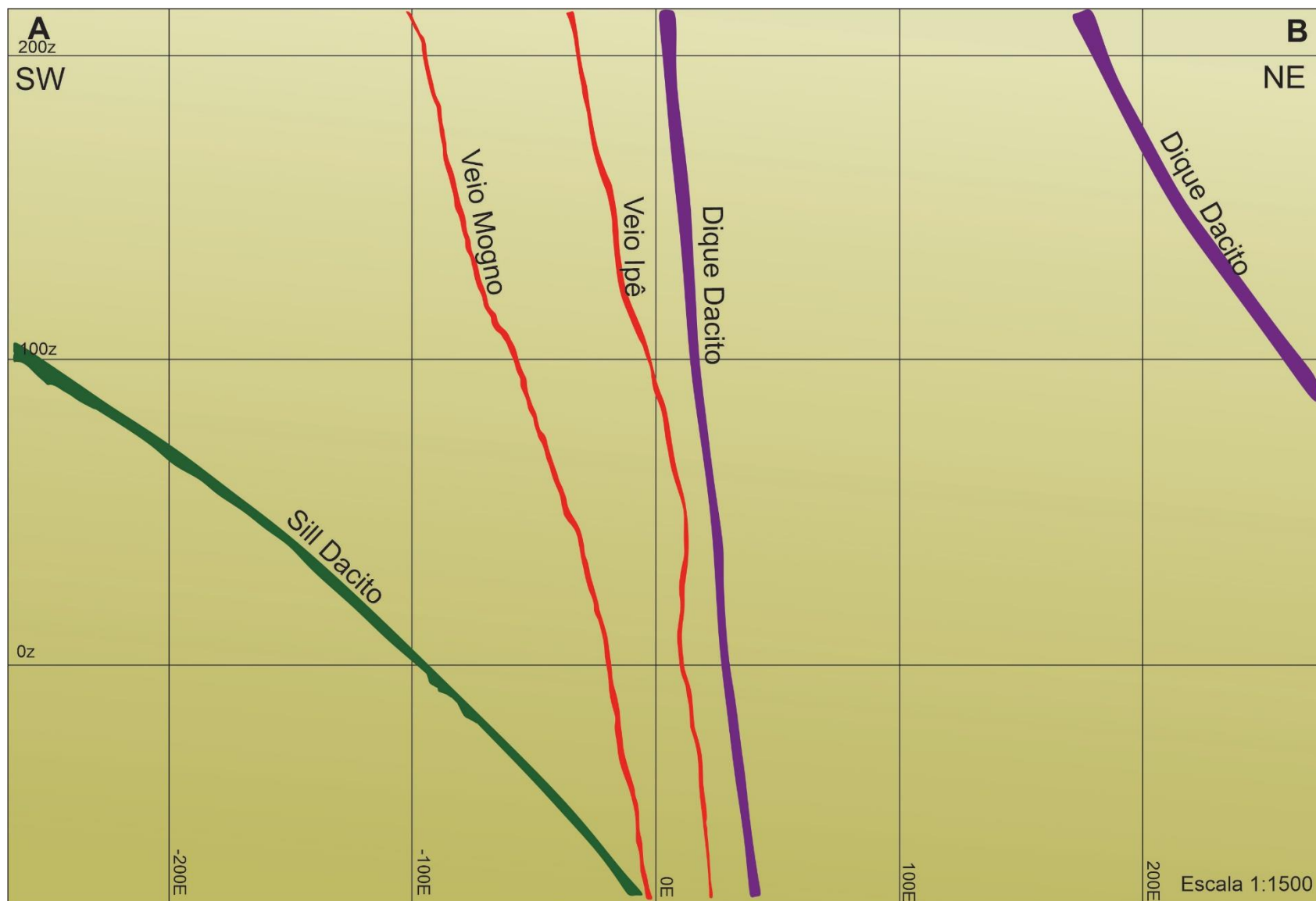


Figura 22 - Seção Transversal Veio Mogno e Ipê com *sill* e diques associados (adaptado Serabi 2019)

