



MATEUS OLIVEIRA ALVES DE SOUZA

**CARACTERIZAÇÃO DO CORPO DE MINÉRIO FLAMBOYANT NO DISTRITO
AURÍFERO DE CRIXÁS – GO**

Porto Alegre, 2019

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

MATEUS OLIVEIRA ALVES DE SOUZA

**CARACTERIZAÇÃO DO CORPO DE MINÉRIO FLAMBOYANT NO DISTRITO
AURÍFERO DE CRIXÁS – GO**

Trabalho de Conclusão do Curso de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Apresentado na forma de monografia, junto à disciplina Projeto Temático em Geologia III, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. José Carlos Frantz

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Juliana Charão Marques

Porto Alegre, 2019

CIP - Catalogação na Publicação

Souza, Mateus
CARACTERIZAÇÃO DO CORPO DE MINÉRIO FLAMBOYANT NO
DISTRITO AURÍFERO DE CRIXÁS - GO / Mateus Souza. --
2019.
114 f.
Orientadores: José Carlos Frantz, Juliana Charão
Marques.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto
de Geociências, Curso de Geologia, Porto Alegre,
BR-RS, 2019.

1. Ouro. 2. Ouro Orogênico. 3. Greenstone Belt. 4.
Goiás. 5. Alteração Hidrotermal. I. Frantz, José
Carlos, orient. II. Charão Marques, Juliana, orient.
III. Título.

MATEUS OLIVEIRA ALVES DE SOUZA

**CARACTERIZAÇÃO DO CORPO DE MINÉRIO FLAMBOYANT NO DISTRITO
AURÍFERO DE CRIXÁS – GO**

Trabalho de Conclusão do Curso de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Apresentado na forma de monografia, junto à disciplina Projeto Temático em Geologia III, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

BANCA EXAMINADORA

Dr. Arthur Lemos Geovanini

Dr. Everton Marques Bongioiolo

Dr. Lauro Valentim S. Nardi

AGRADECIMENTOS

Meu sentimento de gratidão mais pleno e puro é dedicado ao meu pai, Jair, por todo apoio, compreensão, empurrões, gambiarras, pedais, passeios de moto e boas prosas telefônicas ao longo dessa jornada. À minha mãe, Rosimeire, por todas as piadas, brincadeiras, risadas sem razão aparente, pelos carinhos, alentos e telefonemas intermináveis que tanto me aconselharam e ajudaram a sobreviver longe da terra natal. Aos meus irmãos Vítor, Ricardo e Eduardo por me permitir enxergar meus equívocos e ainda sim me aturarem.

Aos meus queridos amigos de Porto Alegre: Fabrício, Maurício, Sérgio, Débora, Luiz, Natanael, Vinícius, Rodrigo, Júlia e Bruna pelas grandes amizades, brincadeiras, histórias vividas, carinho e pelo apoio que me foi prestado durante toda a graduação. Aos meus grandes amigos de Jundiaí: Júlio e Luiza que inabalavelmente se mantiveram do meu lado mesmo quando a distância pareceu intransponível. A todos vocês toda a minha gratidão e carinho.

Aos geólogos da equipe de exploração da AngloGold Ashanti: Marcos, Frederico e João Apollo pelos ensinamentos, pela amizade, pelas brincadeiras, piadas trocadas e pela ótima vivência durante meu estágio. À toda equipe de exploração: Carlos André, Leidiane, Djalma, Edval, Jayro, Geraldo, Wesley, Silvanio, Lucas, Thiago e Mazinho por todo o apoio prestado, todas as boas prosas e por toda amizade cultivada. Meu agradecimento especial ao Renan, colega de geologia na UFRGS,, Marcelo e à AngloGold Ashanti – Unidade Serra Grande pelo suporte e pela grande oportunidade oferecida, cruciais para a realização deste trabalho. Aos amigos de Crixás Thiago, Bárbara, Phillipe, Rafaella, Veber, Vanessa, Luquinhas, Andressa, Fernanda, Lucas, Hudson e Lavínia: meu mais profundo obrigado pelas aventuras, piadas, festas, brincadeiras, imitações e pela grande amizade.

Aos meus orientadores José e Juliana pelos conselhos, pela confiança e pelas oportunidades. Ao Instituto de Geociências da UFRGS e aos professores: Clóvis, Carla e Sommer por todos os ensinamentos e pela amizade cultivada. Aos Centro Acadêmico dos Estudantes de Geologia que sempre me acolheu muito bem em todas as situações. A todos os meus colegas de geologia da UFRGS que estiveram junto de mim durante mesas de bar, saídas de campo e mesas de intenso estudo.

Eles reclamaram no Oriente, eles estão pagando
muito alto

Dizem que seu minério não vale a pena cavar
Que é muito mais barato lá nas cidades da
América do Sul

Onde os mineiros trabalham por quase nada

(Bob Dylan)

RESUMO

A região de Crixás é conhecida por seu potencial aurífero desde 1725. Já no início da década de 1980, após ser classificada como um *greenstone belt*, passou por intensas campanhas de exploração mineral a qual resultou na descoberta de inúmeros corpos mineralizados, sendo um deles o Corpo Flamboyant, objeto de estudo deste trabalho. A região é constituída por uma sequência vulcanossedimentar composta por metakomatiitos (Fm. Córrego Alagadinho), metabasaltos (Fm. Rio Vermelho), filitos carbonosos (Fm. Ribeirão das Antas) e metagrauvacas (Fm. Córrego Geral). Toda a sequência encontra-se metamorfisada na fácies xisto verde a anfibolito inferior e submetida a pelo menos 4 eventos deformacionais compressivos. O processo de mineralização do Corpo Flamboyant aproxima-se do modelo de ouro orogênico epigenético, relacionado a halos de alteração hidrotermal e hospedado na Estrutura III, uma falha de empurrão de baixo ângulo a qual também hospeda corpos mineralizados mais rasos como: Mina III, Mina Nova e Ingá. O Corpo Flamboyant é o corpo mineralizado mais profundo da Estrutura III e consiste de veios de quartzo mineralizados com sulfetação afetando os filitos carbonosos encaixantes. O presente trabalho caracteriza o Corpo Flamboyant em escala macro- e microscópica as rochas encaixantes e a zona mineralizada no que tange a mineralogia da ganga buscando identificar e agrupar os diferentes halos de alteração hidrotermal, também é descrita toda a mineralogia de minério, identificando as espécies minerais, suas texturas e relações com a mineralogia hidrotermal. Os halos de alteração hidrotermal são separados em três classes: Halo Proximal, com predomínio de silicificação; Halo Intermediário, com alteração potássica predominante; e Halo Distal, com alteração fílica e carbonatação como alterações principais. As amostras da zona mineralizada foram analisadas sob microscópio eletrônico de varredura e não são identificadas grandes variações composicionais da fase sulfetada. Os dados levantados neste trabalho são comparados com os dados de trabalhos anteriores em corpos hospedados na Estrutura III e então feita a discussão sobre a intensidade do processo de mineralização atuante no Corpo Flamboyant e seu posicionamento em relação à circulação dos fluidos mineralizantes e a deposição e remobilização do ouro. O trabalho contribui para a evolução dos parâmetros prospectivos para corpos com profundidades superiores a 1000m na região e tenta criar uma lógica de continuidade entre os corpos mineralizados da Estrutura III.

Palavras-Chave: ouro, ouro orogênico, alteração hidrotermal, hidrotermalismo, greenstone belt, Crixás, Goiás

ABSTRACT

The Crixás locality is known for its auriferous potential since 1725. In the early 1980's, after being classified as a greenstone belt, several exploratory campaigns has been made resulting in the discovery of dozens of orebodies, which Flamboyant Orebody is one of them. The region is constituted by a vulcanosedimentary sequence, which is composed by metakomatiites (Córrego Alagadinho Fm.), metabasalts (Rio Vermelho Fm.), carbonaceous phyllites (Ribeirão das Antas Fm.) and metagreywackes (Córrego Geral Fm.). The whole sequence is metamorphosed from greenschist to low amphibolite facies and suffered at least 4 compressive deformational events. The Flamboyant Orebody's mineralization process is similar to the epigenetic orogenic gold, related to hydrothermal haloes, hosted in a low-angle thrust fault called Estrutura III which also hosts other orebodies like: Mina III, Mina Nova and Ingá. The Flamboyant Orebody is the deepest Estrutura III mineralized body and it consists of mineralized quartz veins and sulphidation of the enclosing carbonaceous phyllites. This monography characterizes the Flamboyant the enclosing rocks and the mineralized zone in macro- and microscopic scales in respect to the gangue minerals to identify and group the different hydrothermal haloes, identify and characterize the ore mineralogy in respect to its species, textures and relations to the hydrothermal haloes. The hydrothermal haloes were classified in three classes: Proximal Haloe, silicification dominated; Intermediary Haloe, with predominant potassic alteration; and Distal Halo, with dominance alternating between phyllic alteration and carbonatation. The samples from the mineralized zone was analyzed with electronic microscopy and it does not show any significant compositional variation in the sulfide fase. The data acquired in this monograph is compared with earlier papers and monographies on other Estrutura III orebodies and then argued about how strong was the present mineralization process and how the Flamboyant Orebody was positioned when the mineralizing fluids passed by. The monography contributes to the development of prospective parameters for 1000 m deeper orebodies in the region and it tries to create a continuity logic between all the Estrutura III orebodies.

Keywords: gold, orogenic gold, hydrothermal alteration, hydrothermalism, greenstone belt, Crixás, Goiás

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização da área de estudo. Dados da pesquisa (2019).....	23
Figura 2: Estruturação tectônica da porção central da Província Tocantins. Modificado de Jost <i>et al.</i> (2019).....	24
Figura 3: Compartimentação tectônica e estratigráfica da Província Tocantins com detalhamento da Faixa Brasília, evidenciando o Maciço de Goiás. Extraído de Jost <i>et al.</i> (2014), modificado de Fuck <i>et al.</i> (1994).	25
Figura 4: Compartimentação do Bloco Arqueano de Goiás. Extraído de Jost <i>et al.</i> (2014).....	27
Figura 5: Estratigrafia dos Greenstone Belts do Estado de Goiás. Extraído de Jost <i>et al.</i> (2014), modificado de Jost & Oliveira (1991) e Resende <i>et al.</i> (1998).	29
Figura 6: Mapa geológico do <i>Greenstone Belt</i> de Crixás. MBA, CBCX, CANFX, CXV: metabasaltos; TX, SEX, ACX: metakomatiitos; DOL, MG, GNCX, GXN: metassedimentos; VQZ: veio de quartzo. AngloGold Ashanti, 2019.	32
Figura 7: Afloramento da Fm. Córrego Alagadinho com textura <i>spinifex</i> preservada. Tamanho da escala: 20 cm. AngloGold Ashanti (2019).	34
Figura 8: Afloramento da Fm. Rio Vermelho com <i>pillow lavas</i> e estruturas reliquias de vesículas preservadas. Tamanho da escala: 40 cm. AngloGold Ashanti (2019)..	35
Figura 9: Detalhe de um afloramento da Fm. Ribeirão das Antas exibindo intercalações de filitos carbonosos e metagrauvas com estruturas comuns em toda a região. Dados da pesquisa (2019).	36
Figura 10: Seção longitudinal da Estrutura III e estruturas próximas. A Estrutura III é o corpo mais basal em vermelho e amarelo. Direção da seção: NW-SE. AngloGold Ashanti, 2019.	42
Figura 11: Visada geral dos copos de minério Flamboyant (porção inferior) e Ingá Downplunge (porção central-superior). Modificado de Datamine - AngloGold Ashanti, 2019.	44
Figura 12: Disposição dos furos selecionados para estudo. Modificado de Datamine - AngloGold Ashanti (2019).	45
Figura 13: Afloramento chave em situações análogas à encontrada no corpo de minério Flamboyant. VQZ: veio-de-quartzo; GXN: grafita xisto. Dados da pesquisa, 2019.	46

Figura 14: Processo de descrição macroscópica dos testemunhos de sondagem. Dados da pesquisa, 2019.....	47
Figura 15: Parte do intervalo selecionado para descrição do furo CPIVESD0015A. Nota-se a presença de veios de quartzo branco entre os metassedimentos. AngloGold Ashanti (2019).....	48
Figura 16: As amostras foram montadas em um fundo cinza para fácil visualização de todas as amostras. A: GXN com sulfetação dispersa; B: VQZ com sulfetos dentro da zona demarcada para laminação. Dados da pesquisa, 2019.....	49
Figura 17: A: MG com granadas e lâminas de GXN; B: GXN com arsenopirita subédrica; C: VQZ com gotas de ouro livre; D: GNCX com granada abundante. Todos em aumento de 2.0x. Dados da pesquisa, 2019.	50
Figura 18: Microscópio Leica DM2500 LP com câmera fotográfica Leica DC300F utilizado neste trabalho. Dados da pesquisa, 2019.	51
Figura 19: Esquema de funcionamento de um microscópio ótico de luz transmitida e refletida. Modificado de Schmitt, R. (2008).....	52
Figura 20: Microscópio eletrônico de varredura JEOL utilizado neste trabalho. LGI - IGEO - UFRGS. Dados da pesquisa, 2019.	53
Figura 21: Esquema ilustrando os sinais emitidos pela amostra e as variações no volume de interação feixe-amostra e suas variáveis. SE: elétrons secundários; BSE: elétrons retro espalhados. Compilado de Dedavid et al., pp. 12, 2007.	54
Figura 22: Amostra dos testemunhos de dolomito. A zona intensamente hidrotermalizada traz consigo inúmeros fragmentos de material carbonoso.....	59
Figura 23: Dolomito (DOL) sob microscópio. A: Imagem da lâmina toda sob polarizadores cruzados; B: Fábrica do dolomito com domínio de textura poligonal granoblástica; C: Sob polarizadores cruzados os cristais de quartzo com textura de dissolução ficam evidenciado.....	60
Figura 24: Amostra dos testemunhos de metagrauvaca. É comum a ocorrência de níveis de material carbonoso e venulações de quartzo concordantes com a foliação principal.	

A rocha fresca apresenta diferentes tons de cinza, desde cinza-claro nacarado, cinza-escuro ou até quase preto (Figura 24). Tais variações de cor estão diretamente relacionados a presença de mais ou menos quantidade de matéria carbonosa. Em suma a rocha apresenta cor cinza-escura, textura lepidoblástica média marcada por

biotita disseminada ou agregados milimétricos a centimétricos de biotita orientados segundo a foliação principal. Em todos os furos analisados há ampla ocorrência de granada sub-milimétrica arredondada de cor rosa-avermelhada dispersa por toda a rocha. Níveis centimétricos a decamétricos de GXN com dobras e falhas de escala centimétrica também são comuns nos quatro furos analisados. Nas vizinhanças dos contatos com DOL a rocha apresenta dolomitização e, conforme se aprofunda nos furos de sondagem, essa dolomitização vai dando lugar a silicificação, possibilitando a melhor definição dos halos hidrotermais. 62

Figura 25: Metagrauvaca sob microscópio. A: Lâmina toda sob polarizadores cruzados. Nível mais escuro devido ao enriquecimento de material carbonoso; B: Contato entre o nível siliciclástico e o nível carbonoso evidenciando deformação dúctil; C: Sob polarizadores cruzados é possível notar a presença de muscovita marcando a S_{n+1} . 63

Figura 26: Amostra dos testemunhos de filito carbonoso (GXN). Agregados finos de Po concordantes com a foliação são abundantes. Cristais idiomórficos de Apy são limitados à zona mineralizada. 66

Figura 27: Filito Carbonoso (GXN) sob microscópio. A: Lâmina toda sob polarizadores cruzados. É possível notar a presença de bolsões de quartzo, sulfetos (ao topo) e a presença disseminada de biotita (avermelhada); B: Biotita hipidiomórfica parcialmente cloritizada associada a sulfetos; C: Grande cristal de sulfeto (opaco) com carbonatação adjacente. A presença de clorita é dominante nas proximidades. 67

Figura 28: Amostra dos testemunhos do veio de quartzo massivo (VQZ). Ocorrências de níveis maciços de Apy grossa são mais raros. 70

Figura 29: Veio de quartzo massivo (VQZ) sob microscópio. A: Lâmina sob polarizadores cruzados. Fragmento alongado de GXN ocorre na porção inferior da lâmina marcando uma diferença textural nos cristais de qtz+cb; B: Contatos evidenciando dissolução por pressão em cristais de quartzo; C: Cloritização intensa com cristais de carbonato remanescentes (a esquerda). 71

Figura 30: Amostra dos testemunhos de quartzo-biotita-muscovita-granada xisto (GNCX). Porfiroblastos de granada e biotita são abundantes. 74

Figura 31: Quartzo-biotita-muscovita-granada xisto (GNCX) sob microscópio. A: Lâmina toda sob polarizadores cruzados. É evidente a dominância de biotita nos dois setores da lâmina; B: Cristal remanescente de actinolita sugerindo que a sequência

de rochas foi submetida a condições de fácies anfíbolito; C: Clorita marcando a S_{n+1} e como alteração das bordas da biotita mais grossa.75

Figura 32: Visão geral da disposição dos halos hidrotermais (colunas da direita) aliados à litologia de cada furo (colunas da esquerda). HP: Halo Proximal; HI: Halo Intermediário; HD: Halo Distal.79

Figura 33: Amostras do Halo Proximal exemplificando as condições texturais em amostra de mão. A: VQZ com fragmentos de GXN exemplificando a porção mais interna do HP com níveis de sulfetação. O nível sulfetado contém Apy muito grossa (~ 2-3 cm); B: GXN contendo venulações de quartzo fitadas e sigmoidais além de sulfetação (Apy) disseminada; C: GXN com venulações dobradas, crenuladas e sulfetação (Apy+Po) subordinada.81

Figura 34: Mosaico ilustrando a expressão do HP sobre o pacote de GXN. A: imagem de toda a lâmina sob luz polarizada com destaque para os bolsões de Qtz+Apy lenticulares. Note a forte presença de biotita junto à silicificação; B: Ao centro, cristal de Apy pseudomórfico preenchido por Bt+Qtz; C: cristais de Cb evidenciando desequilíbrio químico com Apy; D: rara ocorrência de albita parcialmente substituída por Bt+Chl.82

Figura 35: Fotomicrografias do VQZ, porção mais interna do HP. A: Imagem da lâmina sob luz polarizada destacando os fragmentos de material carbonoso e as regiões com alteração potássica conspícua; B: Alteração potássica adjacente ao material carbonoso com cloritização intensa da biotita; C: Cristal de albita sendo parcialmente substituída por carbonato. As manchas pretas irregulares são buracos deixados por cristais de carbonato removidos durante a confecção da lâmina; D: Imagem ilustrando as substituições e engolfamentos de quartzo sobre carbonato ilustrando o desequilíbrio químico.83

Figura 36: Amostras de testemunho do Halo Intermediário. A: MG adjacente ao Halo Proximal com pequenas venulações de Qtz+Cb e agregados de Po+Bt muito pequenos à esquerda da marcação; B: GNCX sotoposto ao HP com biotita lepidoblástica conspícua dentro da área marcada e tom esverdeado gerado pela presença de clorita.84

Figura 37: Fotomicrografias do GNCX ilustrando o Halo Intermediário. A: Foto da lâmina toda sob luz polarizada evidenciando o caráter seletivo da alteração potássica sobre a rocha com dois setores distinguíveis pela quantidade de biotita (tons coloridos). Note

o bolsão de quartzo na porção a direita da lâmina; B: Ocorrência dos dois tipos de biotita presentes do HI, uma lepidoblástica paralela à S_{n+1} e a outra poiquiloblástica com inclusões de Qtz+Grt; C e D: Clorita lepidoblástica abundante como fruto da alteração da biotita sob luz plano-polarizada e sob polarizadores cruzados, respectivamente.85

Figura 38: Amostras do Halo Distal ilustrando a carbonatação no DOL e na MG. A: DOL com veio de Cb+Qtz com fragmentos de material carbonoso ilustrando o caráter, por hora, seletivo da alteração de carbonatação; B: MG com carbonatação pervasiva da rocha. É possível ver os pequenos nódulos de calcita (pontos brancos) e a fina venulação de calcita.87

Figura 39: Fotomicrografias das lâminas de DOL e MG ilustrando as alterações presentes no Halo Distal. A: Imagem ampla do DOL indicando o limite entre a região hidrotermalizada e a rocha encaixante. Estão destacados os maiores bolsões de quartzo hidrotermal; B: Imagem destacando a geometria dos minerais hidrotermais dissolvendo e substituindo os minerais da rocha encaixante; C: Imagem ilustrando a distribuição da Ms paralela à S_{n+1} e abundância variável entre o nível siliciclástico e o nível carbonoso; D: Imagem dos bolsões de Qtz hidrotermal e a ocorrência associada de Bt+Chl.88