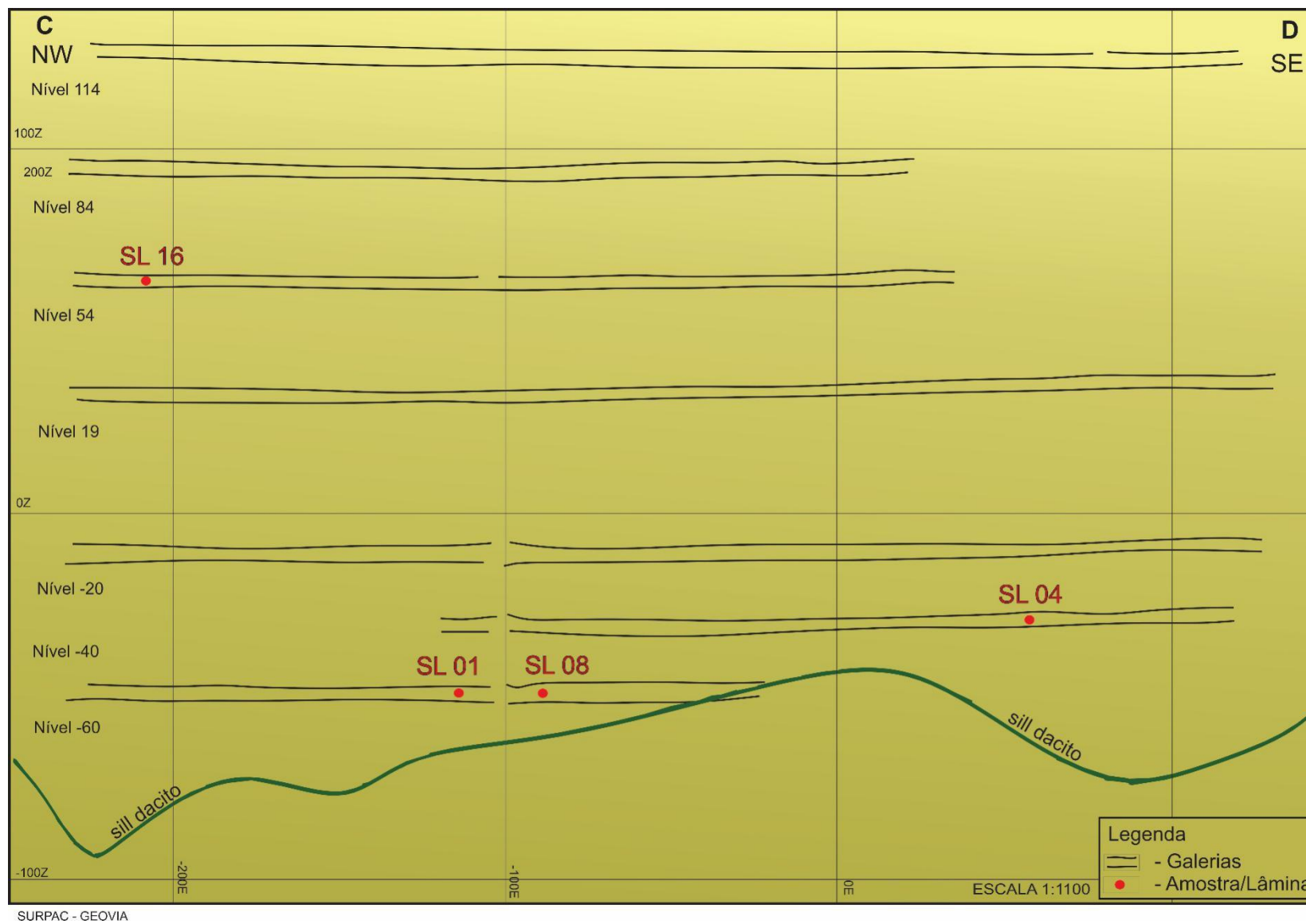


Figura 23 - Seção longitudinal Veio Mogno com pontos amostrais, galerias e disposição do sill (adaptado Serabi 2022)

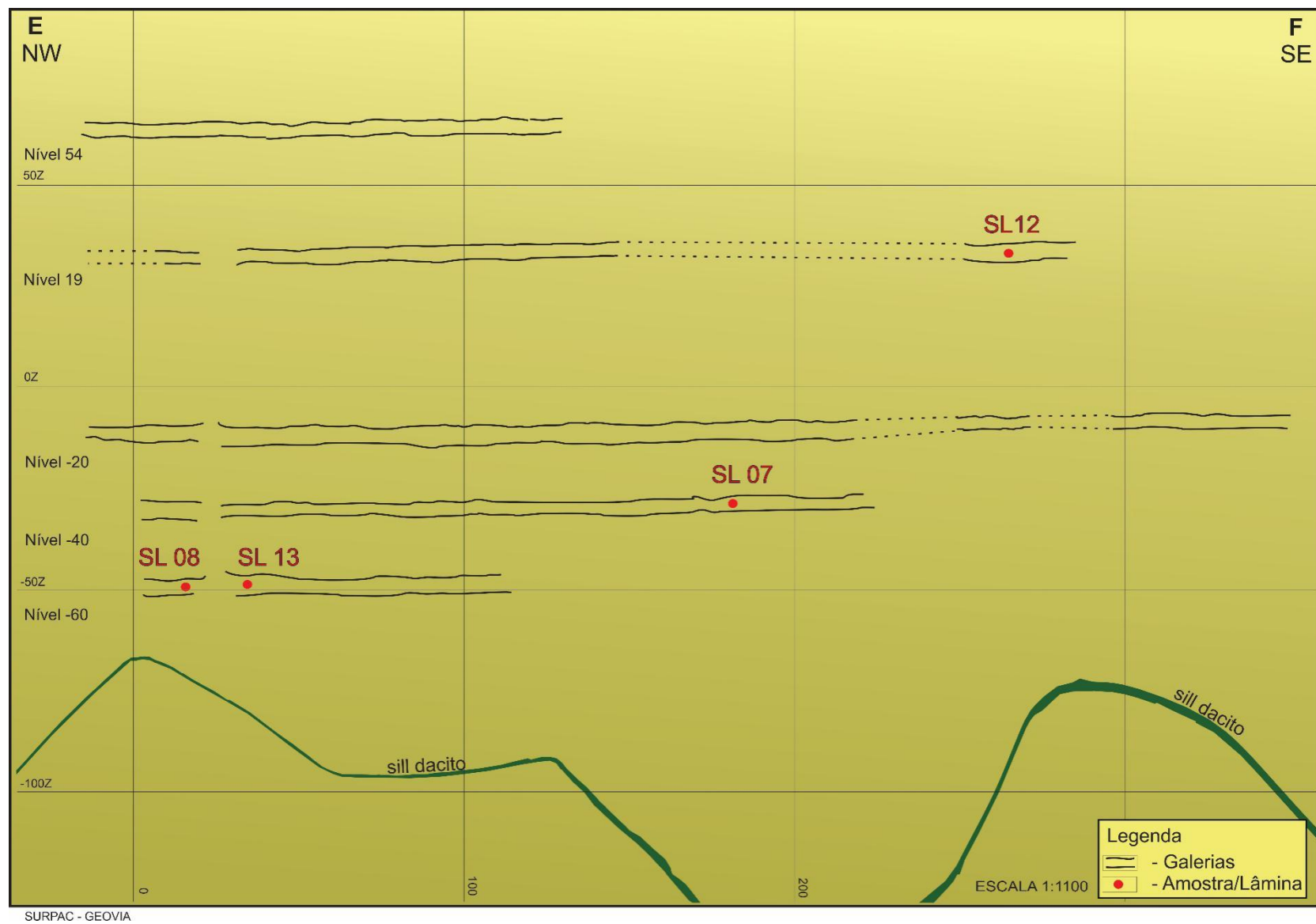


Figura 24 - Seção longitudinal Veio Ipê com pontos amostrais, galerias e disposição do sill (adaptado Serabi 2022)