Figura 40: Sintetização das várias formas de ocorrência da Apy no Corpo Flamboyant. A: VQZ com nível "maciço" de Apy idiomórfica grossa (à direita) e Apy fina alotriomórfica associada a fragmentos de GXN (à esquerda); B: GXN com ocorrências de Apy mais grossa idiomórfica associada à venulações de quartzo (à direita) e Apy sigmoidal ou fitada, fina, disseminada (à esquerda).90

Figura 41: Fotomicrografias ilustrando as principais características da Apy no Corpo Flamboyant. A: ApyII subédrica com contatos retos com Po; B: corredores de Ilm marcando os limites da ApyII em agregados grossos de ApyI; C: gotas de Au associadas às cavidades em ApyI; D: síntese das características encontradas no Corpo Flamboyant – ApyII em equilíbrio com Po, corredores ricos em Ilm com gotas de ouro associadas.91

Figura 42: Mapa composicional feito a partir de análises EDS em Apy com gotas de Au visível. Não há grandes variações composicionais nas Apy do Corpo Flamboyant mesmo quando associadas à presença de Au livre.92

Figura 43: Razão entre S e As de todas as análises EDS realizadas (40 pontos). Não é possível identificar duas populações diferentes.	93
Figura 44: Resultados das análises por EDS realizadas no VQZ e GXN. A: "Perfil" cortando a zonação de ApyII nas bordas e ApyI no núcleo. Quanto mais se adentra a ApyI, menores são os teores de As; B: "Perfil" em ApyII "limpa". O gráfico evidencia a constância nos teores de Fe. O pico de As no Ponto 3 acompanha os tons mais claros na imagem BSE; C: Gráfico compilando todos os pontos analisados em Apy evidenciando o comportamento inversamente proporcional entre As e S.....	94
Figura 45: Fotomicrografias sintetizando as diferentes formas de ocorrência de Au visível no Corpo Flamboyant. A: Inclusões e gotas de Au nas bordas de Apy; B: Au livre em Qtz e no canto superior direito, em Chl+Bt; C e D: característica recorrente das gotas de Au na forma livre, hospedadas em Chl+Bt e acompanhadas de Cb, Py e, por vezes, uma massa de Ser.....	95
Figura 46: Representação esquemática da setorização da mineralogia de minério. Fora de escala.....	97

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Quadro com as propostas estratigráficas dos GB de Goiás com seus respectivos litotipos.	30
Tabela 2: Lista das amostras coletadas e as respectivas técnicas aplicadas.	56

LISTA DE ABREVIações

Ab = albita

ACX = actinolita xistos

Apy = arsenopirita

Au = ouro

BSE = elétrons retro-espalhados (*backscattered electrons*)

Bt = biotita

CANFX = anfibólio xistos

Cb = carbonato

CBCX = quartzo-clorita-carbonato xistos

Chl = clorita

Cpy = calcopirita

CXV = Quartzo-clorita-carbonato-biotita-granada-muscovita-anfibólio xistos

DOL = dolomito

EDS = espectrometria por dispersão de energia (*energy dispersion spectrometry*)

Fm. = Formação

GB = *greenstone belt*

GBC = *Greenstone Belt* de Crixás

Grt = granada

GNCX = quartzo-biotita-muscovita-granada xistos

GXN = filito carbonoso

HD = Halo Distal

HI = Halo Intermediário

HP = Halo Proximal

Ilm = ilmenita

LA-ICPMS = *Laser Ablation Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry*

MEV = microscópio eletrônico de varredura

MG = metagrauvaca

Ms = muscovita

Po = pirrotita

Py = pirita

Qtz = quartzo

SEX = sericita xistos

TTG = tonalito-trochjemitó-granodioritos

TX = talco xistos

UFRGS = Universidade Federal do Rio Grande do Sul

VQZ = veio de quartzo maciço

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	19
1.1 JUSTIFICATIVA.....	19
1.2 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA.....	20
1.3 OBJETIVOS E METAS	21
1.4 PREMISSAS E HIPÓTESES	22
2 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	22
3 ESTADO DA ARTE	23
3.1 GEOLOGIA REGIONAL	23
3.1.1 Província Tocantins.....	23
3.1.2 Faixa Brasília	25
3.1.3 Maciço de Goiás.....	26
3.1.4 <i>Greenstone Belts</i> de Goiás	28
3.2 GEOLOGIA LOCAL	32
3.2.1 <i>Greenstone Belt</i> de Crixás	32
3.2.1 Metamorfismo no <i>Greenstone Belt</i> de Crixás	37
3.2.3 Evolução deformacional.....	38
3.2.4 Estilos de mineralização e modelo metalogenético.....	39
3.2.5 Corpos mineralizados da Estrutura III	41
4 METODOLOGIA E ESTRATÉGIAS DE AÇÃO	42
4.1 ETAPA DE PLANEJAMENTO	42
4.2 ETAPA DE CAMPO	43
4.2.1 ABORDAGEM SISTEMÁTICA E SELEÇÃO DOS DADOS	43
4.2.2 RECONHECIMENTO GEOLÓGICO REGIONAL.....	46
4.2.3 DESCRIÇÃO DETALHADA DOS TESTEMUNHOS DE SONDAGEM.....	46

4.2.4 AMOSTRAGEM	47
4.3 ETAPA DE LABORATÓRIO	48
4.3.1 ANÁLISE MACROSCÓPICA.....	48
4.3.2 MICROSCOPIA ÓTICA: LUZ TRANSMITIDA E REFLETIDA.....	50
4.3.3 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)	52
4.4 ETAPA DE INTEGRAÇÃO DE DADOS.....	55
5 RESULTADOS	57
5.1 INTRODUÇÃO.....	57
5.2 CORPO DE MINÉRIO FLAMBOYANT	57
5.3 ROCHAS HOSPEDEIRAS.....	58
5.3.1 Dolomito (DOL)	59
5.3.2 Metagrauvaca (MG)	62
5.3.3 Filito Carbonoso (GXN)	65
5.3.4 Veio-de-Quartzo (VQZ)	69
5.3.5 Quartzo-Biotita-Muscovita-Granada Xistos (GNCX).....	74
5.4 METAMORFISMO	77
5.5 HALOS DE ALTERAÇÃO HIDROTHERMAL.....	78
5.5.1 HALO PROXIMAL (HP).....	80
5.5.2 HALO INTERMEDIÁRIO (HI)	84
5.5.3 HALO DISTAL (HD)	86
5.6 MINERALOGIA DO MINÉRIO	89
5.7 TEORES DE OURO	96
5.8 DISCUSSÕES	96
6 CONCLUSÕES	98
REFERÊNCIAS.....	100
ANEXOS	107

1 INTRODUÇÃO

Crixás é responsável por aproximadamente 6,5% da produção comercializada de ouro no país (Anuário Mineral Brasileiro, 2018). O distrito situa-se na porção centro-sul da Província Tocantins (Jost, 2001). A produção de ouro na região ocorre desde o século XVIII, quando as expedições bandeirantes detectaram ocorrências auríferas no *greenstone belt* na Serra de Santa Rita. Após isso houve extensa extração de ouro nos demais *greenstone belts* da região e após esse período a exploração se restringiu ao garimpo até os anos 70 (Jost *et al.*, 2014). A região é intensamente estudada desde 1978, e após ser caracterizada como um *greenstone belt* por Kuyumijan & Filho (1984) desencadeou uma intensa campanha de prospecção mineral na área que já é historicamente conhecida por seu potencial aurífero.

A pesquisa resultou no descobrimento dos alvos Mina III, Mina Nova, Ingá e outros corpos menores que são explorados atualmente pela AngloGold Ashanti – Unidade Serra Grande, em substituição ao garimpo local que antecedeu a produção mecanizada atual. As atividades iniciaram em meados da década de 80 e, com o avanço de pesquisas sistemáticas e campanhas de sondagem profunda, foram sendo descobertos novos corpos mineralizados, sendo um deles o Corpo Flamboyant, um dos mais profundos até agora explorados. Sua localização está entre 1008 metros e 1660 metros de profundidade.

1.1 JUSTIFICATIVA

O *Greenstone Belt* de Crixás (GBC) é mundialmente conhecido pelo potencial metalogenético, mais especificamente, pelas reservas de ouro (Jost *et al.*, 2010). A região é conhecida e explorada desde o século XVIII (Jost *et al.*, 2010). As características inerentes ao depósito, tais como a associação petro-tectônica de granito-*greenstone*, grau metamórfico da região – que varia entre fácies xisto verde e fácies anfíbolito médio, mineralização associada a alteração hidrotermal, ouro associado a veios de quartzo-carbonato (Jost *et al.*, 2014; Jost *et al.*, 2019; Jost & Fortes, 2001; Kuyumijan & Araújo, 1984; Queiroz *et al.*, 2008; Pimentel *et al.*, 2000; Sabóia *et al.*, 1981; Yamaoka ; Araújo, 1988) aproximam os depósitos auríferos de Crixás aos modelos metalogenéticos de ouro orogênico proposto por Groves *et al.*

(1997). Tendo uma evolução geológica complexa, com vários eventos deformacionais e diferentes estilos de mineralizações (Jost *et al.*, 2014; Magalhães, 1991; Queiroz, 1995; Queiroz *et al.*, 1995) tornam mais difícil a plena compreensão da mineralização segundo um modelo epigenético de ouro orogênico dada as nuances que encontrar-se-ão ao longo dos estudos acerca do GBC. A paragênese mineral das porções mineralizadas apresenta quartzo + carbonato + mica-branca + biotita + clorita, levando a crer que o modelo de ouro orogênico é o melhor aplicável na região. Todavia, estudos dos fluídos hidrotermais conduzidos por Jost & Fortes (2001) e Jost *et al.* (2010) atestam o caráter aquo-carbônico, relativa baixa salinidade e a existência de um sistema complexo de geração dos fluídos onde há considerável aumento da salinidade dificultando o enquadramento no modelo de ouro orogênico *sensu* Groves *et al.* (1997) e sem uma fonte magmática diretamente relacionada responsável pelo aumento da salinidade.

As mineralizações auríferas do GBC são conhecidas até aproximadamente 1000 m de profundidade, sendo essas hospedadas na Estrutura III (Castoldi, 2015). Este trabalho apresenta um novo corpo mineralizado a mais de 1200 m de profundidade na mesma estrutura, o que amplia as possibilidades de profundidade limite para a mineralização de caráter epigenético em terrenos granito-*greenstone* e possibilita um olhar mais detalhado para as variações decorrentes do aumento de profundidade no que se refere a processos e paragênese hidrotermal, mineralogia de minério e estilo de mineralização mais eficiente.

1.2 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

A mineralização aurífera no GBC é de grande complexidade, visto que existe a superposição de vários eventos tectônicos de naturezas diversas. A região foi submetida a, pelo menos, 4 eventos deformacionais heterogêneos (Kuyumijan & Araújo, 1984 e Jost & Fortes, 2001), tornando complexa as relações estruturais entre o minério e a rocha hospedeira e dificultando o rastreamento preciso da geometria do minério em escala de detalhe. Os dados de idade das rochas do GBC são restritos (Pimentel, 2016), com diversas propostas para as idades de formação das rochas e para a mineralização (Danni & Ribeiro, 1978, Thomson & Fyfe, 1990, Fortes, 1996, Fortes *et al.*, 1993 & 1997, Jost & Fortes, 2001 e Jost *et al.*, 2014). Somado a isso, existe o incompleto entendimento das intrusões próximas à região e suas influências

nos eventos hidrotermais que trouxeram o ouro, com dados de inclusões fluídas que sugerem um sistema complexo (Jost & Fortes, 2001 e Jost *et al.*, 2010).

O corpo Flamboyant está entre 1008 m e 1660 m de profundidade, sendo o corpo mais profundo até agora explorado, e situa-se numa falha de empurrão de baixo ângulo (Estrutura III), a qual comporta grandes corpos de minério já conhecidos, sendo eles: Mina III, Mina Nova e Ingá (Jost & Fortes, 2001; Castoldi, 2015). Este trabalho é pioneiro para corpos de minério nestas profundidades no GBC e procura entender melhor as variações verticais do estilo de mineralização, das fácies de alteração hidrotermal e da mineralogia de minério conforme aprofunda-se na Estrutura III.

O aprofundamento dos estudos neste corpo dá continuidade a uma sequência de trabalhos de caracterização realizados por alunos da UFRGS e almeja reconhecer os controles de alteração hidrotermal, suas variações faciológicas com o aumento da profundidade, controles estruturais e as relações dos corpos mineralizados com as rochas encaixantes. O trabalho foi vinculado e suportado pela AngloGold Ashanti - Unidade Serra Grande, a fim de ampliar seu conhecimento sobre a área e ajudar a expandir suas reservas.

Buscou-se definir características que indiquem diferenças entre o corpo Flamboyant e o corpo Ingá ou, caso não haja nenhuma diferença entre os dois, analisar se é possível, com base nos aspectos geométricos, estruturais e mineralógicos, unificar os dois corpos mineralizados, chamando o corpo Flamboyant de Ingá *Downplunge* caso fosse possível tal unificação.

1.3 OBJETIVOS E METAS

O presente trabalho tem como objetivo caracterizar o corpo mineralizado Flamboyant, inserido no *Greenstone Belt* de Crixás, valendo-se de caracterizações petrográfica, composicional – tanto da ganga quanto da fase sulfetada – e pela integração de dados de trabalhos realizados anteriormente.

As metas que se destacam neste projeto são: identificar as relações entre o agente mineralizante e as rochas encaixantes; reconhecer e agrupar os diferentes halos de alteração hidrotermal; caracterizar a mineralogia de minério do corpo; as relações estruturais que regem a distribuição e; a geometria do corpo mineralizados.

Com a descrição detalhada dos litotipos da zona mineralizada, a caracterização da mineralogia de minério e a categorização dos halos de alteração hidrotermal busca-se entender se há algum controle litológico ou hidrotermal para a continuidade do corpo mineralizado e para as variações de teores de ouro com o aumento da profundidade.

1.4 PREMISSAS E HIPÓTESES

O presente trabalho segue sua linha de procedimento embasado nas seguintes premissas:

- (1) O *Greenstone Belt* de Crixás consiste de uma sequência vulcano-sedimentar metamorfisada entre as fácies xisto verde a anfibolito inferior;
- (2) É atribuído à metalogênese dos depósitos de ouro de Crixás o modelo de ouro orogênico epigenético.
- (3) Todos os corpos mineralizados na região e Crixás possuem halos de alteração hidrotermal. Composição, textura, estruturas, porosidade e permeabilidades são fatores condicionantes da rocha hospedeira. Os halos também são condicionados pela temperatura, pressão, razão fluido/rocha, composição e potencial de oxiredução dos fluídos hidrotermais.
- (4) Há três formas distintas de mineralização nos corpos do distrito aurífero de Crixás: sulfeto maciço, minério disseminado e veios de quartzo.

2 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O corpo de minério Flamboyant, objeto de estudo desse trabalho, localiza-se em propriedade da AngloGold Ashanti – Unidade Serra Grande na porção sul do município de Crixás, já na área rural.

A cidade de Crixás localiza-se na porção noroeste do Estado de Goiás (Figura 1), a 387 km de Brasília – DF e 321 km de Goiânia – GO. Para chegar em Crixás, partindo de Goiânia, através da GO-080, ruma-se para Petrolina de Goiás. Após passar a cidade, no entroncamento com a BR-153, toma-se sentido a Jaraguá (rumo

norte). Logo após passar pela cidade de Nova Glória, toma-se caminho pela GO-336 que se tornará GO-154, indo até a cidade de Santa Teresinha de Goiás. Após isso, através da GO-347, rumo leste, chega-se em Crixás. O acesso também pode ser feito a partir de Brasília – DF, saindo da cidade em direção a Águas Lindas de Goiás – GO, acessando então a BR-080 rumo norte. Ao chegar em Campinorte – GO, toma-se a oeste, em direção a Crixás através da GO-428, a qual se tornará a GO-347 chegando em Crixás – GO. Existe em Crixás uma pista de pouso para aeronaves de pequeno porte.

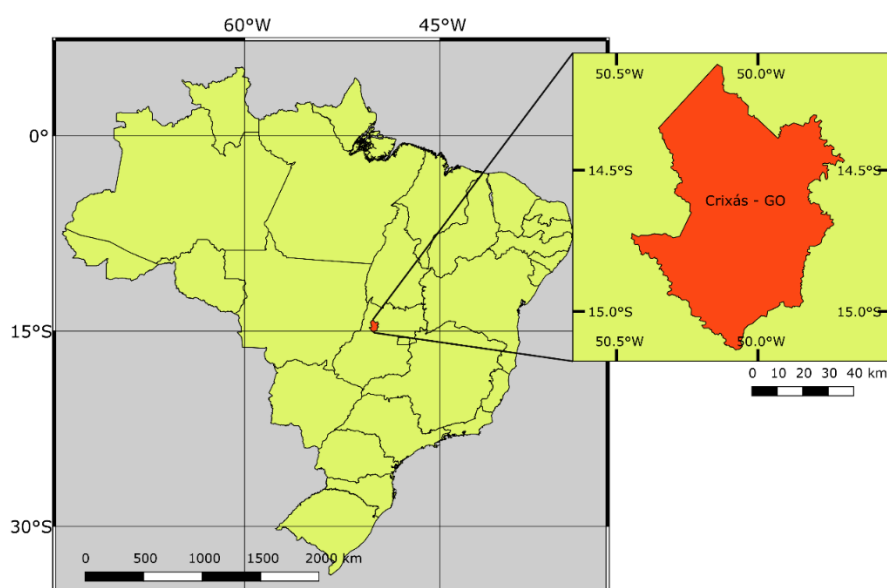


Figura 1: Localização da área de estudo. Dados da pesquisa (2019).

3 ESTADO DA ARTE

3.1 GEOLOGIA REGIONAL

3.1.1 Província Tocantins

A Província Tocantins, termo cunhado por Almeida *et al.* em 1968, compreende a Faixa Brasília, Faixa Araguaia, Faixa Paraguai, Maciço de Goiás e Arco Magmático de Goiás (Almeida *et al.*, 1968; Pimentel, 2016). Trata-se de um extenso orógeno que possui continuidade no oeste africano (orógenos Dahomey e Hoggar) resultado do fechamento do oceano Goiás-Farusiano e consequente colisão continente-continente

(Araujo, 2014; Jost *et al.*, 2019). Situada entre o Cráton Amazônico e o Cráton São Francisco, limitado a sul pela Bacia do Paraná e a norte, pela Bacia do Parnaíba (Almeida, 1977).

A província foi inicialmente subdividida por Almeida *et al.* (1977) em três regiões com base no seu comportamento estrutural, sendo elas: (1) região central, a qual compreende majoritariamente o Maciço de Goiás; (2) região oriental, a qual compreende a Faixa Brasília; e (3) região ocidental, que abarca as faixas Paraguai e Araguaia (Figura 2).

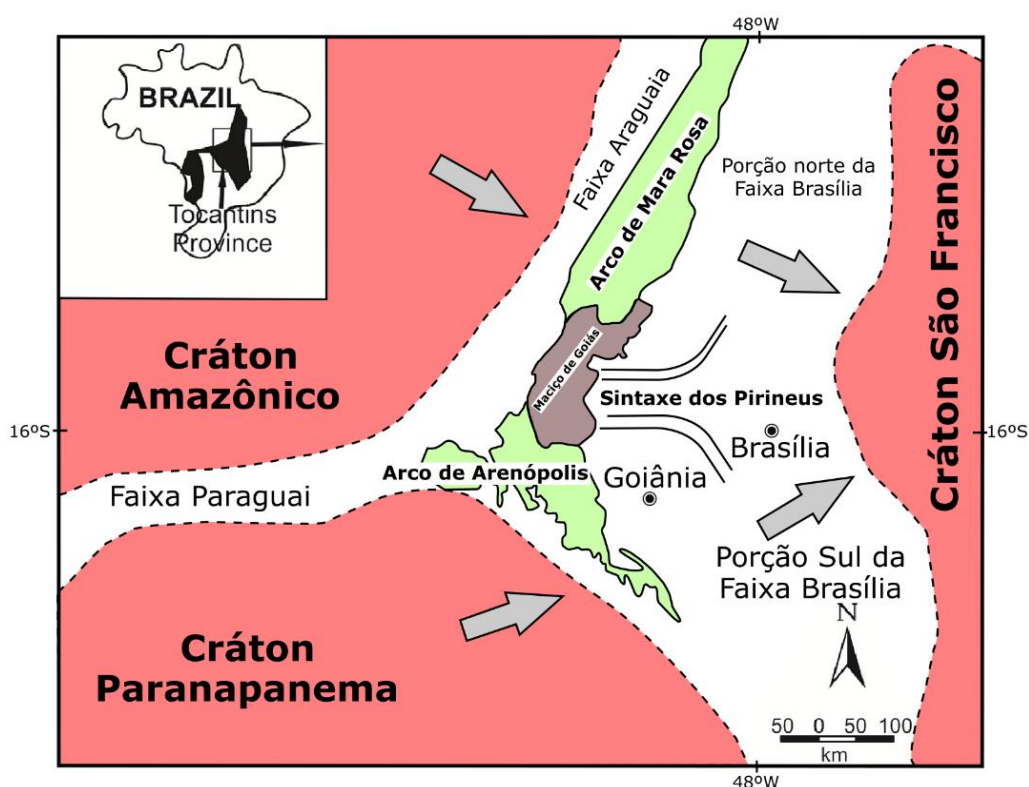


Figura 2: Estruturação tectônica da porção central da Província Tocantins. Modificado de Jost *et al.* (2019).

Posteriormente foram apresentadas novas formas de compartimentação e nomenclatura das regiões central e oriental da província. Fuck *et al.* (1993) e Fuck (1994) propuseram que as regiões central e oriental fossem unidas numa faixa de dobramentos, chamando-a de Faixa Brasília, contudo optou-se pela divisão interna da

faixa usando critérios estruturais.

3.1.2 Faixa Brasília

A Faixa Brasília (Fuck *et al.*, 1993 ; Fuck, 1994) é uma faixa de dobramentos de forma alongada segundo N-S com 1200 km de comprimento e 300 km de largura (Uhlein *et al.*, 2013), considerada um dos orógenos neoproterozoicos mais completos e complexos do Gondwana oeste (Pimentel, 2016). A Faixa Brasília, foi desenvolvida na porção oeste do Cráton São Francisco, sofrendo influência do Cráton Paranapanema a sul e do Cráton Amazônico a norte. Contudo ainda houve durante a sua formação a participação de terrenos alóctones (e.g. Maciço de Goiás), seqüências sedimentares de idades meso- e neoproterozóicas e arcos magmáticos com assinaturas de Nd juvenis (Queiroz *et al.*, 2008).

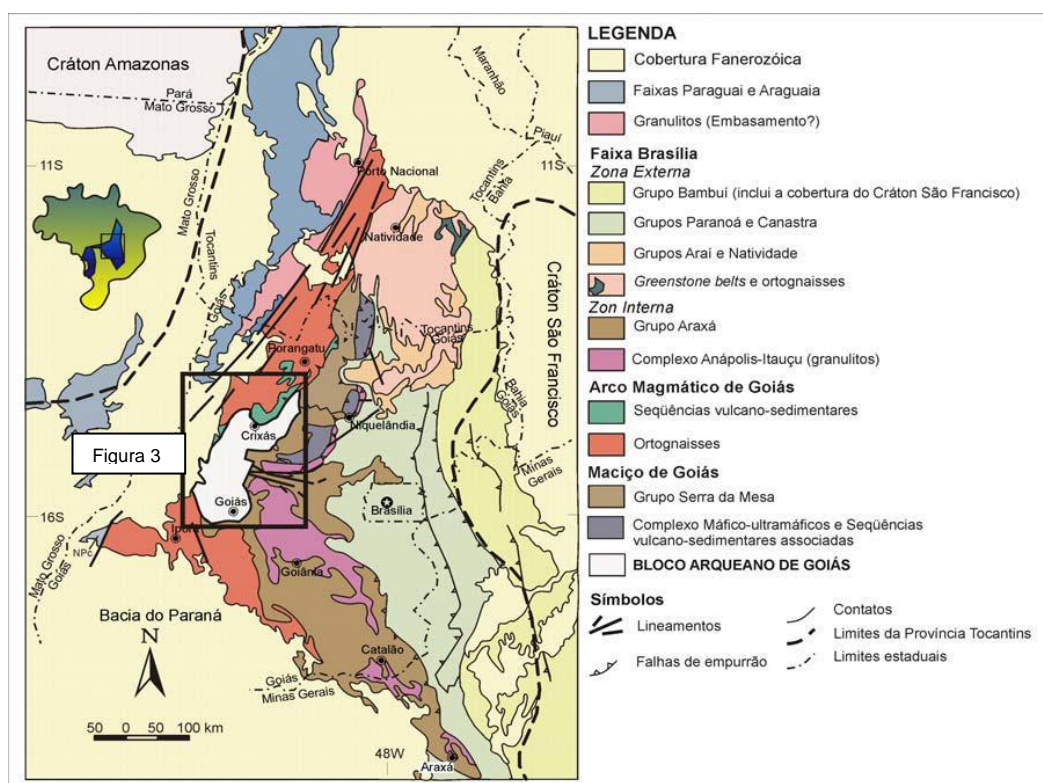


Figura 3: Compartimentação tectônica e estratigráfica da Província Tocantins com detalhamento da Faixa Brasília, evidenciando o Maciço de Goiás. Extraído de Jost *et al.* (2014), modificado de Fuck *et al.* (1994).

Pimentel et al. (2000) dividiu-a em quatro domínios, sendo eles (1) terrenos Arqueanos de Crixás, (2) embasamento síalico dos cinturões supracrustais, (3) grandes complexos máficos-ultramáficos estratiformes e (4) arco magmático Neoproterozoico juvenil de Goiás. Fuck *et al.* (1993) e Fuck (1994) propõe uma nomenclatura diferente, corroborada por Uhlein (2013), para a porção que compreende as regiões central e oriental, chamando-as, de leste para oeste de: Zona Cratônica, Faixa Brasília (Faixa Interna e Faixa Externa), Maciço de Goiás e Arco Mágmató do Oeste de Goiás. As rochas do *Greenstone Belt* de Crixás estão inseridas no Maciço de Goiás (Pimentel *et al.*, 2000).

3.1.3 Maciço de Goiás

O Maciço de Goiás cobre aproximadamente 18.000 km² da parte central do Estado e apresenta forma ovalada de orientação NE-SW (Pimentel, 2016). É composto por associações típicas granito-gnáissicas de TTG arqueanas (Uhlein, 2013), e segundo Jost *et al.* (2014) trata-se de um terreno alóctone de crosta arqueana-paleoproterozóica a qual foi aglutinada à Faixa Brasília durante o final do Ciclo Brasileiro.

Os *Greenstone Belts* inseridos no Maciço de Goiás, mais especificamente, dentro do Bloco Arqueano de Goiás (Pimentel *et al.*, 2000) e constituem cerca de 20% do domínio Arqueano, com faixas entre 40 a 100 km de comprimento e 6 km de largura, separados pelos complexos granito-gnáissicos Anta, Caimar, Moquém, Hidrolina e, na porção sul são limitados pelos complexos Uvá e Caiçara (Almeida, 2006, Pimentel *et al.*, 2000 ; Pimentel, 2016).

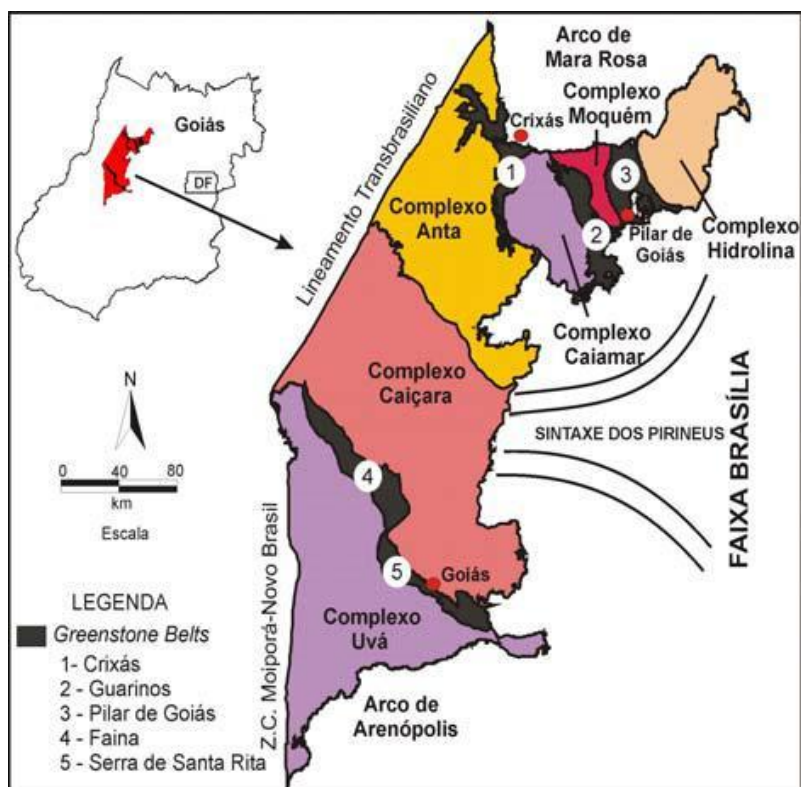


Figura 4: Compartimentao do Bloco Arqueano de Goiás. Extraído de Jost *et al.* (2014).

Os terrenos granito-gnáissicos que compoem o Maciço de Goiás, mais especificamente os complexos lmitrofes ao *Greenstone Belt* de Crixás são compostos por batólitos tonalíticos, granodioríticos e graníticos juvenis com idades variando entre 2,85 Ga e 2,75 Ga (Queiroz *et al.*, 2008). As rochas componentes sofreram intenso retrabalhamento e anatexia durante o paleoproterozóico (2,2 Ga – 2,0 Ga) e o neoproterozóico (0,63 Ga), durante os ciclos Transamazônico e Brasileiro, respectivamente (Pimentel *et al.*, 2003).

A oeste dos complexos granito-gnáissicos estão situados os complexos máficos-ultramáficos de Canabrava, Niquelândia e Barro Alto, um cinturão com 300 km de comprimento, orientados NE-SW, de idade Meso-Neoproterozóica, os quais foram submetidos a metamorfismo de fácies anfibolito a granulito junto com suas respectivas sequências vulcano-sedimentares (Pimentel, 2016). Estudos em zircão por U-Pb realizados por Laux (2006) no Complexo Canabrava indicam uma idade de 0,78 Ga com metamorfismo subsequente. A porão norte e nordeste do Maciço de Goiás  cavalgada por pacotes metassedimentares do Arco Magmático de Mara Rosa, de idade neoproterozóica (Pimentel *et al.*, 1997).

3.1.4 *Greenstone Belts* de Goiás

O Maciço de Goiás apresenta cinco *greenstone belts* (GB), todos estes considerados terrenos alóctones corroborados pelos contatos tectônicos e pela presença de *klippen* dos complexos granito-gnáissicos (Cordeiro & Oliveira, 2017; Pimentel *et al.*, 2000; Silva *et al.*, 2014), possuem geometria alongada, orientados NW-SE ou N-S. Suas dimensões variam entre 40 km e 100 km de comprimento, com largura média de 6 km. Três destes estão na porção norte do Maciço de Goiás: Crixás, Guarinos e Pilar de Goiás, separados por complexos granito-gnáissicos e, na porção sul, os *greenstone* de Faina e Serra de Santa Rita, também limitados por terrenos granito-gnáissicos, justapostos por uma falha transcorrente de direção NNE-SSW (Almeida, 2006, Pimentel *et al.*, 2000 ; Pimentel, 2016).

Os limites dos GB são, em geral, curvos e/ou irregulares dado, graças à natureza dos contatos com os complexos granito-gnáissicos. Contatos lineares, como ocorre no GB de Guarinos é fruto de zonas de cisalhamento vertical situada entre as rochas metassedimentares e as intrusões granitóides. Limites mais curvos como os de Pilar de Goiás ou Crixás são fruto de rampas e falhas de empurrão com atitudes sub-horizontais ou oblíquas, resultando em formas que contornem os complexos (Pimentel *et al.*, 2000).

As pilhas estratigráficas de todos os cinco GB estão preservadas, deslocadas por transporte tectônico e são tratadas como grupos independentes e diferentes, apesar das semelhanças litoestratigráficas. Todos possuem a porção inferior composta por rochas metavulcânicas básicas e seguidas por um pacote metassedimentar (Pimentel *et al.*, 2000). As porções basais, aquela compostas por rochas metavulcânicas, apresentam similaridades em todos os GB aqui discutidos. Da base para o topo, ocorrem metakomatiitos e metabasaltos em fluxos compostos acompanhados de intercalações de BIF's e sedimentos pelíticos ou químicos (Jost & Oliveira, 1991; Pimentel *et al.*, 2000). Os komatiitos estão transformados em xistos com quantidades variáveis de serpentina, talco, tremolita e clorita, e os metabasaltos, transformados em anfibólio xistos. Ambos estão metamorfasadas em fácies xisto verde

inferior a fácies anfibólio inferior (Jost & Oliveira, 1991). Nas rochas metavulcânicas é possível reconhecer, raramente, texturas primárias tais como textura *spinifex* nos metakomatiitos, *pillow lavas* nos metabasaltos.

Os GB tiveram suas primeiras propostas formais de organização estratigráfica no final dos anos 70, sendo elas, nos GB da porção sul do Maciço de Goiás, produzidas por Danni *et al.* (1981) e depois modificada por Resende *et al.* (1998) nos GB de Faina e Serra de Santa Rita. Na porção norte do MG os primeiros trabalhos foram realizados por Danni & Ribeiro (1978), Sabóia *et al.* (1979) e por Danni *et al.* (1981), sendo modificada posteriormente por Danni *et al.* (1982; 1986), Castro & Magalhães (1984) e, por fim, Jost & Oliveira, (1991) nos GB de Crixás, Pilar de Goiás e Guarinos.

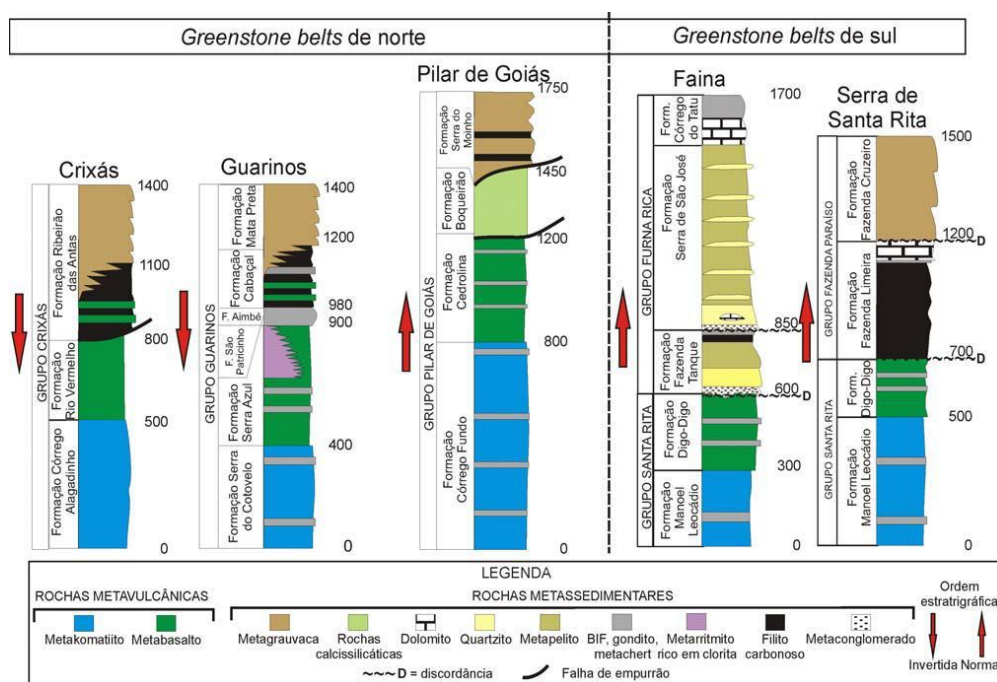


Figura 5: Estratigrafia dos Greenstone Belts do Estado de Goiás. Extraído de Jost *et al.* (2014), modificado de Jost & Oliveira (1991) e Resende *et al.* (1998).

As rochas metakomatiíticas do GB de Faina e Serra de Santa Rita são chamadas de Fm. Leocádio, com intensidades de deformação que variam localmente. Os metabasaltos são conhecidos como Fm. Digo Digo e apresentam afinidade química toleítica (Pimentel *et al.*, 2000). Já os pacotes sedimentares são tratados independentemente. A sequência de Pilar de Goiás é dividida em duas formações: Boqueirão e Serra do Moinho. Na base da sequência sedimentar, a Fm. Boqueirão

sobrepõe os metabasaltos e compreende, da base para o topo: filitos e *metacherts* ricos em pirita e tremolita, transicionando para rochas cálcio-silicáticas que alternam com *metacherts* e mármore. A Fm. Serra do Moinho é composta por metapelitos e xistos carbonosos com algumas formações ferríferas ou manganíferas dispersas (Pimentel *et al.*, 2000).

Os GBs de Guarinos e Pilar de Goiás compartilham da mesma sequência basal metavulcânica, chamadas de Fm. Serra do Cotovelo e Fm. Córrego Fundo, respectivamente (Figura 5; Pimentel *et al.*, 2000). A sequência metassedimentar do GB de Guarinos é dividida em três formações, da base para o topo: Fm. São Patricinho, a qual consiste de clorita xistos e quartzitos, sobreposta em inconformidade pela Fm. Aimbé, formações ferríferas bandadas onde as bandas de hematita e magnetita são intercaladas com muscovita. No topo a Fm. Cabaçal gradativamente toma espaço. Esta formação é subdividida em membro inferior e superior, xistos carbonosos e *metachert*, formações ferríferas e manganíferas e rochas siliciclásticas no membro superior denotando similaridade com a sequência superior do Grupo Crixás (Pimentel *et al.*, 2000).

O Grupo Crixás (Jost & Oliveira, 1991), assim como os outros GB, apresenta rochas metavulcânicas na porção basal da sequência sotopostas à uma sequência metassedimentar, indo de filitos carbonosos na base gradando para rochas siliciclásticas rítmicas com intercalações esparsas de xistos grafitosos e sedimentos químicos com granocrescência ascendente (Jost *et al.*, 2010).

Abaixo é apresentado um quadro sintetizando e comparando as formações e membros formais dos GB de Crixás, Guarinos, Pilar de Goiás, na porção norte, e os GB de Santa Rita e Faina na porção sul do Bloco Arqueano de Goiás:

Tabela 1: Quadro com as propostas estratigráficas dos GB de Goiás com seus respectivos litotipos.

Greenstone Belt (GB)		Litotipos			
		Vulcânicas Ultramáficas	Vulcânicas Máficas	Vulcânicas Félsicas	Sequência Sedimentar
Porção Norte	Greenstone Belt de Crixás (GBC)	Fm. Córrego Alagadinho	Fm. Rio Vermelho		Fm. Ribeirão das Antas; Fm. Córrego Geral
	Greenstone Belt de Guarinos	Fm. Serra do Cotovelo	Fm. Serra Azul		Fm. São Patricinho; Fm. Aimbé; Fm. Cabaçal

	<i>Greenstone Belt</i> de Pilar de Goiás	Fm. Córrego Fundo	Fm. Cedrolina		Fm. Boqueirão; Fm. Serra do Moinho
Porção Sul	<i>Greenstone Belt</i> de Santa Rita	Fm. Manoel Leocádio	Fm. Digo-Digo	Membro Superior	Fm. Fazenda Limeira; Fm. Fazenda Cruzeiro
	<i>Greenstone Belt</i> de Faina	Fm. Manoel Leocádio	Fm. Digo-Digo		Fm. Fazenda Tanque; Fm. Serra São José; Fm. Córrego Tatu

Modificado de Castoldi (2015) e Souza (2018), modificado de Queiroz (2000) e Jost *et al.* (2019).