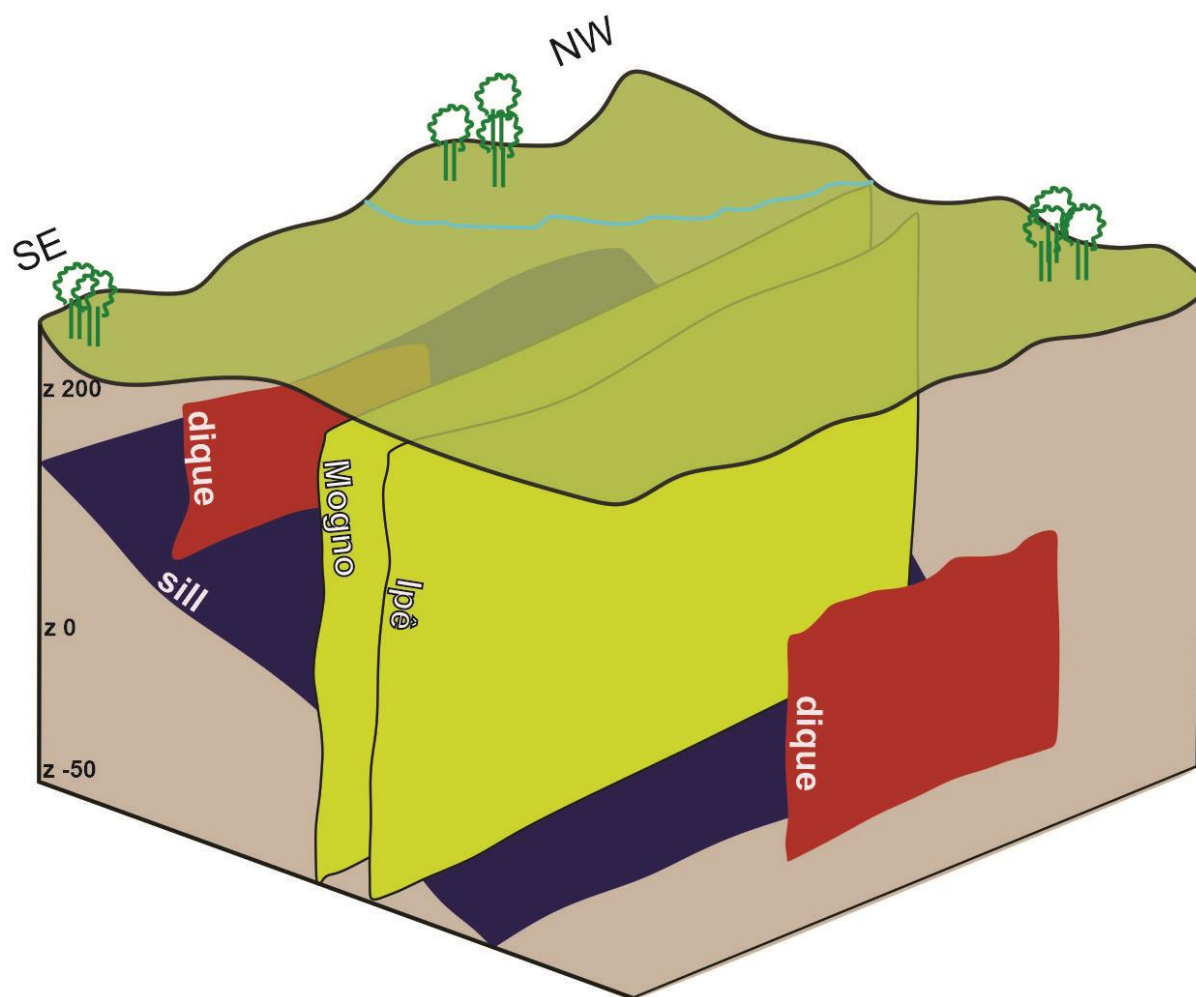


Figura 25 - Bloco esquemático com disposição dos corpos geológicos e veios mineralizados Mogno e Ipê e suas possíveis implicações para o controle mineralógico

6 CONCLUSÃO

O enriquecimento mineral dos veios subverticais Mogno e Ipê seguem as tendências estruturais do depósito, com claro controle em NW-SE por onde foram alocados os principais fluidos hidrotermais, dando aos veios um aporte mineral em Au/Cu. Nessa perspectiva, a fim de contribuir para o entendimento do evento de mineralização do depósito do Palito, tal proposta de estudo favorece a maiores informações petrográficas e química dos filões. As principais características e comportamento dos veios, finalizadas neste estudo são:

- Em ambas as estruturas Mogno e Ipê, são constituídos de quartzo sulfetados ricos predominantemente em pirita, calcopirita, bornita e pirotita.
- A pirita é o sulfeto dominante, encontrada na forma disseminada a maciça, ora ocorrendo em veios de quartzo como também em vênulas nos halos de alteração hidrotermal. A calcopirita se assemelha a pirita quanto ao modo de ocorrência, no entanto, a fase está associada a zonas de alta mineralização.
- O ouro ocorre em inclusões de *electrum* dentro de cristais de calcopirita, \pm pirita \pm quartzo e fases ricas em bismuto, com composição média em 76% de Au e 24% de Ag.
- De acordo com cada amostra em mina e suas respectivas cotas, pode-se constatar mudanças texturais e a presença de minerais de minério em diferentes proporções.
- Níveis mais profundos, a partir de análises de MEV-EDS, constataram que há maior incidência de fases ricas em metálicos como Bi, Te, Zn e Pb.
- A relação entre minerais de bismuto (e telúrio) e *electrum* sugere que o bismuto desempenha um papel importante na associação mineral, podendo ser mineral guia para zonas de alta sulfetação.
- A entrada dos corpos intrusivos pode ter agregado diferentes condições de temperatura e pressão para certas localidades do depósito, enriquecendo assim o fluido em minerais de minério, o mesmo pode ser comprovado com as análises do nível -60, nas proximidades do *sill*, nos quais há um grande enriquecimento mineral.

O maior enfoque deste trabalho é o estudo de mineralogia e química mineral em ambos os veios, contribuindo com o conhecimento geocientífico para gênese do depósito e seus controles estruturais, em conteúdo metálico. As análises e descrições foram satisfatórias com a proposta de estudo, pois trouxeram mais informações a respeito do depósito Palito. Ficando, ainda em aberto, estudos futuros em maior detalhamento e outras metodologias para elaboração de modelo evolutivo completo do depósito em função do enriquecimento mineral.