3.2 GEOLOGIA LOCAL

3.2.1 *Greenstone Belt* de Crixás

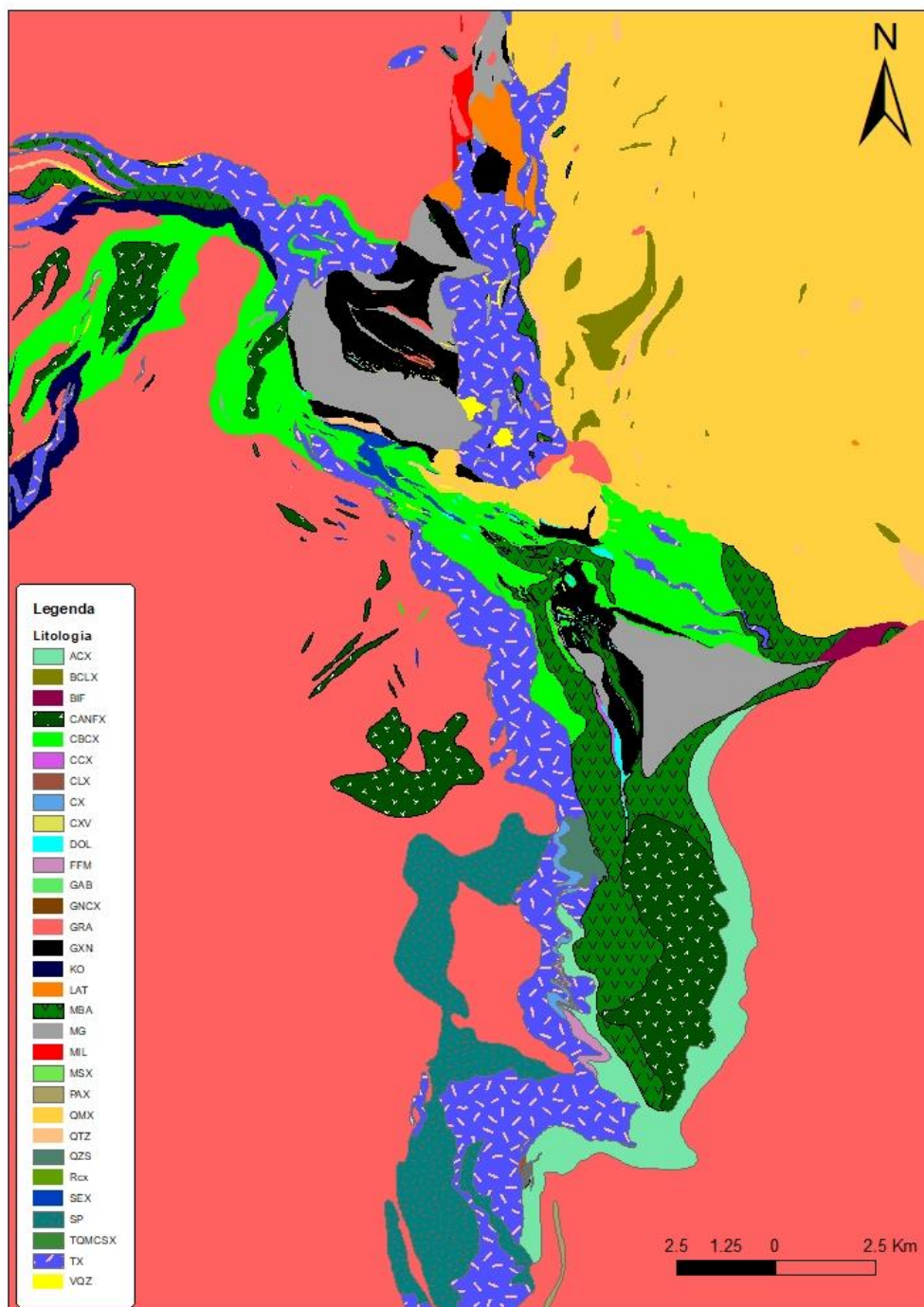


Figura 6: Mapa geológico do *Greenstone Belt* de Crixás. MBA, CBCX, CANFX, CXV: metabasaltos; TX, SEX, ACX: metakomatiitos; DOL, MG, GNCX, GXN: metassedimentos; VQZ: veio de quartzo. AngloGold Ashanti, 2019.

O *Greenstone Belt* de Crixás (GBC) é uma sequência vulcano-sedimentar metamorfisada em fácies xisto verde a anfibolito inferior também chamada de Grupo Crixás (Jost *et al.*, 2010; Jost & Oliveira, 1991). A geometria dessa sequência é alongada e orientada NNW-SSE (Figura 6) e está limitada por complexos granito-gnáissicos compostos por tonalitos, dioritos e granodioritos juvenis (Queiroz *et al.*, 2008) num arranjo de domo-quilha (Queiroz, 1995). A oeste o GBC é limitado pelo Complexo Anta, a leste e a sul é limitado pelo Complexo Caiamar. A norte o GBC é sobreposto tectonicamente por metassedimentos neoproterozóicos do Arco Magmático de Mara Rosa (Jost *et al.*, 2019; Jost & Fortes, 2001).

Em 1984, Kuyumijan & Araújo classificou o *greenstone belt* da Faixa Crixás como uma unidade litoestrutural localizada na porção norte do Maciço de Goiás limitada por complexos granito-gnáissicos Anta, a oeste, Caimar, a leste, compostos por protólitos tonalíticos ou granodioríticos e por granitos juvenis com contatos inteiramente tectônicos (Queiroz *et al.*, 2008, Sabóia *et al.*, 1981, Pimentel *et al.*, 2000).

A primeira proposta de organização estratigráfica do *greenstone belt* de Crixás foi feita por Danni e Ribeiro (1978) e por Sabóia (1979), complementada por Danni *et al.* (1982, 1986), onde as formações foram agrupadas no Grupo Pilar de Goiás. Jost & Oliveira (1991) com a proposta de que cada *greenstone belt* fosse separado em grupos diferentes com suas respectivas formações, cada uma delas restritas ao cinturão pertencente. Jost *et al.* em 2019 propuseram uma atualização na organização estratigráfica do Grupo Crixás separando os filitos carbonosos (GXN) das rochas do pacote siliciclástico (metagrauvas; MG). Assim sendo, Jost *et al.* (2019) propõe a seguinte divisão estratigráfica, da base para o topo:

Formação Córrego Alagadinho

Aproximadamente 500 m de espessura, composta por komatiitos com intercalações de formações ferríferas bandadas oxidadas, diques e *sills* de peridotitos e piroxenitos. As rochas ultramáficas são representadas por serpentinitos, talco, clorita e tremolita filitos. Possui feições primárias como acamamento de fluxo, superfícies de resfriamento, texturas *spinifex* (Figura 7) e horizontes de fluxo de cumulatos localmente bem preservadas e descritas em detalhe por Sabóia e Teixeira (1980) e Teixeira *et al.* (1981).



Figura 7: Afloramento da Fm. Córrego Alagadinho com textura *spinifex* preservada. Tamanho da escala: 20 cm. AngloGold Ashanti (2019).

Formação Rio Vermelho

A formação Rio Vermelho tem aproximadamente 350 m de espessura. Consiste de rochas basálticas com intercalações de formações ferríferas bandadas oxidadas e/ou formações de manganês, filitos carbonosos e pequenos *sill* e diques de gabros e peridotitos. As rochas são representadas por anfibólio filitos com granulação fina e anfibolitos com estruturas *pillow* localizadas (Figura 8). O contato entre a formação Córrego Alagadinho e Rio Vermelho é abrupto e comumente tectônico.



Figura 8: Afloramento da Fm. Rio Vermelho com *pillow lavas* e estruturas reliquias de vesículas preservadas. Tamanho da escala: 40 cm. AngloGold Ashanti (2019)

Formação Ribeirão das Antas:

A Formação Ribeirão das Antas tem aproximadamente 150 m de espessura e é composta por filitos carbonosos (GXN) intercalados com lentes de dolomito (Jost *et al.*, 2019) equivalentes aos filitos manganíferos e aos filitos carbonatados propostos por Castro & Magalhães (1984), com ocorrências na zona da granada e, localmente, cloritóide filitos. O contato entre os metassedimentos e os metabasaltos sotopostos são abruptos e comumente apresentam os maiores efeitos e indicadores de deformação (Jost *et al.*, 2014; Jost *et al.*, 2019).



Figura 9: Detalhe de um afloramento da Fm. Ribeirão das Antas exibindo intercalações de filitos carbonosos e metagrauvascas com estruturas comuns em toda a região. Dados da pesquisa (2019).

Formação Córrego Geral

A Formação Córrego Geral apresenta aproximadamente 300m de espessura. Consiste de metarenitos cinza-escuros que variam vertical e lateralmente para metassiltitos. As feições mais proeminentes em afloramento são as variações rítmicas de granulometria, todavia existem outras estruturas sedimentares como laminação cruzada e texturas de fluidização (Jost *et al.*, 2019). Visto a variedade textural e visando a uniformidade da unidade Jost *et al.* (2019) optaram pela designação de metagrauvasca.

Alguns diques máficos levemente deformados com *trend* NW seccionam a sequência sedimentar. Possuem entre 1-20 m de espessura, leve foliação, contatos termais com as encaixantes metassedimentares e estruturas primárias (e.g. vesículas). São compostos por hornblenda e oligoclásio a andesina e têm caráter toleítico (Jost *et al.*, 2010).

3.2.1 Metamorfismo no *Greenstone Belt* de Crixás

As rochas dos *greenstone belts* foram submetidas a metamorfismo de baixo grau, raramente apresentam estruturas primárias reliquias como textura *spinifex*, *pillow lavas* e acamamento de fluxo, todas estas estruturas pouco deformadas (Jost & Oliveira, 1991; Jost & Fortes, 2001).

As paragêneses minerais encontradas nas rochas komatiíticas são serpentina-talco-clorita-tremolita-carbonato, clorita-tremolita-quartzo-pirita nos basaltos e metapelitos da sequência sedimentar superior metamorfisados na zona da granada (Castoldi, 2015) indicando paragêneses de fácies xisto verde.

A porção da sequência vulcano-sedimentar, principalmente os metabasaltos da Fm. Rio Vermelho, possui maior grau de metamorfismo, evidenciado por paragêneses constituídas por anfibólio-carbonato-clorita xistos. As rochas metakomatiíticas se apresentam ricas em talco ou serpentina, sugerindo metamorfismo com hidratação durante a formação dos derrames. Há a ocorrência de metamorfismo de contato nas rochas do pacote metassedimentar quando nas adjacências das intrusões de granitos e granodioritos (Souza, 2018).

Os levantamentos estruturais revelam uma história deformacional complexa (Jost & Fortes, 2001), onde ocorre uma fase de distensão e formação da bacia (Castoldi, 2015) seguido de quatro eventos deformacionais compressivos (Kuyumijan & Araújo, 1984, Jost & Fortes, 2001) denominados D₁, D₂, D₃ e D₄. O minério é controlado estruturalmente e está contido na foliação metamórfica principal (Fortes, 1996).

3.2.3 Evolução deformacional

Com base nas associações petrológicas e características estruturais dominantes é possível dividir o *Greenstone Belt* de Crixás em três setores: sul, central e noroeste.

O setor sul do GBC possui apenas metakomatiitos e é limitado por uma falha normal de atitude (300; 30) denominada por Queiroz *et al.* (1995) de Zona Transpressiva Ribeirão das Antas/Rio Vermelho. Os metakomatiitos ocorrem como *pods* de deformação ou em corredores de alta intensidade de deformação. Possuem o acamamento de derrame e as foliações com *trend* N-S e leve mergulho para O. Próximo aos contatos com os complexos granito-gnáissicos os metakomatiitos estão transformados em talco xistos com foliação sub-vertical, sugerindo que tal deformação foi gerada por soerguimento dos complexos.

Os registros dos setores central e noroeste do GBC permitem concluir que as sequências metavulcânica e metassedimentar foram submetidas a quatro eventos deformacionais (Jost *et al.*, 2019; Magalhães, 1991; Queiroz, 1995; Queiroz *et al.*, 1995). O primeiro evento (**D₁**), de escala regional, provavelmente resultado da movimentação vertical sob o regime de domo-e-quilha (Queiroz, 1995), gerou grandes dobras isoclinais com superfície axial paralela ao acamamento sedimentar com vergência para leste.

O evento **D₂**, interpretado como uma progressão da deformação imposta pelo evento **D₁**, é responsável pela formação do sistema de empurrões *thin-skinned* nas porções mais rasas e rampas de cavalgamento com mergulho pra W em zonas mais profundas, todas com direção preferencial N-S e leve mergulho para oeste e vergência tectônica para leste. As rampas de cavalgamento também apresentam inversão estratigráfica em escala regional e *duplexes* na porção oeste do setor central do GBC (Jost *et al.*, 2019).

O evento subsequente (**D₃**) consiste de compressão de direção norte-sul exercida pelo Arco Magmático de Mara Rosa e consequente cavalgamento de parte do AMMR sobre a porção norte do setor central do GBC. Uma das estruturas derivadas desse evento é a Antiforme do Rio Vermelho, uma dobra aberta com superfície axial de atitude (300;30) fruto da compressão da sequência metassedimentar no setor central. O registro desse evento são dobras semi-recumbentes de vergência para SW próximas às falhas de cavalgamento que vão

perdendo intensidade conforme se afasta destas falhas (Jost *et al.*, 2019). As falhas e dobras do evento **D₃** conseqüentemente estão se sobrepondo as estruturas do evento **D₁** e **D₂**.

O evento **D₄** também possui registro apenas nos setores central e noroeste do GBC. Uma compressão de leste para oeste que resultou na formação de uma clivagem de crenulação vertical e direção N-S.

3.2.4 Estilos de mineralização e modelo metalogenético

As associações petro-tectônicas de granito-*greenstone* possuem idades aproximadas de até 2,82 Ga (Arndt, 1989 ; Jost, 2001). As mineralizações dos terrenos Arqueanos estão limitadas aos *greenstone belts*, não havendo ocorrências minerais relacionada à granitogênese dos complexos granito-gnáissicos adjacentes. Os principais depósitos possuem caráter epigenético, contando com depósitos singenéticos subordinados (Jost *et al.*, 2014).

Os principais estilos de mineralização são epigenéticos e se apresentam na forma de: i) sulfeto maciço; ii) veio-de-quartzo e; iii) minério disseminado (Yamaoka & Araújo, 1988; Jost *et al.*, 2014). Os depósitos do tipo veio-de-quartzo comumente estão associados a corpos mineralizados do tipo minério disseminado e constituem um dos principais corpos mineralizados no GBC. A mineralização do tipo sulfeto maciço ocorre na forma de lentes alongadas segundo o *plunge* do GBC, com dimensões entre 0,5 a 2,5 m de espessura, 50 a 200 m de comprimento e até 400 m segundo o *plunge* (Jost *et al.*, 2014). Estão situadas no contato entre os xistos carbonosos e os metabasaltos e são constituídos por pirrotita e arsenopirita com ouro ocorrendo na forma livre e associados a plagioclásio, quartzo, siderita, biotita, mica branca, epidoto, rutilo, ilmenita e magnetita (Almeida, 2006; Jost *et al.*, 2014). Nos corpos de sulfeto maciço a alteração hidrotermal ocorre em halos, sendo divididos em halo externo, com carbonatos; halo intermediário, ricos em clorita e; halo interno, rico em sericita (Jost *et al.*, 2014). O minério disseminado está encaixado também em zonas de alta intensidade de deformação (*strain*) nos filitos carbonosos (GXN). Possuem em geral cerca de 1,5 m de espessura, 200 m de comprimento e também são alongados segundo o *plunge*. A paragênese mineral na zona rica em ouro é

composta por sericita, bornita e pentlandita. Os fluídos hidrotermais não apresentam grande reatividade com o material carbonoso das encaixantes, evidenciada pela lixiviação do material carbonoso e eventual silicificação, além de alteração fílica. A alteração hidrotermal, concentrada próxima das venulações, apresenta biotitização nas porções proximais, sericitização na porção intermediária e cloritização+carbonatação nas porções mais distais (Jost *et al.*, 2014) além de sulfetação com arsenopirita, pirrotita e, por vezes, pirita.

A mineralização do tipo veio-de-quartzo constitui uma das principais formas de corpos como é o caso da Mina III. São descontínuos, com 0,5 a 5 m de espessura, 500 m de comprimento e seguem por mais de 1500 m segundo o *plunge* (Jost *et al.*, 2014; Castoldi, 2015). Podem ocorrer desde a superfície até mais de 1400 m de profundidade segundo as últimas descobertas de novos corpos feitas pela equipe de exploração da AngloGold Ashanti – Unidade Serra Grande e discutidas no presente trabalho. Os veios estão encaixados em zonas de deformação mais intensa (*strain*) no contato entre as metagrauvacas (MG) e os filitos carbonosos (GXN). O ouro ocorre como preenchimento de fraturas ou de forma disseminada nos veios com grãos submilimétricos com até 2 mm e comumente associados a pirrotita, arsenopirita, mica branca, material carbonoso, carbonato, clorita e plagioclásio (Jost *et al.*, 2014). Ainda de acordo com Jost *et al.* (2014) os filitos carbonosos foram pouco reagentes aos fluídos hidrotermais, evidentes pela lixiviação do material carbonoso pelo fluído e por alteração fílica incipiente evidenciada pela transformação de biotita (rara) em mica branca.

A idade da mineralização ainda é objeto de debate. Danni & Ribeiro (1978) interpretam, estudando o corpo de minério Mina III, que a mineralização possuía idade Arqueana. Thomson & Fyfe (1990) relacionam os depósitos de sulfeto maciço ao Ciclo Brasileiro e atribuem idade Neoproterozóica. Fortes (1996) e Fortes *et al.* (1993, 1997), usando amostras dos halos de alteração hidrotermal nas lentes de sulfeto maciço também atribuem a mineralização ao Neoproterozóico. Se valendo de dados estruturais e texturais, Jost & Fortes (2001) afirmam que a mineralização ocorre em vários estágios tectônicos. Jost *et al.* (2014) usando dados de U-Pb por LA-ICPMS obteve idades de 2170 ± 17 Ma a partir de zircões dos diques máficos que cortam os corpos mineralizados e afirmam que a deposição na bacia, deformação, metamorfismo e mineralização ocorreram restritas ao Riáciano.

3.2.5 Corpos mineralizados da Estrutura III

Dentro do distrito aurífero de Crixás, o Corpo Flamboyant está a cerca de 1200 m de profundidade acompanhando o mergulho da Estrutura III, uma falha de empurrão de baixo ângulo, onde estão também os corpos Mina III, Mina Nova e Ingá (Jost & Fortes, 2001 ; Castoldi, 2015). O Corpo Flamboyant apresenta diversas semelhanças arquiteturais e petrológicas com os demais corpos da Estrutura III (Figura 10).

No corpo de minério Mina III ocorrem os três tipos mais importantes de mineralização no *greenstone belt* de Crixás: sulfeto maciço, onde as lentes são compostas por 95% de pirrotita/arsenopirita, estão alojadas em dolomitos e o ouro ocorre de forma livre com grãos de 0,1 a 2 mm; veio-de-quartzo, medindo entre 0,5 – 5 m de espessura e se estendendo até 1500 m *down-plunge*, hospedado nos filitos carbonosos e com alteração de biotita para mica branca, sugerindo a atuação de alteração fílica e minério disseminado, localizado em zonas de mais alto *strain* nos metabasaltos intercalados com filitos carbonosos (Fortes, 1996 e Jost *et al.*, 2014). Yamaoka & Araújo (1988) subdividiu o corpo de minério Mina III em quatro zonas (zona superior, intermediária, inferior e zona da granada) as quais compreendem os diferentes estilos de mineralização. Já o corpo de minério Mina Nova apresenta como característica minério disseminado, com extensão de até 1000 m *down-plunge* (Jost & Fortes, 2001 e Jost *et al.*, 2014).

O corpo de minério Ingá a mineralização pode ser dividida em duas zonas: zona superior, com mineralização em lentes de sulfetos maciços hospedado em dolomitos e; zona inferior, com mineralização relacionada ao veio-de-quartzo e ao filito carbonoso adjacente, com ouro associado a arsenopirita, pirrotita e pirita (Silva, 2014 e Castoldi, 2015).

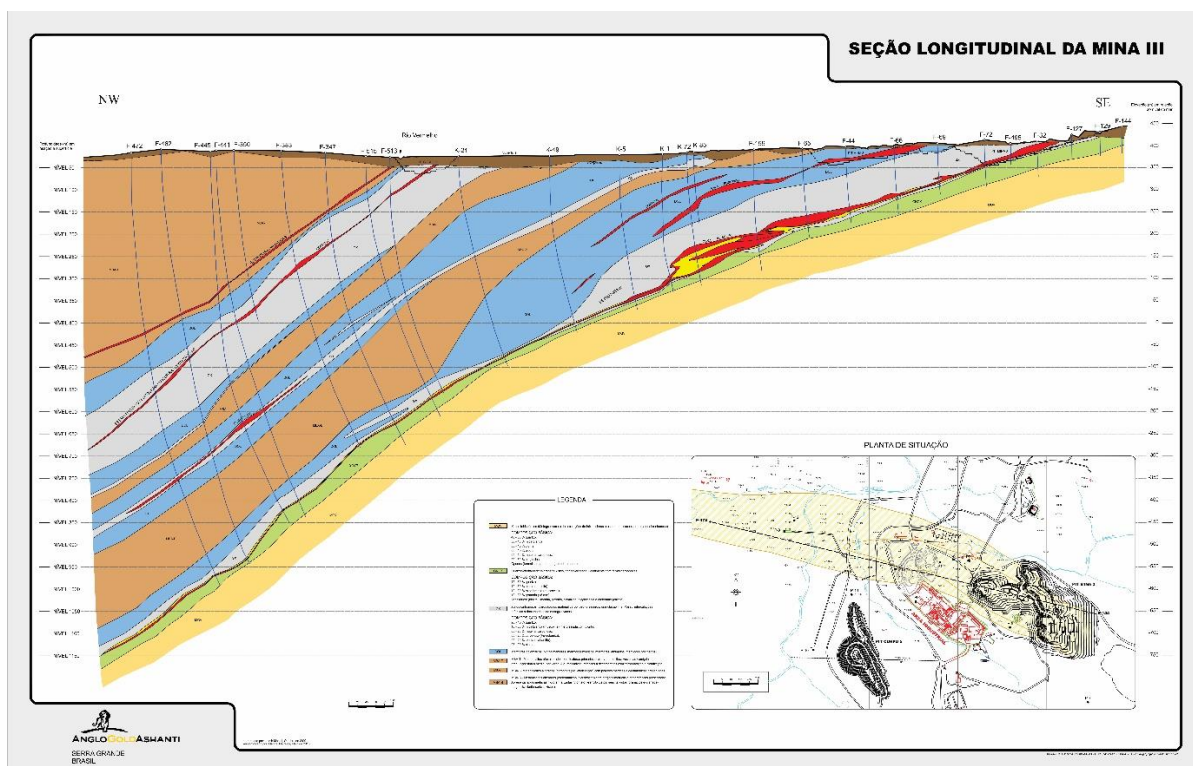


Figura 10: Seção longitudinal da Estrutura III e estruturas próximas. A Estrutura III é o corpo mais basal em vermelho e amarelo. Direção da seção: NW-SE. AngloGold Ashanti, 2019.

4 METODOLOGIA E ESTRATÉGIAS DE AÇÃO

4.1 ETAPA DE PLANEJAMENTO

A etapa pré-campo consistiu do trabalho de levantamento e compilação bibliográfica do *greenstone belt* de Crixás com enfoque na evolução tectônica e nos processos metalogenéticos do local. Também foi realizada a revisão bibliográfica acerca de temas como mineralizações epigenéticas de ouro, depósitos orogênicos e a estratigrafia do local de estudo. A base de dados utilizada para esta etapa foram os portais de publicações científicas *Science Direct*®, *ResearchGate*®, publicações da CPRM – Serviço Geológico do Brasil e publicações nos periódicos da *Economic Geology*® por meio do portal *GeoScienceWorld*®.

4.2 ETAPA DE CAMPO

Desenvolvida juntamente com as atividades do estágio supervisionado em geologia, a etapa de campo ocorreu de 04 de fevereiro a 01 de maio.

As atividades foram desenvolvidas no município de Crixás – GO, mais especificamente dentro das dependências da AngloGold Ashanti – Unidade Serra Grande e em propriedades dentro dos polígonos de direito minerário da empresa.

4.2.1 ABORDAGEM SISTEMÁTICA E SELECÇÃO DOS DADOS

Foi feito o levantamento dos dados de perfuração usando o software *Datamine* – *Studo 3®* para a seleção dos furos de sondagem que cortassem o corpo Flamboyant. Os furos foram selecionados segundo o modelo do corpo mineralizado baseado nos teores de ouro analisados. Tal modelamento é feito pela própria equipe de análise de recursos da AngloGold Ashanti – Unidade Serra Grande.

Os furos de sondagem selecionados variam entre 1200 e 1450 metros de extensão, sendo então selecionados apenas intervalos da zona de interesse para o trabalho. Foram selecionados quatro furos de sondagem: CPIVESD0014, CPIVESD0015, CPIVESD0015A e CPIVESD0019. Os intervalos selecionados têm em média 50 metros de comprimento assegurando que fosse analisada toda a zona inferior da Estrutura III.

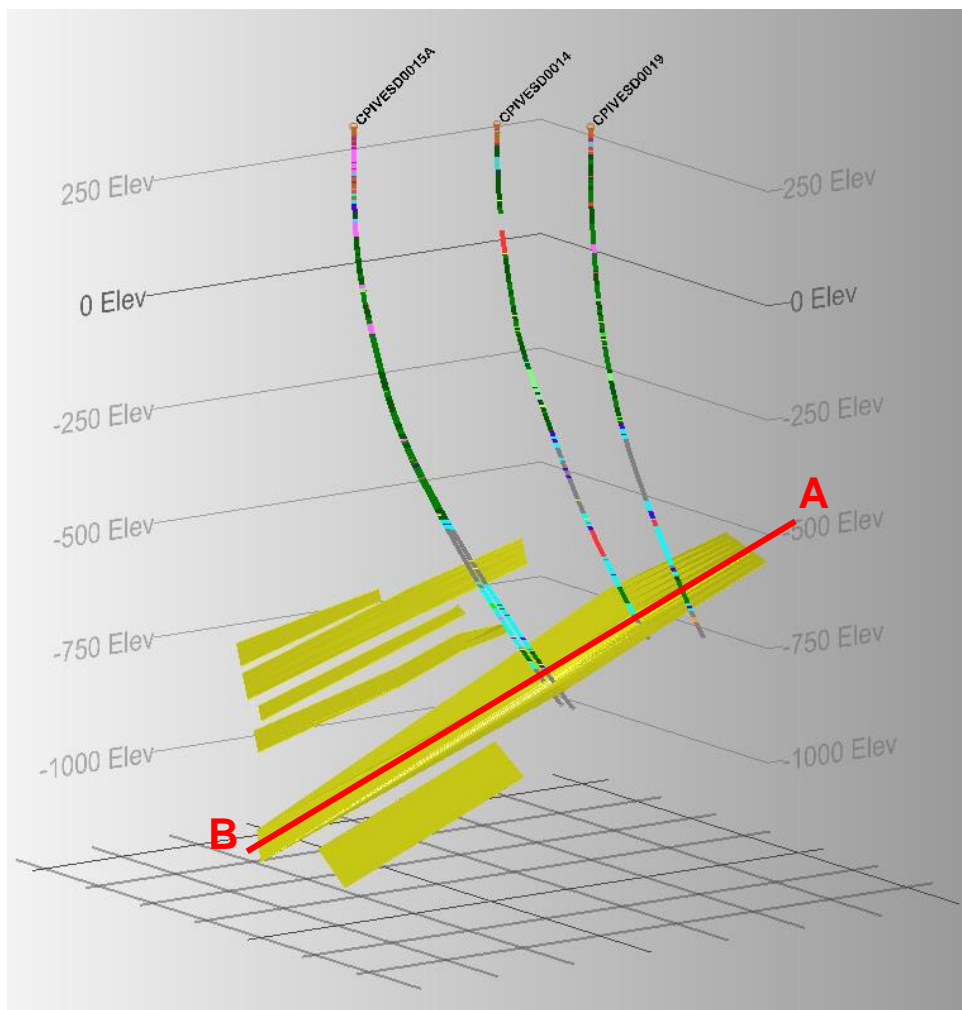


Figura 11: Visada geral dos copos de minério Flamboyant (porção inferior) e Ingá Downplunge (porção central-superior). Modificado de Datamine - AngloGold Ashanti, 2019.

- CPIVESD0014: baixos teores auríferos acima dos veios de quartzo.
- CPIVESD0015: teores altíssimos de ouro dentro dos veios de quartzo.
- CPIVESD0015A: teores de ouro duplicados dentro dos veios de quartzo. Furo “gêmeo”.
- CPIVESD0019: sem teores econômicos de ouro.

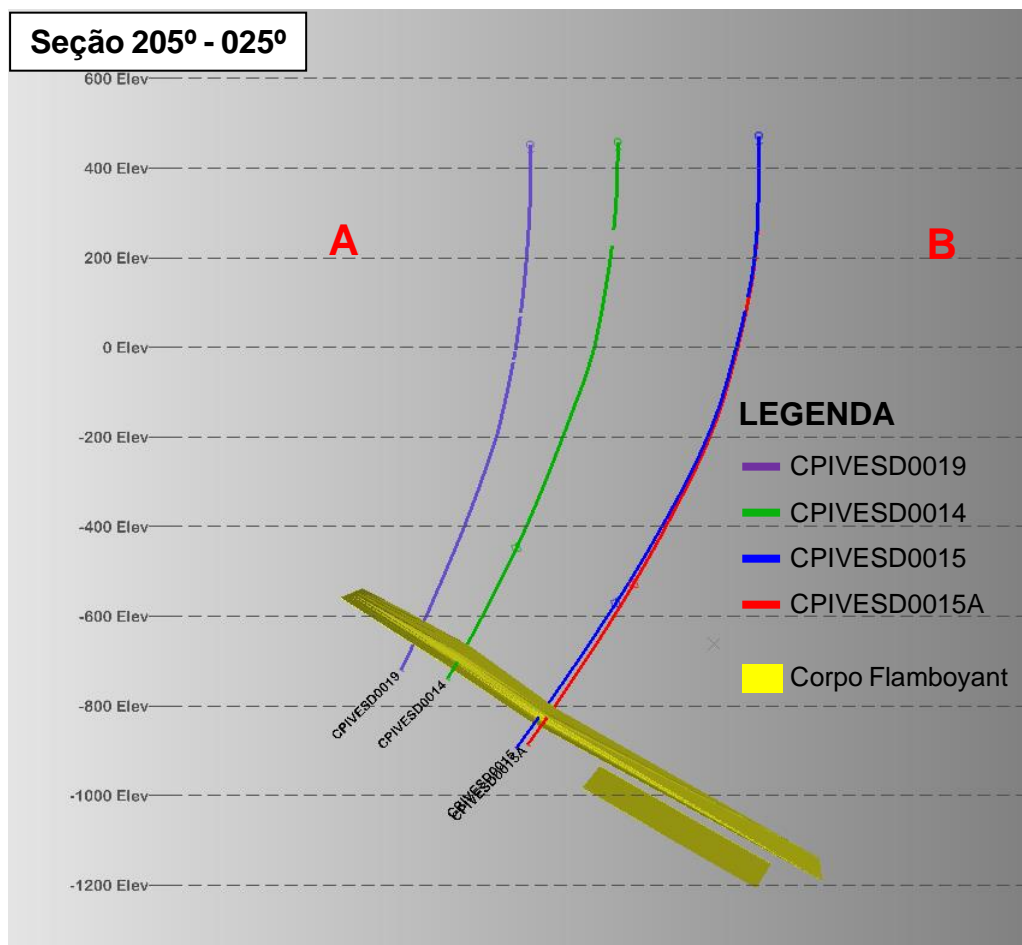


Figura 12: Disposição dos furos selecionados para estudo. Modificado de Datamine - AngloGold Ashanti (2019).

Os furos CPIVESD0015 e CPIVESD0015A estão 20 metros distantes transversalmente ao corpo de minério. O furo CPIVESD0014 está 240 metros distante dos furos 15 e 15A longitudinalmente ao corpo. Estes três furos formam uma seção paralela ao maior eixo do corpo de minério. O furo CPIVESD0019 encontra-se fora desta sessão, aproximadamente 40 metros distante do furo 14.

Ainda na etapa de campo foi tomado como base o Relatório de Caracterização Petrográfica dos Litotipos do *Greenstone Belt* Crixás, produzido por pesquisadores da Universidade de Brasília (UnB) em 2019 o qual também é adotado como base pela própria mineradora.

4.2.2 RECONHECIMENTO GEOLÓGICO REGIONAL

Foram realizados trabalhos de campo em escala regional, visitando afloramentos chave em situações análogas às condicionantes da mineralização do corpo Flamboyant, onde foram feitas descrições de elementos como a geometria dos veios de quartzo e aspectos da interação entre os veios e as rochas encaixantes. Foram tiradas as medidas de plano e lineações no contato entre os veios de quartzo e as encaixantes.

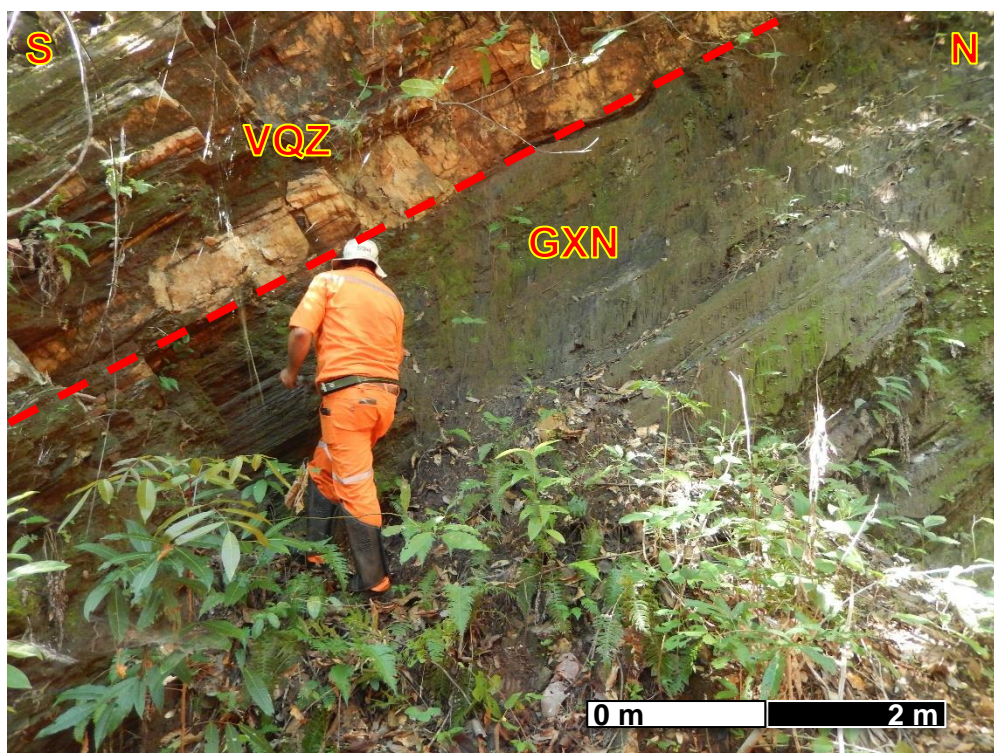


Figura 13: Afloramento chave em situações análogas à encontrada no corpo de minério Flamboyant. VQZ: veio-de-quartzo; GXN: grafita xisto. Dados da pesquisa, 2019.

4.2.3 DESCRIÇÃO DETALHADA DOS TESTEMUNHOS DE SONDAGEM

O procedimento de descrição feita nos intervalos separados é feito do topo do intervalo para a base, atentando-se às mudanças litológicas, anotando sempre a metragem do limite basal de um intervalo litológico. A nomeação das litologias segue a classificação proposta pelo Relatório de Caracterização Petrográfica dos Litotipos do *Greenstone Belt* Crixás. Foram descritos 191 metros lineares considerando os quatro furos de sondagem selecionados.



Figura 14: Processo de descrição macroscópica dos testemunhos de sondagem. Dados da pesquisa, 2019.

4.2.4 AMOSTRAGEM

O processo de amostragem foi feito logo após a descrição de cada intervalo de testemunho selecionado. As amostras coletadas representam as zonas estéreis, os diferentes halos de alteração hidrotermal e a zona mineralizada. Os teores auríferos também foram usados como guia para a seleção das amostras. As amostras foram previamente serradas em duas metades longitudinalmente para procedimentos de análise química da empresa.



Figura 15: Parte do intervalo selecionado para descrição do furo CPIVESD0015A. Nota-se a presença de veios de quartzo branco entre os metassedimentos. AngloGold Ashanti (2019).

Foram coletadas 26 amostras dos quatro furos de sondagem, 6,2 amostras por furo, totalizando 7,5 metros lineares de amostra. O conteúdo amostrado representa aproximadamente 4% da metragem descrita, sendo uma amostra a cada 7,3 metros lineares de rocha descrita.

4.3 ETAPA DE LABORATÓRIO

Os procedimentos de laboratórios foram realizados nas dependências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Esta etapa consistiu de descrição das amostras, petrografia de detalhe, análises mineralógicas e químicas e integração de dados.

4.3.1 ANÁLISE MACROSCÓPICA

O procedimento de análise macroscópica teve início ainda nas dependências da Unidade Serra Grande, junto do processo de descrição dos testemunhos. Foram

selecionadas as porções das amostras destinadas à laminação para a confecção de lâminas petrográficas.

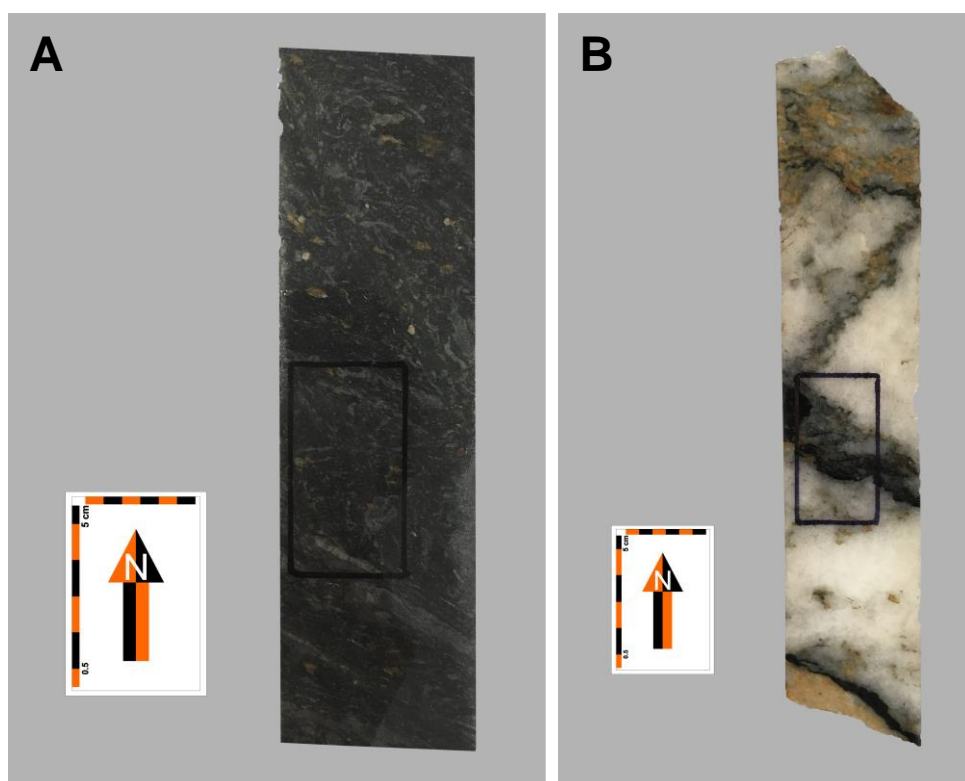


Figura 16: As amostras foram montadas em um fundo cinza para fácil visualização de todas as amostras. A: GXN com sulfetação dispersa; B: VQZ com sulfetos dentro da zona demarcada para laminação. Dados da pesquisa, 2019.

Todas as amostras coletadas foram fotografadas (Figura 16) e analisadas sob lupa estereoscópica Olympus SZ40 a fim de certificar a representatividade dos locais escolhidos para laminação das mesmas. Já nesta etapa foram encontrados dados cruciais para o prosseguimento do trabalho, como ocorrências de ouro livre, inclusões de ouro em arsenopirita e níveis de sulfetação.

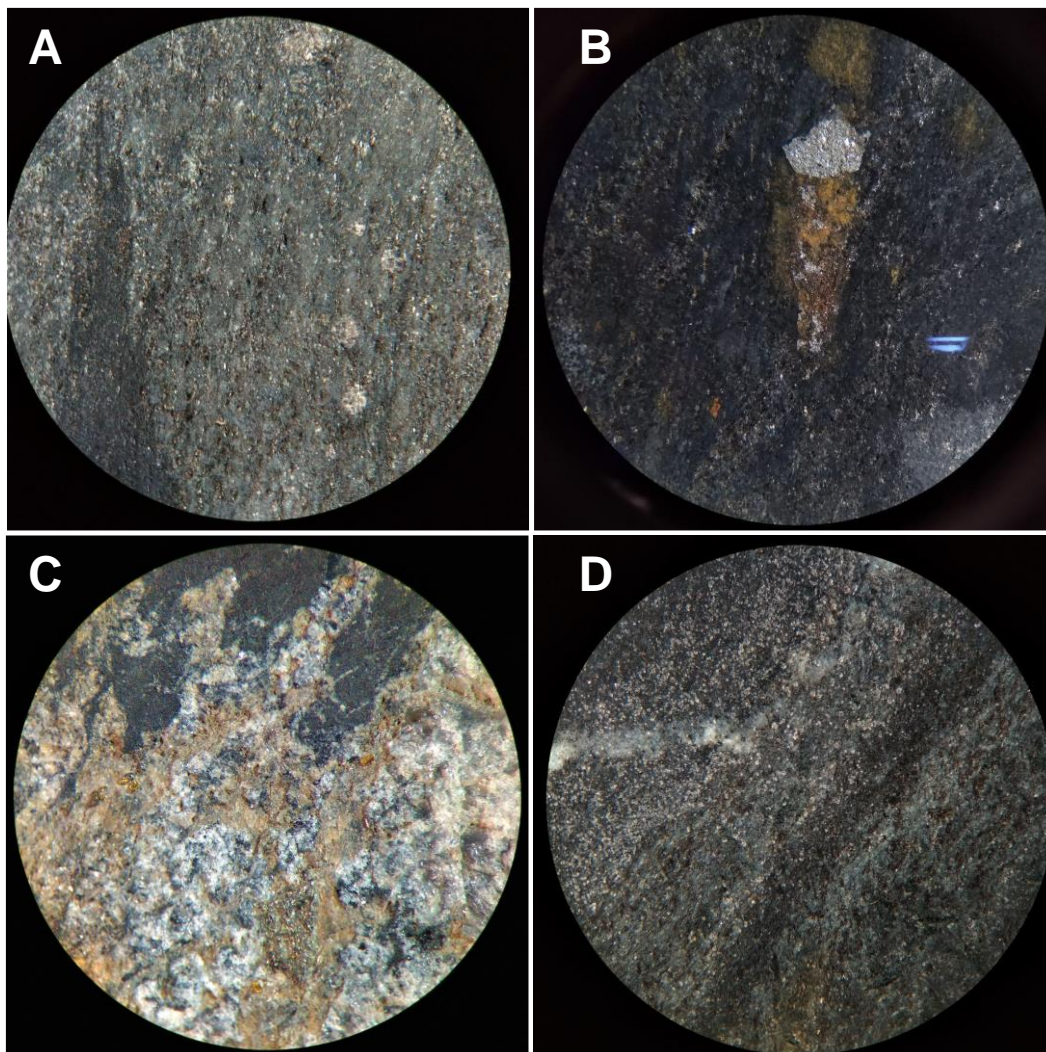


Figura 17: A: MG com granadas e lâminas de GXN; B: GXN com arsenopirita subédrica; C: VQZ com gotas de ouro livre; D: GNCX com granada abundante. Todos em aumento de 2.0x. Dados da pesquisa, 2019.