REFERÊNCIAS

- Almeida M.E., Brito M.F.L., Ferreira A.L., Monteiro M.A.S. & Popini M.V.F. 1998, Geologia e petrografia do Complexo Cuiú-Cuiú nas Folhas SB.21-V-D e SB.21-Y-B. Província Mineral do Tapajós. *In: SBG/Núcleo Minas Gerais, 40º Congresso Brasileiro de Geologia, Belo Horizonte. Anais[...], Belo Horizonte, p 467.*
- Bahia R.B.C. & Quadros M.L.E.S. (org.). *Geologia e recursos minerais da Folha Caracol SB.21-X-C: Estados do Pará e Amazonas*. Escala 1:250.000. Brasília,DF, CPRM, 2000. 1 CD-ROM. Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil (PLGB). Projeto Especial Província Mineral do Tapajós (Promin Tapajós).
- Cordani U.G., Tassinari C.C.G., Teixeira W., Basei M.A.S., Kawashita K. 1979. Evolução tectônica da Amazônia com base nos dados geocronológicos. *In: 2º Congresso Geológico Chileno, Arica, Chile, Actas[...], v. 4, p. 137-148.*
- Costa R. M. 2008. *Geologia e metalogênese do depósito aurífero do Palito, Província Aurífera do Tapajós, Itaituba - PA*. MS Dissertation, Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 117 p.
- Coutinho M.G.N. 2008. Evolução tectono-geológica e modelo de mineralização de ouro. *In: Coutinho M. G. N. (org.) Província Mineral do Tapajós: Geologia, metalogênia e mapa provisional para ouro em SIG*. Rio de Janeiro, CPRM, p. 251 – 262.
- Dreher A.M., Vasquez M.L.Q., Moura E.M., Chaves C.L., Oliveira J.K., Santos F.H. 2011. Rochas associadas as erupções freatomagmáticas félsicas na Província Aurífera do Tapajós. *In: SBG, 12º Simpósio De Geologia Da Amazônia, Belém. Resumo Expandido*. Belém, 1 CD-ROM.
- Echeverri-Misas C.M. 2010. *Evolução magmática, alteração hidrotermal e gênese da mineralização de ouro e cobre do Palito, Província Aurífera do Tapajós (PA)*. MS Dissertation, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 179 p.
- Gaia S.M.S., Vasquez M.L., Tavares F.M. 2020. Predictive potential mapping for intrusion-related gold in the eastern Tocantinzinho Trend, Tapajós Mineral Province, Amazonian Craton. *In: Tavares F. M., Matos D. R. E, Klein E. L. (orgs). Catalog of prospectivity maps of selected areas from Brazil*. Brasília,DF, CPRM.
- Gaia S.M.S., Vasquez M.L., Chaves C. L., Castro J.M.R., Costa Neto M.C., Cruz V.L. 2021. *Mapa de recursos minerais: setor leste do lineamento Tocantinzinho*. Disponível em: [file:///home/bibliotecaig01/Downloads/mapa_geo_recmin_tocantinzinho_setor_leste%20\(1\).pdf](file:///home/bibliotecaig01/Downloads/mapa_geo_recmin_tocantinzinho_setor_leste%20(1).pdf). Acesso em: ????
- Hole E.V. 2018. *Characteristics of auriferous quartz-sulphide veins and implications for mining at Palito Mine, Brazil*. Master Science Thesis, Mining Geology. Camborne School of Mines, University of Exeter, Peryn, Cornwall, UK. 99 p.
- Juliani C., Silva R.H.C., Monteiro L.V.S. Bettencourt J.S., Nunes C.M.D. 2002. The Batalha Au-granite system - Tapajós Gold Province, Amazonian Craton, Brazil: hydrothermal alteration and regional implications. *Precambrian Research*, **119**: 225-256.

Juliani C., Rye R.O., Nunes C.M.D., Snee L.W., Corrêa Silva R.H., Monteiro L.V.S., Bettencourt J.S., Neumann R., Alcover Neto A. 2005. Paleoproterozoic high-sulfidation mineralization in the Tapajós gold province, Amazonian Craton, Brazil: geology, mineralogy, alunite argon age, and stable isotope constraints. *Chemical Geology*, **215**: 95-125.

Juliani C., Vasquez M.L., Klein E.L., Villas R.N.N., Echeverri Misas C.M., Santiago E.S.B., Monteiro L.V., Carneiro C.C., Fernandes C.M.D.; Usero G. 2014. Metalogênese da Província Tapajós. In: Silva, M.G., Rocha Neto, M.B., Jost, H., Kuyumjan, R.M. (orgs). *Metalogênese das Províncias Tectônicas Brasileiras*. Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais – CPRM, Belo Horizonte, p. 229-268.

Lamarão C.N., Dall’Agnol R., Lafon J.M., Lima E.F. 2002. Geology, geochemistry and Pb–Pb zircon geochronology of the Paleoproterozoic magmatism of Vila Riozinho, Tapajós Gold Province Amazonian Craton, Brazil. *Precambrian Research*, **119**: 189-223.

Lamarão C.N., Dall’Agnol R., Pimentel M.M. 2005. Nd isotopic composition of Paleoproterozoic volcanic and granitoid rocks of Vila Riozinho: implications of the crustal evolution of the Tapajós gold province, Amazon craton. *Journal of South American Earth Sciences*, **18**: 277-292.

Melo A.F.F, Andrade A.F., Yamaguti H.S., Oliveira J.R., Carmona J.R.M., D’antona R.J.G, Lopes R.C., Bizinella G.A., Santiago A.F., Santos A., Borges F.R., Godoy H.H., Oliveira R. L., Melo C.F., Matos E.B. O. 1980. Projeto Tapajós-Sucunduri: *Relatório final*. Manaus, CPRM/DNPM, v. I-A, p. 23-56.