4.3.2 MICROSCOPIA ÓTICA: LUZ TRANSMITIDA E REFLETIDA

Foram confeccionadas 5 lâminas delgadas para a caracterização das amostras de testemunho, buscando reconhecer e descrever a mineralogia da ganga, do minério e as texturas presentes a fim de estabelecer relações entre a paragênese hidrotermal e a assembleia mineralógica do minério.

O microscópio utilizado será um LEICA DM2500 LP (Figura 18) o qual é equipado para análises de luz transmitida e refletida. Esse equipamento possui

acoplada uma câmera fotográfica LEICA DC300F, com software *Image Capture* para controle da mesma. O equipamento pertence ao Laboratório de Geoquímica Isotópica – LGI, IGEO – UFRGS.



Figura 18: Microscópio Leica DM2500 LP com câmera fotográfica Leica DC300F utilizado neste trabalho. Dados da pesquisa, 2019.

Na petrografia são utilizadas duas técnicas de microscopia com relação à configuração da fonte de luz do equipamento. Na microscopia de luz transmitida a fonte de luz fica situada na parte inferior do microscópio, abaixo da platina giratória. Desta forma, a luz passa através do polarizador e da lâmina delgada, atingindo a lente objetiva. Esta técnica fica limitada à análise dos minerais translúcidos, impossibilitando a descrição de minerais opacos.

De outro modo, na microscopia de luz refletida a fonte de luz situa-se acima da platina giratória. A luz passa através das lentes objetivas e incide contra a lâmina delgada, por reflexão especular ou difusa a luz volta à lente objetiva, permitindo assim a análise de texturas, propriedades óticas, inclusões de materiais opacos, tais como minerais opacos, ligas metálicas, cerâmicas.

Em ambas as técnicas, após interagir com a lâmina delgada, a luz polarizada é coletada pelas lentes objetivas de diferentes capacidades de ampliação (4x, 10x,

40x...) e direcionada para as lentes oculares. Em ambas as técnicas de observação há duas opções de polarização da luz: polarização paralela, onde apenas o polarizador atua; dupla polarização (polarizadores cruzados), onde o polarizador e o analisador atuam fazendo com que a luz tenha de atravessar duas direções de polarização perpendiculares entre si.

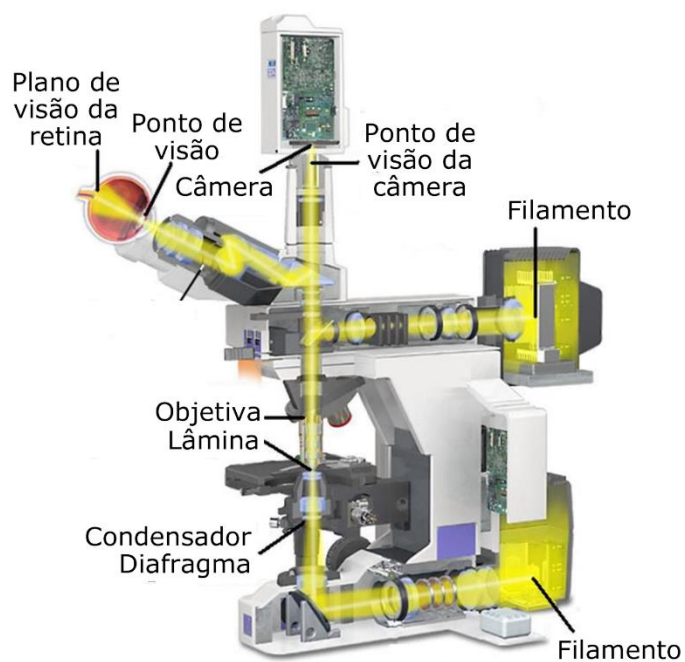


Figura 19: Esquema de funcionamento de um microscópio óptico de luz transmitida e refletida. Modificado de Schmitt, R. (2008).

4.3.3 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)

Usado para a caracterização das fases minerais do minério – principalmente – e da ganga por meio de análises da forma, tamanho, contrastes composicionais, zonações químicas, assim como a ocorrência de ouro na forma livre por imageamento de elétrons retro espalhados (BSE), e semiquantitativas por espectrometria de dispersão de energia (EDS) e mapeamento composicional com limite de detecção de até 0,1% em peso.

O microscópio eletrônico utilizado para este trabalho será um JEOL JSM-

6610LV (Figura 20), do Laboratório de Geoquímica Isotópica (LGI), IGEO – UFRGS, equipado com detector EDS Bruker 133 eV e catodoluminescência Chroma CL12.



Figura 20: Microscópio eletrônico de varredura JEOL utilizado neste trabalho. LGI - IGEO - UFRGS. Dados da pesquisa, 2019.

Os microscópios óticos possuem sua capacidade de aumento limitada aos efeitos de difração relacionados ao comprimento de onda da radiação incidente, sendo assim ficam limitados a ampliações de no máximo 2000 vezes, ao passo que detalhes acima deste valor são imperceptíveis (Kesrenbachk, 1994 *apud* Dedavid *et al.*, 2007).

O microscópio eletrônico de varredura é largamente empregado para análises semi-quantitativas de minerais de minério, buscando visualizar zonações químicas e suas geometrias assim como a confecção de mapas composicionais por levantamentos espectrométricos. Utilizando comprimentos de onda extremamente curtos ($\lambda=0,005\text{\AA}$) obtém-se um alto poder de resolução como fonte de iluminação resultando em capacidades de aumento na ordem de 300.000 vezes ou mais (Dedavid *et al.*, 2007).

O microscópio eletrônico de varredura (MEV) usa um feixe de elétrons para diâmetro menor que 4 nm (Dedavid *et al.*, 2007), para analisar pontualmente a superfície da amostra. O feixe de elétrons é emitido a partir do canhão de elétrons, o

qual consiste de um filamento de tungstênio onde é aplicada uma diferença de potencial variando de 0,3 a 30 kV.

Devida a diferença de potencial gerada entre o filamento e o ânodo, os elétrons são acelerados gerando um feixe eletrônico que são então desmagnificados por meio de três lentes eletromagnéticas a fim de produzir um feixe eletrônico concentrado em um ponto. A interação do feixe de elétrons com a amostra produz sinais de elétrons e fótons que são coletados por detectores especializados e convertidos em sinal de vídeo (Dedavid *et al.*, 2007). O volume de interação entre o feixe eletrônico e a amostra depende principalmente da tensão de aceleração utilizada e o número atômico da amostra (conforme Figura 21).

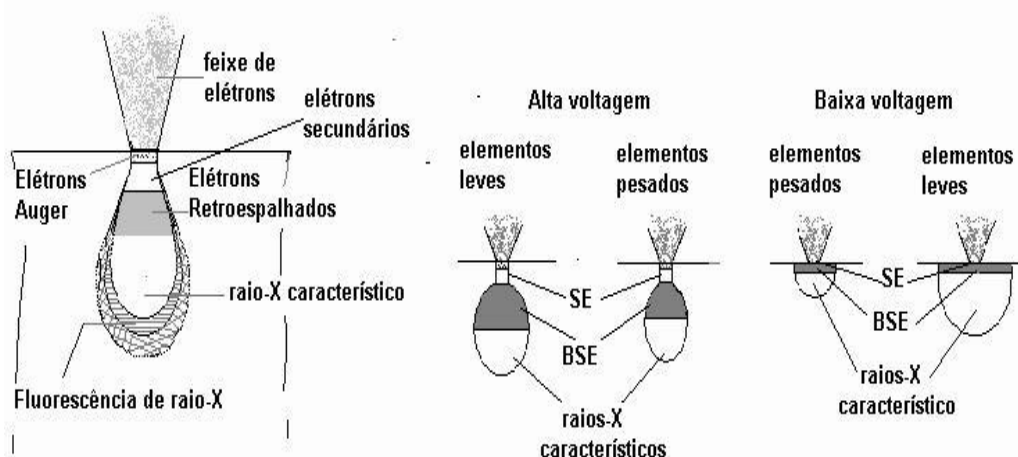


Figura 21: Esquema ilustrando os sinais emitidos pela amostra e as variações no volume de interação feixe-amostra e suas variáveis. SE: elétrons secundários; BSE: elétrons retro espalhados. Compilado de Dedavid *et al.*, pp. 12, 2007.

Para a realização das análises físico-químicas e geração dos sinais de imagens, as partículas e os raios eletromagnéticos resultantes da interação feixe-amostra precisam retornar a superfície da amostra para então atingirem os detectores. Sendo assim, a resolução espacial (profundidade máxima de detecção) é dependente da quantidade de energia das partículas ou raios que atingem os detectores. Por exemplo: os elétrons retro espalhados possuem maior energia que os elétrons secundários, sendo assim o detector de elétrons retro espalhados opera em uma faixa de energia maior em comparação ao detector de elétrons secundários (Dedavid *et al.*,

2007).

O mapeamento da amostra por elétrons retro espalhados (*backscattering*, BSE) ressalta os contrastes de composição química entre os materiais numa imagem virtual gerada em escala de cinza. O retro espalhamento está relacionado ao volume de interação feixe-amostra, portanto, é dependente do número atômico da amostra analisada (Dedavid *et al.*, 2007), sendo assim, quanto maior o número atômico da amostra analisada, maior será a quantidade de elétrons retro espalhados, conseqüentemente, mais claro será o tom de cinza gerado na imagem virtual (Castoldi, 2015).

A espectrometria por dispersão de energia identifica os diferentes comprimentos de onda dos raios-x característicos emitidos pela interação do feixe eletrônico sobre a amostra (Reed, 2014). O feixe de elétrons dirigido à amostra é capaz de ionizar os níveis eletrônicos mais profundos dos átomos, alterando os níveis energéticos dos elétrons. Ao retornarem aos níveis iniciais, os elétrons liberam a energia absorvida por meio da irradiação no comprimento de onda que compreende o espectro dos raios-x (Dedavid *et al.*, 2007) que são captados pelo detector situado dentro da câmara de vácuo do MEV. Se baseando na Condição de Frequência de Bohr, a relação entre a quantidade de energia do raio-x emitido permite atribuir um comprimento de onda específico. Cada elemento químico possui seu raio-x característico, o que possibilita a identificação dos elementos presentes na amostra. No método EDS vários comprimentos de onda são detectados e processados simultaneamente, tornando o processo mais rápido em comparação ao método WDS (*wavelength-dispersive spectroscopy*).

4.4 ETAPA DE INTEGRAÇÃO DE DADOS

Após a realização de todos os procedimentos para adquirir os dados de laboratório necessários, os mesmos foram compilados, integrados e submetido a interpretação amparados no conhecimento prévio já existente no que tange a metalogênese na área de estudo. Os resultados são apresentados na forma de gráficos, tabelas e diagramas esquemáticos.

A monografia escrita compila todos os resultados encontrados e os produtos

gerados, sendo esta tabela apresentada ao final da disciplina Projeto Temático em Geologia III.

Tabela 2: Lista das amostras coletadas e as respectivas técnicas aplicadas.

Furo de sondagem			CPIVESD0014		
AMOSTRA	LITOLOGIA	DE	ATÉ	PETROGRAFIA	MEV
14-01	DOL	1213,74	1214,11	X	
14-02	MG	1222,47	1222,74		
14-03	GXN	1238,01	1238,34		
14-04	GXN SULFETADO	1241,12	1241,38		
14-05	VQZ	1241,95	1242,29		
14-06	GNCX	1248,6	1248,85	X	
14-07	MG				
Furo de sondagem			CPIVESD0015		
AMOSTRA	LITOLOGIA	DE	ATÉ	PETROGRAFIA	MEV
15-01	DOL	1398,16	1398,42		
15-02	MG	1420,57	1420,84		
15-03	GXN	1430,92	1431,26		
15-04	VQZ	1435,84	1436,09		
15-05	GNCX	1437,78	1438,05		
15-06	MG	1440,47	1440,79		
Furo de sondagem			CPIVESD0015A		
AMOSTRA	LITOLOGIA	DE	ATÉ	PETROGRAFIA	MEV
15A-01	DOL	1387,56	1387,85		
15A-02	MG	1406,32	1406,62	X	
15A-03	GXN	1422,49	1422,76		
15A-04	GXN	1428,11	1428,45		
15A-05	VQZ	1428,89	1429,11	X	X
15A-06	GNCX	1430,6	1430,87		
15A-07	MG	1439,11	1439,39		
Furo de sondagem			CPIVESD0019		
AMOSTRA	LITOLOGIA	DE	ATÉ	PETROGRAFIA	MEV
19-01	DOL	1157,32	1157,58		
19-02	MG	1165,79	1166,07		
19-03	GXN	1172,25	1175,55		
19-04	GXN	1175,73	1176,01	X	X
19-05	GNCX	1183,35	1183,64		
19-06	MG	1194,01	1194,26		

5 RESULTADOS

5.1 INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta as características concernentes ao corpo mineralizado Flamboyant levantadas por este trabalho. A seção reúne todas as características petrográficas macro- e microscópicas das rochas hospedeiras da zona mineralizada e da zona estéril, tais como texturas pertinentes, a mineralogia das rochas encaixantes, da alteração hidrotermal e do minério. Os dados de MEV e as análises químicas nele realizadas são apresentadas logo após os dados petrográficos respeitando a lógica investigativa do “zoom”.

5.2 CORPO DE MINÉRIO FLAMBOYANT

Encaixado na Formação Ribeirão das Antas, o corpo Flamboyant possui orientação Az.: 293° e caimento de 31°, semelhante aos demais corpos mineralizados da Estrutura III. Sua profundidade varia entre 1008 m e 1660 m de profundidade em relação à superfície, com cotas negativas entre 548 m e 1196 m em relação ao nível do mar.

O corpo Flamboyant está lateralmente próximo ao corpo Ingá, cerca de 70 m a SE e também pode ser dividido em duas zonas diferentes de mineralização com base no tipo de minério e rochas encaixantes, reproduzindo padrão semelhante aos outros corpos mineralizados da Estrutura III. As ocorrências mais rasas de sulfetação e teores de ouro, aqui chamada de zona superior, ocorrem nas rochas metavulcânicas com níveis centimétricos de arsenopirita maciça com cristais idiomórficos medindo até 4 cm. Conforme se aprofundam os furos de sondagem encontram a segunda zona mineralizada, aqui chamada de zona inferior à qual é objeto de estudo desse trabalho. A mineralização ocorre como níveis de arsenopirita centimétricos a milimétricos em GXN ou como veio-de-quartzo massivo (VQZ) variando de 0,3 a 0,6 m de espessura, com comprimento ao longo do *plunge* de 1201 m e largura de 191 m.

5.3 ROCHAS HOSPEDEIRAS

A zona inferior do corpo Flamboyant possui ordenamento litológico contínuo lateralmente e ao longo do plunge, além disso, é muito similar à zona inferior do corpo de minério Ingá, descrito por Castoldi (2015). A nomenclatura adotada para as litologias advém do relatório produzido por Borges & Campos (2019) onde caracterizam mineralógica e texturalmente os diferentes litotipos encontrados nos furos de sondagem realizados nas dependências da mineradora, estando em consonância com os nomes utilizados pelos geólogos do da AngloGold Ashanti – Unidade Serra Grande.

As rochas hospedeiras são descritas macro- e microscopicamente, do topo para a base dos furos de sondagem, sendo elas: dolomito (DOL), metagrauvaca (MG), filito carbonoso (GXN) e quartzo-biotita-muscovita-granada xistos (GNCX). Ocorrências de diques máficos metamorfisados são raras e ocorrem nos intervalos de GXN e MG.

5.3.1 Dolomito (DOL)

Os dolomitos possuem em média 8 m de espessura nos quatro furos de sondagem que interceptam o corpo Flamboyant. As ocorrências mais rasas do DOL na região do corpo são do furo CPIVESD0019, a 1152 m de profundidade.

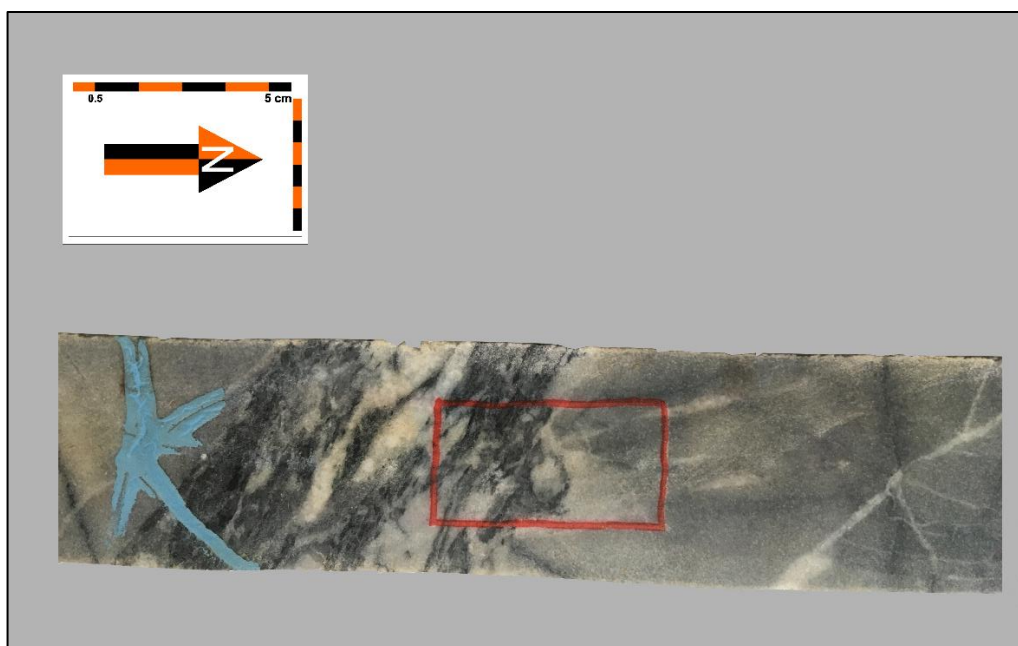


Figura 22: Amostra dos testemunhos de dolomito. A zona intensamente hidrotermalizada traz consigo inúmeros fragmentos de material carbonoso.

São dolomitos de cor cinza a cinza-escuro, com porções brechadas, com repetições de níveis de matéria carbonosa milimétricos a centimétricos abundantes, por vezes apresentam tom acastanhado devido a presença de óxidos de ferro. É comum a presença de níveis intensamente hidrotermalizados com presença de quartzo, porém não há ocorrência de sulfetos (Figura 22). Em raros casos há a ocorrência de fragmentos angulares de rochas metabásicas. Lâminas com menos de 10 cm de GXN e/ou MG são comuns e aumentam a abundância gradativamente conforme se aprofunda o furo de sondagem. As porções brechadas formam um padrão *stockwork* com as fraturas preenchidas por $cb>qtz$, limites bem marcados e movimentação evidenciada por níveis de matéria carbonosa com pequenos rejeitos (<5 cm). Os níveis mais hidrotermalizados possuem textura bandada e com

intercalação caótica entre qtz+cb com porções de coloração cinza-escura ricas em matéria carbonosa.

Em microscópio atesta-se que o dolomito pode ser setorizado em duas porções de diferentes tamanhos de grão. O topo apresenta cristais maiores, com 0,2 mm em moda e ocupa um terço da lâmina. A base possui cristais mais finos, com 0,005 mm em moda, venulações e bolsões de quartzo e venulações de carbonato grosso (aproximadamente 0,3 mm em moda). O arcabouço é constituído basicamente por carbonato com quartzo e mica-branca intersticiais sem orientação desenvolvida e em pequena quantidade ($cb \gg qtz + ms$). O arcabouço é cortado por venulações e bolsões de quartzo que vão de <1 mm até 4 mm e são constituídos por 97% de quartzo, 3% mica-branca e quantidades traço de albita. Há raras ocorrências de níveis sub-milimétricos de matéria carbonosa associada a venulações de quartzo.

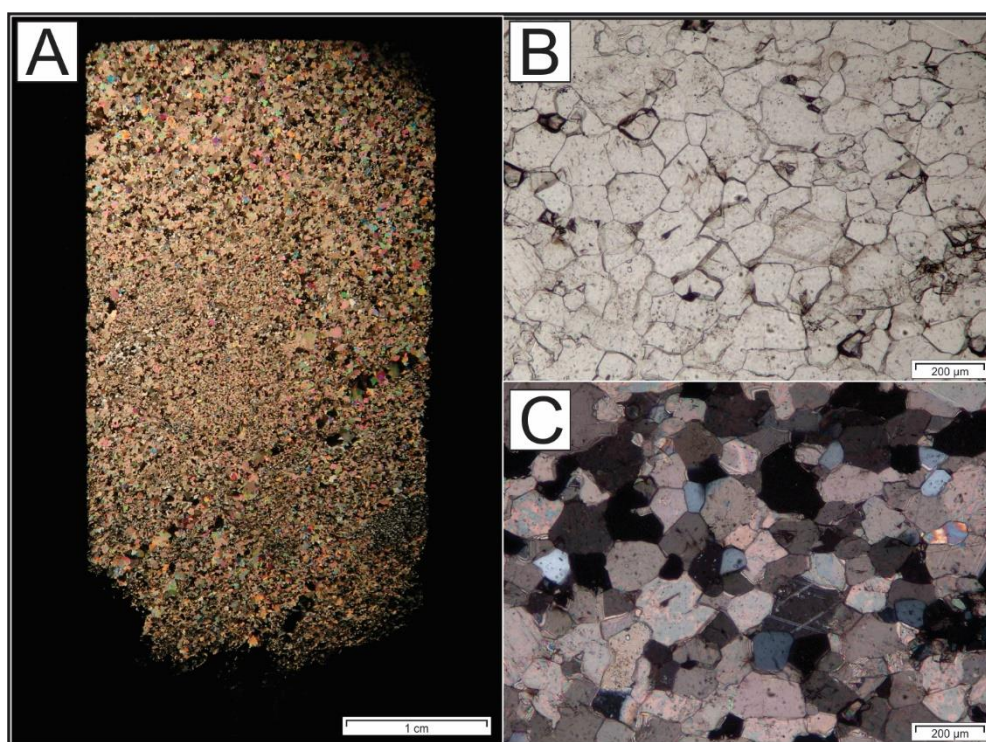


Figura 23: Dolomito (DOL) sob microscópio. A: Imagem da lâmina toda sob polarizadores cruzados; B: Fábrica do dolomito com domínio de textura poligonal granoblástica; C: Sob polarizadores cruzados os cristais de quartzo com textura de dissolução ficam evidenciado.

O **carbonato** perfaz aproximadamente 90-93% do arcabouço. No setor de topo da lâmina os cristais são mais grossos que no setor de base, medem 0,2 mm em moda, são alotriomórficos, contatos intergranulares do tipo estilolito com raros contatos poligonais a 120° em cristais menores que sugerem substituição de cristais de carbonato pretéritos maiores. A ocorrência de mica-branca é na forma disseminada, nos interstícios dos cristais de carbonato e associados à presença de quartzo.

O **quartzo** ocupa aproximadamente 5-7% da lâmina. Ocorre de forma intersticial na lâmina toda, anédricos, recristalizados, comumente em agregados ou venulações, com cristais medindo 0,25 mm em moda. Os contatos com os cristais de carbonato sugerem dissolução e substituição, com engolfamentos e pseudo-inclusões de quartzo dentro dos cristais de carbonato. Há um bolsão de quartzo policristalino com 4 mm de comprimento, rico em mica-branca, e pequenos fragmentos de matéria carbonosa concentrados em bandas.

A **mica-branca** ocupa aproximadamente 2% da lâmina e ocorre de forma disseminada, subédrica a anédrica e medem 0,25 mm na moda. Diretamente relacionada à presença de quartzo, possui contatos retos e bem definidos com o mesmo, sugerindo estabilidade química. Os contatos com carbonato também são retos e bem definidos. No bolsão de quartzo puro as micas ocorrem de forma abundante, sendo aproximadamente 10% do bolsão, mais finas 0,15 mm na moda, subédricas a anédricas, sem orientação preferencial.

No setor de base da lâmina, os cristais de carbonato medem 0,005 mm em moda, alotriomórficos a hipidiomórficos. Quartzo intersticial em maior quantidade, comparado ao setor de topo. Mica-branca intersticial ocorre em quantidades iguais, associadas ao quartzo, e geralmente paralelas às venulações de quartzo. As venulações e bolsões de quartzo medem, respectivamente, 0,2 – 2mm e 1 – 4 mm. Há também uma venulação de 0,8 mm de espessura composta por carbonato majoritariamente (>90%) de tamanho pronunciadamente maior (cristais com 0,25 mm em moda) e textura hipidiomórfica.

5.3.2 Metagrauvaca (MG)

O pacote das chamadas metagrauvacas está sotoposto aos dolomitos e possui espessura média de 15 m nos quatro furos estudados. Os pacotes de MG possuem distribuição muito irregular, com a efetiva espessura variando entre 10 e 22 m a poucos metros de distância uma ocorrência da outra. É comum a alternância de metagrauvaca com filito carbonoso em questão de metros, corroborando a ideia de dobras de escala decamétrica, como sugerida anteriormente na literatura.

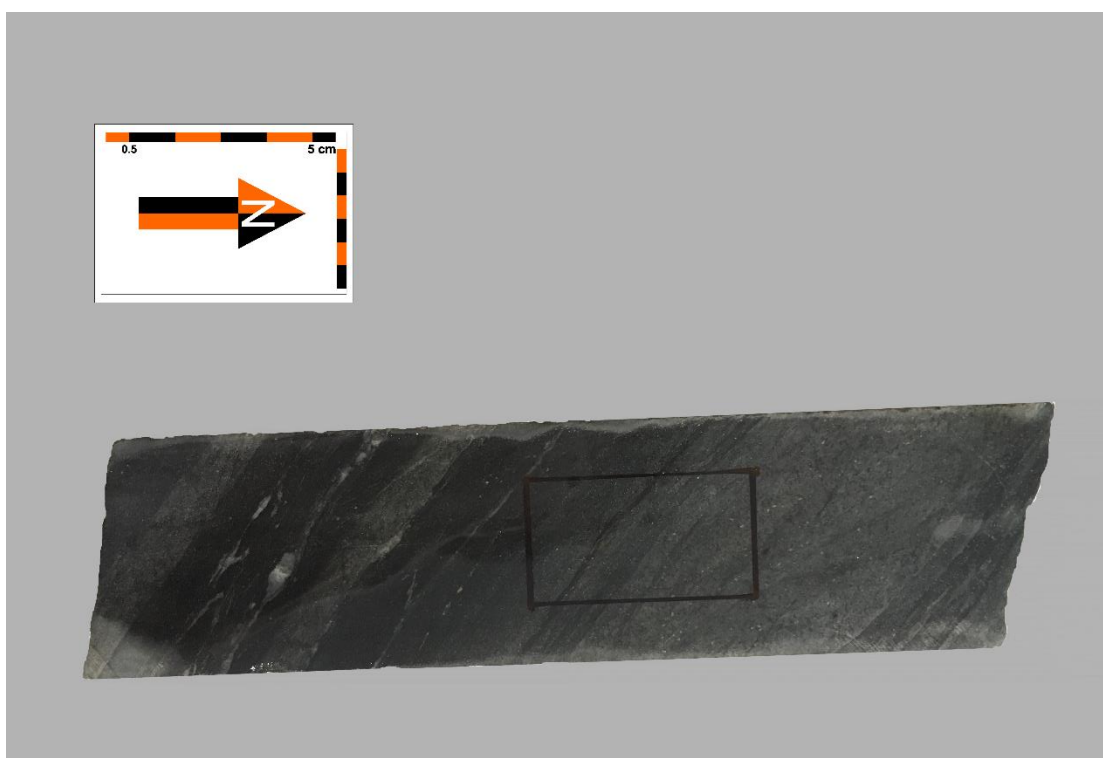


Figura 24: Amostra dos testemunhos de metagrauvaca. É comum a ocorrência de níveis de material carbonoso e venulações de quartzo concordantes com a foliação principal.

A rocha fresca apresenta diferentes tons de cinza, desde cinza-claro nacarado, cinza-escuro ou até quase preto (Figura 24). Tais variações de cor estão diretamente relacionados a presença de mais ou menos quantidade de matéria carbonosa. Em suma a rocha apresenta cor cinza-escuro, textura lepidoblástica média marcada por biotita disseminada ou agregados milimétricos a centimétricos de biotita orientados segundo a foliação principal. Em todos os furos analisados há ampla ocorrência de granada sub-milimétrica arredondada de cor rosa-avermelhada dispersa por toda a

rocha. Níveis centimétricos a decamétricos de GXN com dobras e falhas de escala centimétrica também são comuns nos quatro furos analisados. Nas vizinhanças dos contatos com DOL a rocha apresenta dolomitização e, conforme se aprofunda nos furos de sondagem, essa dolomitização vai dando lugar a silicificação, possibilitando a melhor definição dos halos hidrotermais.

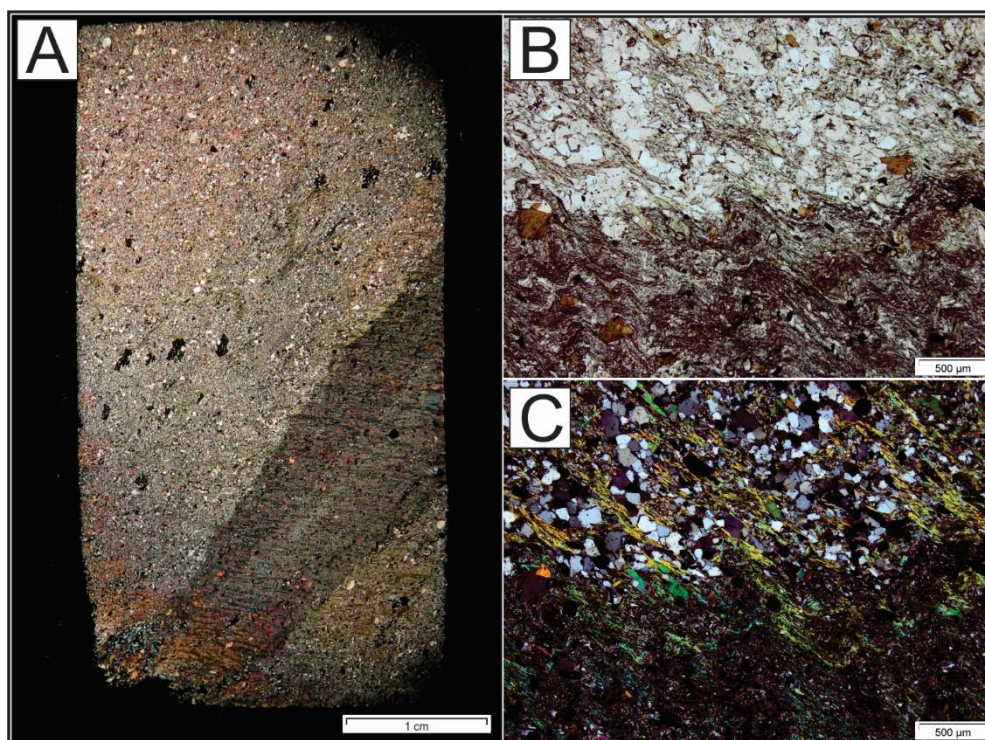


Figura 25: Metagrauwaca sob microscópio. A: Lâmina toda sob polarizadores cruzados. Nível mais escuro devido ao enriquecimento de material carbonoso; B: Contato entre o nível siliciclástico e o nível carbonoso evidenciando deformação dúctil; C: Sob polarizadores cruzados é possível notar a presença de muscovita marcando a S_{n+1} .

Sob o microscópio petrográfico nota-se lâminas de material carbonoso com crenulação de foliação bem desenvolvida e marcada por mica-branca lepidoblástica. O arcabouço é composto por quartzo e, por vezes, matéria carbonosa. Biotita, mica-branca e granada perfazem toda a lâmina, sendo que a mica branca evidencia a transposição da S_n pela S_{n+1} . Os cristais de granada estão rotacionados e alguns indicam cristalização dinâmica. Há bolsões e venulações de quartzo puro de origem hidrotermal.

O **quartzo** compõe aproximadamente 60% da lâmina. Há dois tipos distinguíveis de quartzo:

- **Detrítico:** constitui o arcabouço da rocha, disposto em lâminas com variação não-sistemática de granulometria. Grão anédricos, medem entre 0,1 mm (fração fina) até 0,8 mm (fração grossa).
- **Hidrotermal:** ocorre em bolsões e venulações concordantes com a foliação Sn com duas texturas distintas: grosseiro, anédrico a subédrico, textura poligonal granoblástica, 0,3 mm em moda, comumente acompanhado de biotita+clorita; ou fino, 0,05 mm em moda, anédrico, concordante com a Sn, acompanhado de muita mica-branca, crenulado.

A **mica-branca** é o filossilicato mais abundante na lâmina, aproximadamente 20%. Subédricas, medem 0,05 mm em moda. Textura lepidoblástica marcando a Sn e evidenciando micro-dobras indicando a transposição da Sn pela Sn+1. Tem maior abundância nas adjacências e dentro das lâminas carbonosas. Possuem contatos retos e bem definidos com quartzo e aparentam substituir e/ou alterar os cristais de biotita, sugerindo desequilíbrio geoquímico entre os dois filossilicatos. Dentro de bolsões de quartzo ocorrem como lamelas, caóticas, euédricas e possui associação com a ocorrência de pirrotita.

A **biotita** é o segundo filossilicato mais abundante na lâmina, aproximadamente 7% da lâmina. Anédrica, mede 0,1 mm em moda, e ocorre de forma disseminada e sem orientação preferencial. Raros cristais estão deformados próximos à charneira das micro-dobras. Os cristais são particularmente maiores dentro do nível carbonoso, medem 0,3 mm em moda. No nível carbonoso é comum encontrar cristais com inclusões de zircão com halo de metamictização. Nos bolsões de quartzo, ocorrem com textura glomeropofirítica ou associadas a granada.

A **granada** ocupa aproximadamente 4% da lâmina. Subédrica a euédrica, seu tamanho varia entre 0,02 mm a 1,2 mm, com 0,1 mm de moda. Comumente apresenta-se rotacionada, evidenciada pelos filossilicatos adjacentes. Raros cristais possuem inclusões que indicam recristalização dinâmica (textura "snowball"). Ocorrem em maior quantidade no nível carbonoso. Raros cristais com até 1 mm em moda com textura esquelética ocorrem na porção siliciclastica da lâmina.

A **clorita** perfaz aproximadamente 1% da lâmina. Subédrica, mede 0,2 mm em moda, ocorre como pseudomorfos de biotita, aglomeradas dentro dos bolsões de quartzo grosseiro acompanhada de biotita. Não há nenhum sulfeto associado.

Dentre os **minerais opacos** que ocorrem na rocha a **pirrotita** é o sulfeto mais abundante na lâmina, aproximadamente 2%. Anédrica, mede 0,15 mm em moda, chegando a 1,4 mm dentro de venulações de quartzo. Ocorre como cristais isolados, como gotículas dispersas, adjacentes a granada ou servindo de núcleo para as mesmas. Possui contatos retos e definidos com os grãos de quartzo e granada, porém apresenta contatos interlobados e pequenos engolfamentos em cristais de biotita. É comum apresentar inclusões de silicatos ou de calcopirita.

A **calcopirita** ocupa aproximadamente 1% da lâmina. Anédrica, mede 0,1 mm em moda e ocorre quase que exclusivamente como inclusões em pirrotita. Raros cristais ocorrem preenchendo fraturas. Sua ocorrência está diretamente relacionada às venulações de quartzo grosseiro.

5.3.3 Filito Carbonoso (GXN)

Junto dos veios de quartzo, esta é a rocha hospedeira do minério na zona inferior do corpo Flamboyant. Se encontra logo abaixo do pacote de MG e possui em alguns furos contato gradacional com o mesmo. Possui em média 4 m de espessura, com espessura máxima de 6,13 m no furo CPIVSD0019 e com menor espessura no furo CPIVSD0015A com 2,27 m. Em campo foi possível visitar afloramentos que exemplificam situações análogas às do corpo Flamboyant, mais especificamente, o afloramento visitado exemplificava situações de contato entre GXN e VQZ, com grande quantidade de deformação apresentando foliação e lineação bem desenvolvidas e penetrativas. A foliação obtida no afloramento possuía atitude (46/256) e lineações de atitude (34;290) e (32;295)

Em amostra de mão trata-se de uma rocha preta, de textura muito fina e que facilmente suja as mãos, podendo essa propriedade variar conforme o grau de silicificação ou dolomitização (Figura 26). Em geral as amostras de GXN recuperadas dos furos de sondagem se apresentam todas silicificadas em menor ou maior grau. São abundantes as ocorrências de venulações de quartzo milimétricas, alcançando até 3 cm, comumente fitadas, raramente crenuladas ou formando sigmoides. Nos intervalos mais distantes dos VQZ é abundante a ocorrência de granada arredondada milimétrica de cor rosada. Ocorrem diversas intercalações de lâminas milimétricas a

centimétricas de MG com enriquecimento em biotita, assim como intervalos de até 1,9 m da mesma dentro do GXN.

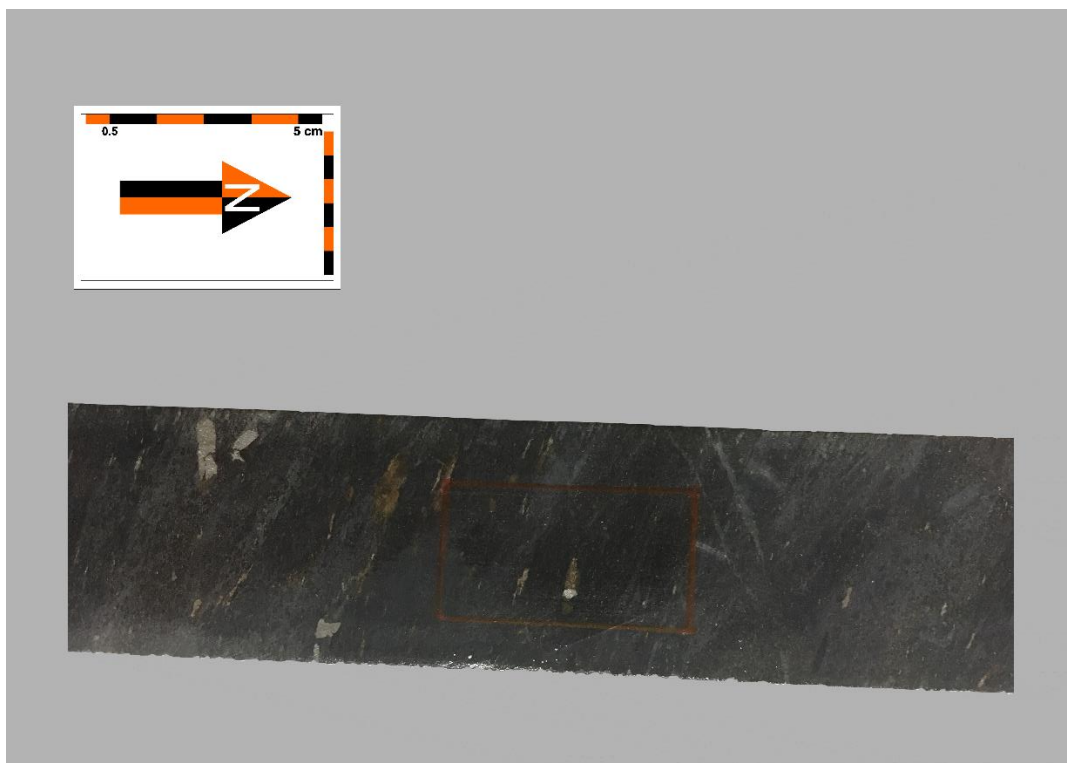


Figura 26: Amostra dos testemunhos de filito carbonoso (GXN). Agregados finos de Po concordantes com a foliação são abundantes. Cristais idiomórficos de Apy são limitados à zona mineralizada.

É possível certificar também a ocorrência de agregados intrafoliares de biotita+pirrotita nas amostras não ultrapassam 1% da rocha. Níveis centimétricos a decimétricos de Apy subédrica grossa a muito grossa se faz presente em três dos quatro furos de sondagem analisados. Elas podem ocorrer como pequenos intervalos de Apy dispersa sigmoidal acompanhada de pirrotita, como ocorre no furo CPIVESD0015A, ou como níveis concentrados de Apy maciça chegando a ocupar entre 3-5% da rocha nos contatos com VQZ, como ocorre no furo CPIVESD0019 e CPIVESD0014. O furo CPIVESD0015, o qual dista 20 m do furo “gêmeo” 15A, não apresenta níveis de Apy nos filitos carbonosos, sugerindo comportamento errático da sulfetação, contrapondo o comportamento de sulfetação mais contínua sugerido pelas ocorrências amplamente espalhadas entre os furos restantes.