Pessoa M. R., Santiago, A.F., Andrade, A.F., Nascimento, J.O., Santos, J.O.S., Oliveira, J.R., Lopes, R.C., Prazeres, W.V. 1977. *Projeto Jamanxim: Relatório Final*. Manaus: CPRM; DNPM. v.3, p 614.

Klein E.L., Vasquez M.L., Almeida M.E., Bahia R.B.C., Ferreira A.L., Quadros M.L.E.S. 2001. *Geologia e recursos minerais da província Mineral do Tapajós, Estados do Pará e Amazonas*: folhas SB.21-V-D, SB.21-Y-B, SB.21-X-C, SB.21-Z-A e SB.21-Z-C. Escala 1:500.000. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Projeto Especial Província Mineral do Tapajós (Promin - Tapajós). Brasília, DF, CPRM.

Klein E. L. & Vasquez M.L. 2000. *Geologia e recursos minerais da Folha Vila Riozinho SB.21-Z-A, Estado do Pará, escala 1:250.000*. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil (PLGB). Projeto Especial Província Mineral do Tapajós (Promin-Tapajós). Brasília, DF, CPRM.

Klein E. L. & Carvalho J.M.A. 2008. Recursos Minerais. In: Vasquez, M. L.; Rosa-Costa, L. T. (orgs.) *Geologia e recursos minerais do Estado do Pará: Sistema de Informações Geográficas - SIG: Texto explicativo dos mapas geológico e tectônico e de recursos minerais do Estado do Pará*. Escala 1:1.000.000. Belém, CPRM, 2008. p. 217-262. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/10443>.

Melo A.F.F., Andrade A.F., Yamaguti H.S., Oliveira J.R., Carmona J.R.M., D’antona R.J.G., Lopes R.C. 1980. *Projeto Tapajós-Sucunduri: relatório final*. Manaus, CPRM; DNPM, 1980. v. 1-A, p. 1 - 356.

Santos J.O.S., Hartmann L.A., Gaudette H.E., Groves D.I., McNaughton N., Fletcher I.R. 2000. A new understanding of the provinces of the Amazon Craton based on integration of field mapping and U-Pb and Sm-Nd geochronology. *Gondwana Research*. 453-488.

Santos J.O.S., Groves D.I., Hartmann L.A., Moura M.A., Mcnaughton N.J. 2001. Gold deposits of the Tapajós and Alta Floresta domains, Tapajós-Parima orogenic belt, Amazonian craton, Brazil. *Mineralium Deposita*, **36**: 278-299.

Santos J.O.S., Hartmann L.A., McNaughton N.J., Fletcher I.R. 2002. Timing of mafic magmatism in Tapajós Province and implications for the evolution of the Amazon Craton: evidence from baddeleyite and zircon U-Pb SHRIMP geochronology. *Journal South American Earth Science*, **15**: 409-429.

Santos J.O.S. 2003. *Geotectônica do Escudo das Guianas e Brasil-Central*. In: Bizzi L.A., Schobbenhaus C., Vidotti R.M., Gonçalves J.H. (Eds.). *Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil: texto, mapas e SIG*. Brasília, DF CPRM, p. 169 – 226

Santos M.D., Aquino L.B.M., Serra V.F.H., Lima M.V.G.R., Toro M.A.G., Lafon J.M. 2013. *Geocronologia das rochas hospedeiras e do minério com implicações na gênese do depósito aurífero Palito, Província Tapajós, sudoeste do Pará*. In: 13 Simpósio de Geologia da Amazônia, SBG, *Resumos Expandidos*, Belém.

Santos J.O.S., Van Breemen O.T., Groves D.I., Hartmann L.A., Almeida M.E., Mcnaughton N.J., Fletcher I.R. 2004. Timing and evolution of multiple Paleoproterozoic magmatic arcs in the Tapajós Domain, Amazon Craton: constraints from SHRIMP and TIMS zircon, baddeleyite and titanite U-Pb geochronology. *Precambrian Research*, **131**: 73-109.

Serabi Gold. 2019. *Annual Report and Accounts 2018*. Disponível em: <https://www.serabigold.com/wp-content/uploads/2019/05/Serabi-Gold-Annual-Report-and-Accounts-2018-Hyperlink-PDF.pdf>. Acesso em: 29 mar. 2021.

Serabi Gold. 2020. *Annual Report and Accounts 2019*. Disponível em: https://www.serabigold.com/wp-content/uploads/2020/05/4721_Serabi_Gold-AR_2019_Hyperlink.pdf. Acesso em: 30 jul. 2021.

Serabi Gold. 2021. *Annual Report and Accounts 2020*. Disponível em: <https://www.serabigold.com/wp-content/uploads/2022/06/2021-Full-Annual-Report-vFINAL.pdf>. Acesso em: .20 nov 2021.

Serabi Gold. 2022. *Press Release “Multiple high grade intercepts into the ‘Chico da Santa’ veins at Palito”*. Disponível em: <https://www.serabigold.com/wp-content/uploads/2022/01/CDS-exploration-update-Jan-2022-vFINAL-WEB.pdf>. Acesso em 10 fev 2022

Tassinari C.C.G. 1996. *Mapa geocronológico do Cráton Amazônico no Brasil: revisão dos dados isotópicos*. PhD Thesis, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 139 p.

Tassinari C.C.G. & Macambira M.J.B. 1999. Geochronological provinces of the Amazonian Craton. *Episodes*, **22**(3): 174 - 182. DOI: 10.18814/epiiugs/1999/v22i3/004

Tassinari C.C.G. & Macambira M.J.B. 2004. A evolução tectônica do Cráton Amazônico. *In: V. Mantesso Neto, A. Bartorelli, C.D.R. Carneiro, B.B.de Brito-Neves (orgs). Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida.* São Paulo: Ed. Beca. p. 471-485.

Teixeira W., Tassinari C.C.G., Cordani U.G., Kawashita K. 1989. A review of the geochronology of the Amazonian Craton: tectonic implications. *Precambrian Research*, **42**: 213-227.

Usero G., Juliani C., Bello R.M.S., Echeverri Misas C.M., Tommasini D., Monteiro L.V.S. 2011. Estudo de inclusões fluídas da mineralização paleoproterozoica de Au-(Cu) do tipo pórfiro do Palito, Província aurífera do Tapajós (PA). *In: Frantz, J.C., Marques J.C., Jost H. (eds.), Contribuições a Metalogenia do Brasil*, UFRGS, Porto Alegre, p. 111-128.

Vasquez M.L. & Ricci P.S.F. 2002. Caracterização dos lamprófiros da Província Tapajós. *In: Simpósio sobre Vulcanismo e Ambientes Associados. Resumos.* Belém: PRONEX-UFGA; SBG, p. 91.

Vasquez M.L., Klein E.L., Ricci P. 2002. Granitoides pós-colisionais da porção leste da Província Tapajós. *In: Klein E.L.; Vasquez M.L.; Rosa-Costa L.T. (eds). Contribuições à geologia da Amazônia*, SBG, Belém, **3**: 67-84.

Vasquez M.L., Rosa-Costa L.T., Silva C.M.G., Klein E.L. 2008. Compartimentação Tectônica. *In: Geologia e Recursos Minerais do Estado do Pará: Sistema de Informações Geográficas – SIG: Texto explicativo dos mapas geológico e tectônico e de recursos minerais do Estado do Pará.* Escala 1:1.000.000. Belém: CPRM, 39-112.

Vasquez M. L., Chaves C. L., Moura E. L. Oliveira J. K. M. 2017. *Geologia e recursos minerais das folhas São Domingos – SB.21-Z-A-II e Jardim do Ouro – SB.21-Z-A-III, Estado do Pará, Escala: 1:100.000.* Belém: CPRM, 309 p.

Vasquez M.L., Castro J.M.R., Chaves C.L., Costa Neto M.C., Cruz V.L. 2020. *Mapa geológico e de recursos minerais Província Mineral do Tapajós.* Belém: CPRM.

Vasquez M. L., Chaves C. L., Gaia, S. M. S. 2021. Controles das mineralizações nos distritos mineiros da Província Mineral do Tapajós *In: SBG, 50 Congresso Brasileiro de Geologia, , Resumos*, Brasília, DF.