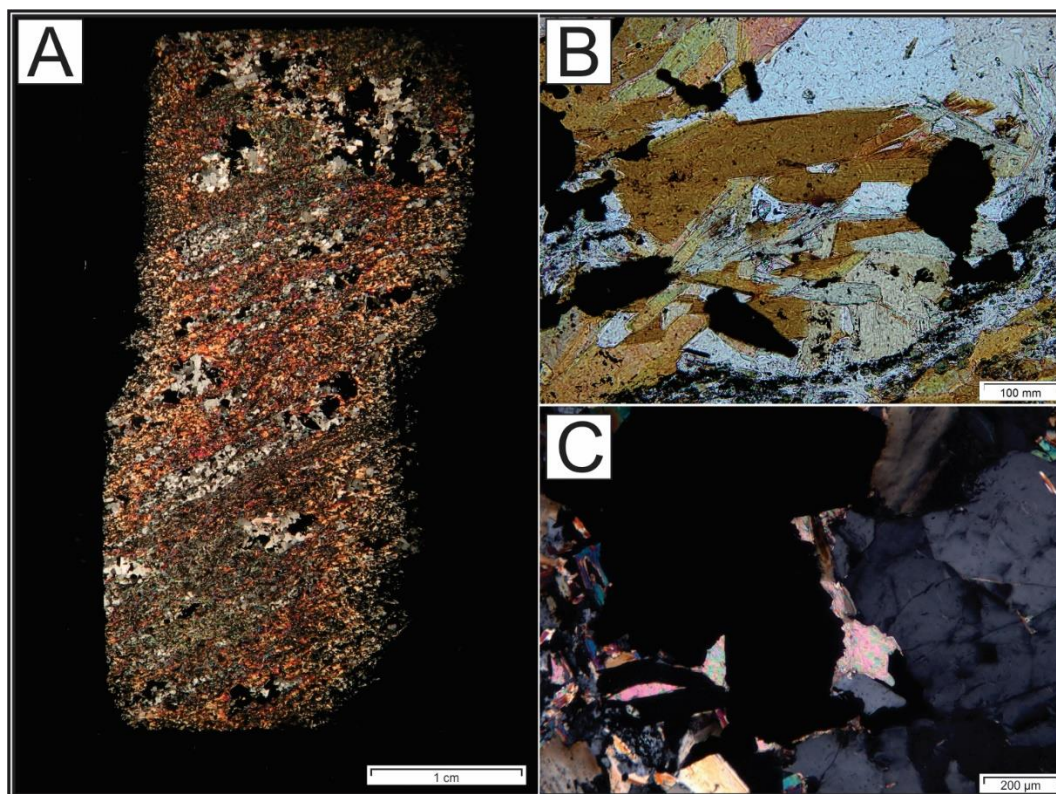


Figura 27: Filito Carbonoso (GXN) sob microscópio. A: Lâmina toda sob polarizadores cruzados. É possível notar a presença de bolsões de quartzo, sulfetos (ao topo) e a presença disseminada de biotita (avermelhada); B: Biotita hipidiomórfica parcialmente cloritizada associada a sulfetos; C: Grande cristal de sulfeto (opaco) com carbonatação adjacente. A presença de clorita é dominante nas proximidades.

Em microscópio verifica-se que é foliado e intensamente silicificado. Apresenta biotita com textura lepidoblástica marcando a foliação principal granada submilimétrica dispersa por toda a lâmina, plagioclásio raro em agregados parcialmente substituídos por quartzo. Venulações de quartzo (+ carbonato) também marcam a foliação principal, por vezes formando bolsões. Há porções com microdobras adjacentes às venulações. Biotita é o filossilicato dominante com recorrente substituição para clorita. Dentro e nas bordas das venulações há raras ocorrências de carbonato e os minerais opacos ocorrem diretamente relacionados às venulações de quartzo.

A **matéria carbonosa** constitui aproximadamente 5% da amostra. Ocorre dispersa na lâmina na forma de flocos submilimétricos, majoritariamente substituída

por sílica, ocorrendo também inclusa ou adjacente à biotita e em equilíbrio. Marcam a foliação S_n e evidenciam dobras na mesma.

O **quartzo** constitui aproximadamente 50% da amostra e ocorre de duas formas. Disseminado, microgranular, anédrico, comumente com hábito amebóide. Com aproximadamente 0,002 mm em moda, ocorre em toda a lâmina. Apresenta contato corrosivo com carbonato e com albita. Na forma de vênulas e bolsões ocorre como quartzo policristalino grosso, subédrico a euédrico, por vezes granoblástico poligonal. Medem 0,1 mm em moda, podendo alcançar até 0,4 mm. Dentro das vênulas e bolsões ocorrem juntos biotita+carbonato+opacos. O quartzo se apresenta em equilíbrio com todos os minerais citados quando dentro das vênulas e bolsões.

A **biotita** ocupa aproximadamente 25% da amostra sendo ela o filossilicato dominante, disperso por toda a lâmina. Subédrica a anédrica, mede aproximadamente 0,05 mm em moda. Nas porções mais silicificadas os cristais de biotita tendem a euedria e são maiores (até 0,1 mm). Possui os contatos retos e bem definidos com os cristais de quartzo, opacos e com a matéria carbonosa. Raros contatos corrugados com cristais de carbonato sugerem desequilíbrio com o mesmo. Comumente apresentam substituição parcial ou completa para clorita sempre próxima de níveis mais ricos em matéria carbonosa.

As ocorrências de **granada** perfazem aproximadamente 5% da lâmina. Ocorrem dispersas por toda a lâmina e dentro das venulações de quartzo. São euédricas a subédricas e medem 0,02 mm em moda. Os cristais de biotita adjacentes sugerem rotação dos cristais de granada.

O **plagioclásio** ocupa até 1% da lâmina. Raros cristais de plagioclásio dispersos na porção fina da lâmina, medindo 0,012 mm em moda. Possuem maclas periclina com fraca deformação. Anédricos a subédricos, possuem contatos retos com cristais de biotita e estão parcialmente substituídos por quartzo.

O **carbonato** ocupa aproximadamente 2% da lâmina. Localizado nas venulações de quartzo, se apresenta anédrico, com tamanhos variáveis que vão desde pequenas gotas com 0,02 mm até 0,08 mm aproximadamente. Ocorrem próximos de minerais opacos ou de agregados de biotita cloritizadas.

Dentre os minerais opacos presente na rocha a **arsenopirita**, sulfeto mais abundante, ocupa aproximadamente 7% da lâmina. Com tamanho variável, indo

desde pequenas gotas contornando cristais de biotita ou inclusas em nas mesmas até cristais muito grossos, esses medindo 2 mm em média. São euédricas a subédricas, comumente incluem outros minerais translúcidos. Apresenta contatos corrosivos com quartzo+carbonato e possui os contatos retos e bem definidos com os cristais de pirrotita. Possui inclusões de pirrotita (comum), calcopirita (rara), Au livre (raro) e ilmenita (abundante) comumente formando “caminhos” dentro dos cristais de Apy.

A **pirrotita** é o segundo mineral opaco mais abundante na lâmina, aproximadamente 1%. Anédricas, medem 0,05 mm em moda, localizam-se nas bordas dos cristais de arsenopirita ou próximas a eles, comumente adjacente a cristais de carbonato. Raros cristais arredondados isolados ocorrem em meio à bolsões de quartzo grosso.

Gotas de **ouro** livre são recorrentes na lâmina, porém ocupam menos que 1% da lâmina. Anédricas, ocorre como inclusão em arsenopirita ou como gotas arredondadas isoladas. As gotas estão alojadas em clorita e biotita parcialmente cloritizadas próximas de carbonatos, medindo 0,004 mm em moda. Já as inclusões auríferas estão localizadas somente na arsenopirita (ou nas bordas), são anédricas, medem 0,02 mm. As ocorrências de ouro estão limitadas às porções grosseiras das venulações de quartzo e estão relacionadas a presença de biotita e clorita, alojado ou adjacente às mesmas.

Calcopirita (<1%) ocorre como raras inclusões em pirrotita ou nas bordas de arsenopirita. Anédricas, medem 0,03 mm em moda. Contatos são retos e definidos com pirrotita e limites corrosivos com arsenopirita.

5.3.4 Veio-de-Quartzo (VQZ)

O veio-de-quartzo é, na Estrutura III, a principal litologia em termos de mineralização visto que o VQZ carrega consigo alta tonelagem de ouro seja na forma livre ou contido em Apy. A abundância de ocorrências de Au livre nos intervalos amostrados resultam em teores altíssimos de Au. O VQZ está encaixado na base do pacote de filito carbonoso (GXN) apresentando geometria bastante irregular nas galerias subterrâneas existentes nos corpos relacionados à Estrutura III. Em média possuem de 0,5 m a 1 m e não ocorre no furo CPIVESD0019, o qual situa-se em cotas

mais rasas.

Macroscopicamente o VQZ é bem destoante das rochas vizinhas, de cor branca, leitoso, comumente possui fragmentos e lâminas centimétricas de GXN durante todo o intervalo amostrado nos três furos. No furo CPIVESD0014 ocorre um nível maciço de pirrotita fina com 3 cm de espessura no topo do intervalo em contato com GXN. Em todos os furos amostrados ocorrem Po média a grossa com inclusões de Cpy, Apy com até 0,4 cm em níveis ou disseminada. É possível notar raras gotas de Au visível a olho nu próximas ou inclusas nos fragmentos de material carbonoso e < 1 mm.

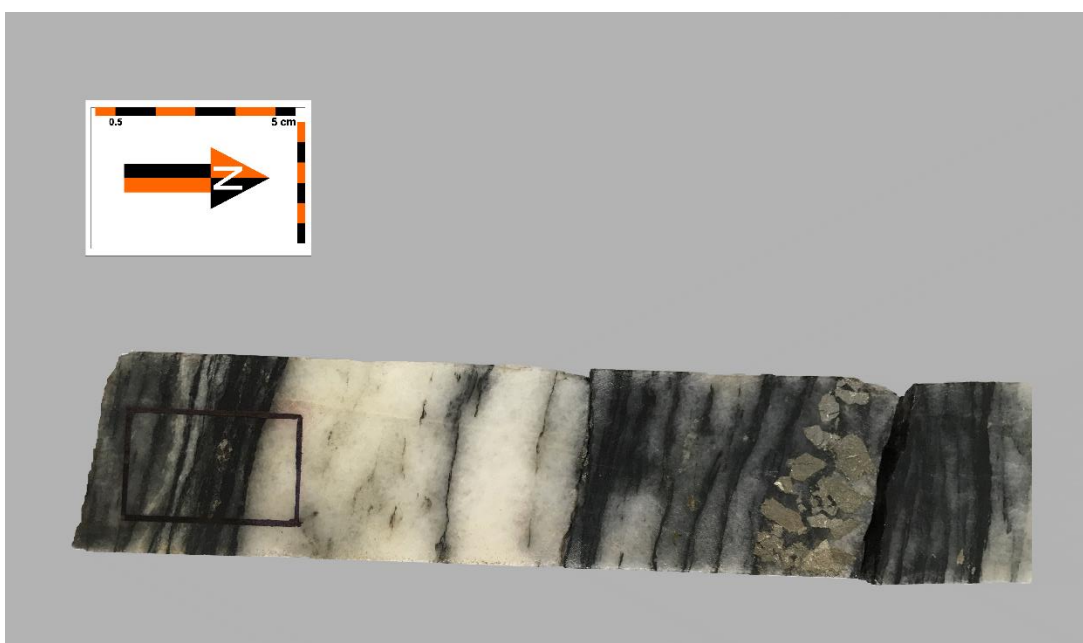


Figura 28: Amostra dos testemunhos do veio de quartzo massivo (VQZ). Ocorrências de níveis maciços de Apy grossa são mais raros.

Ao microscópio é visto que se trata de um veio de quartzo-carbonato com fragmentos de filito carbonoso. Quartzo deformado, recristalização abundante, venulações ricas em carbonato, biotita, clorita, plagioclásio compõem o veio. Níveis carbonosos ricos em opacos (principalmente arsenopirita, pirrotita e ouro livre), biotita e clorita, com carbonato e plagioclásio secundários. Inclusões de quartzo arredondado em carbonato sugere uma segunda geração de quartzo dissolvendo os carbonatos pretéritos.

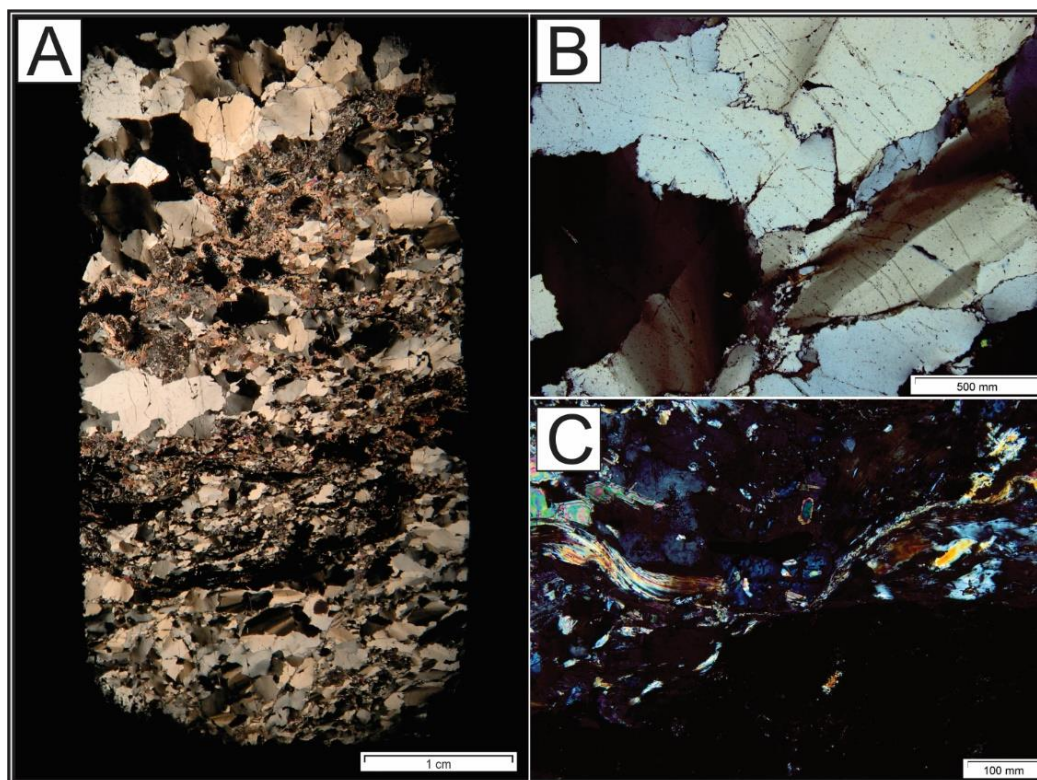


Figura 29: Veio de quartzo massivo (VQZ) sob microscópio. A: Lâmina sob polarizadores cruzados. Fragmento alongado de GXN ocorre na porção inferior da lâmina marcando uma diferença textural nos cristais de qtz+cb; B: Contatos evidenciando dissolução por pressão em cristais de quartzo; C: Cloritização intensa com cristais de carbonato remanescentes (a esquerda).

O **quartzo** ocupa aproximadamente 50% da lâmina. Cristais anédricos, deformados e alongados paralelos à foliação principal. O tamanho de grão varia muito, de 0,1 mm (fragmentos de dissolução nas vênulas) até 4 mm (quartzo recristalizado afastado dos níveis carbonosos), com moda de 0,5 mm. Os cristais tendem a ficar menores conforme se aproxima dos níveis carbonosos. Recristalização nas bordas e extinção ondulante são abundantes, com limites do tipo estilolito e comumente policristalinos nos contatos entre cristais e adjacências. Contatos interlobados e engolfamentos em cristais de carbonato sugerem dissolução e substituição.

A **biotita** totaliza aproximadamente 7% da lâmina. Concentrada no nível rico em matéria carbonosa, possui hábito anédrico a subédrico formando raros *mica-fish*. Medem 0,2 mm em moda e possui textura lepidoblástica incipiente. Apresentam

cloritização abundante podendo estar completamente substituídas ou a formar coronas de reação e agregados finos de orientação caótica. Possui contatos retos e bem definidos com quartzo, contatos irregulares e interlobados com carbonato, sugerindo desequilíbrio químico.

A **clorita** ocorre em aproximadamente 10% da lâmina. Concentrada no nível carbonoso, é principalmente fruto da alteração da biotita. Ocorre como cristais isolados, aglomerados ou como bordas de reação em biotita. Medem 0,2 mm em moda, chegando a medir até 0,5 mm. Quando acompanhada de carbonato, formam cristais grandes. É comum a ocorrência de sulfetos e raras gotas de ouro inclusas ou associadas à clorita.

O **carbonato** ocupa aproximadamente 7% da lâmina. Com cristais anédricos, medem 0,4 mm em moda, por vezes formam aglomerados com textura mais fina sugerindo que sejam pseudomorfos e, em outros locais, apresentam textura granoblástica poligonal ou cristais muito grandes (até 1 mm). Formam engolfamentos no quartzo, sugerindo dissolução. Também ocorrem preenchendo e expandindo os espaços intrafoliares da biotita (já cloritizada). Quando associados a clorita, quase sempre possuem sulfetos e/ou gotas de Au como inclusões ou nas adjacências.

A **mica branca** perfaz aproximadamente 1% da lâmina. Subédricas a anédricas, ocorrem dispersas por toda a lâmina, medindo 0,1 mm em moda, ocorrem junto a agregados de biotita+clorita ou preenchendo fraturas oblíquas à foliação principal e espaços inter-cristais. No nível carbonoso ocorre associada ao carbonato e plagioclásio.

As ocorrências de **plagioclásio** totalizam aproximadamente 3% da lâmina. Anédricos, geralmente resquícios da substituição por carbonato, medem 0,2 mm em moda chegando até 0,5 mm e possuem as maclas da albita e do tipo periclina.

Dentre os minerais opacos a **arsenopirita** é o sulfeto mais abundante na lâmina e ocupa aproximadamente 3% da lâmina. Ocorre como cristais anédricos a subédricos com alguns cristais tendendo a euedria. O tamanho varia desde pequenas gotas com 0,01 mm até grandes cristais com 2 mm. Possui inclusões de pirrotita (abundante), calcopirita (comum) e gotas de ouro (abundante) e geralmente ocorre associada a clorita. Os limites retos e bem definidos sugerem equilíbrio com a pirrotita, porém sugere situação de desequilíbrio com calcopirita ou Au livre.

A **pirrotita** é o segundo sulfeto mais abundante na lâmina, aproximadamente

2%. O tamanho varia entre 3 mm e 0,02 mm, com moda de 0,2 mm. Anédrica, ocorre associada a matéria carbonosa e a clorita, majoritariamente como inclusão em arsenopirita, como cristais grandes em contato com Apy ou como pequenas fitas contornando a matéria carbonosa (primária?). Há uma ocorrência de inclusão de ouro em pirrotita em toda a lâmina, com 0,02 mm próxima a borda.

A **calcopirita** ocupa aproximadamente 1% da lâmina. Anédrica, mede 0,07 mm em moda alcançando até 0,2 mm. Ocorre associada à pirrotita como inclusões e nos limites da mesma. Por vezes engloba pequenos cristais de pirita dispersos.

A ocorrência de **pirita** (< 1%) da lâmina estão associadas a pirrotita, carbonato e clorita. Anédrica a subédrica, mede entre 0,1 mm e 0,4 mm. Contém raras inclusões de calcopirita.

O **ouro** totaliza aproximadamente 2% na lâmina, concentrado no nível carbonoso. Mede entre 0,01 mm até 0,2 mm. Gotas isoladas ocorrem relacionadas a clorita (comum) e/ou carbonato (raro). Há ocorrências raras de pequenas gotas associadas ao material carbonoso com clorita na vizinhança. Há uma gota muito grande de ouro com formato amebóide, isolada, substituindo quartzo grosseiro, mede 0,4 mm.

5.3.5 Quartzo-Biotita-Muscovita-Granada Xistos (GNCX)

O GNCX é a litologia indicadora da base da estrutura mineralizada (Estrutura III) e encontra-se logo abaixo da zona mineralizada. Apresenta forte hidrotermalismo, porém não apresenta nenhuma mineralogia de minério tampouco teores auríferos consideráveis. A ocorrência mais profunda desta litologia encontra-se a 1434,52 m de profundidade e denota a porção mais profunda do corpo Flamboyant.

Macroscopicamente o GNCX apresenta cor cinza-esverdeada (Figura 30). Apresenta silicificação em níveis variados nos diferentes furos amostrados. Possui intercalações com níveis finos cinza-escuros mais ricos em material carbonoso, textura fina com porfiroblastos de cloritóide grossos dispersos em quantidades variáveis dentro do pacote. A ocorrência de lâminas centimétricas de GXN e MG são comuns. Ocorrem porfiroblastos de granada submilimétrica, subédricas, dispersos e abundantes assim como biotita fina dispersa.

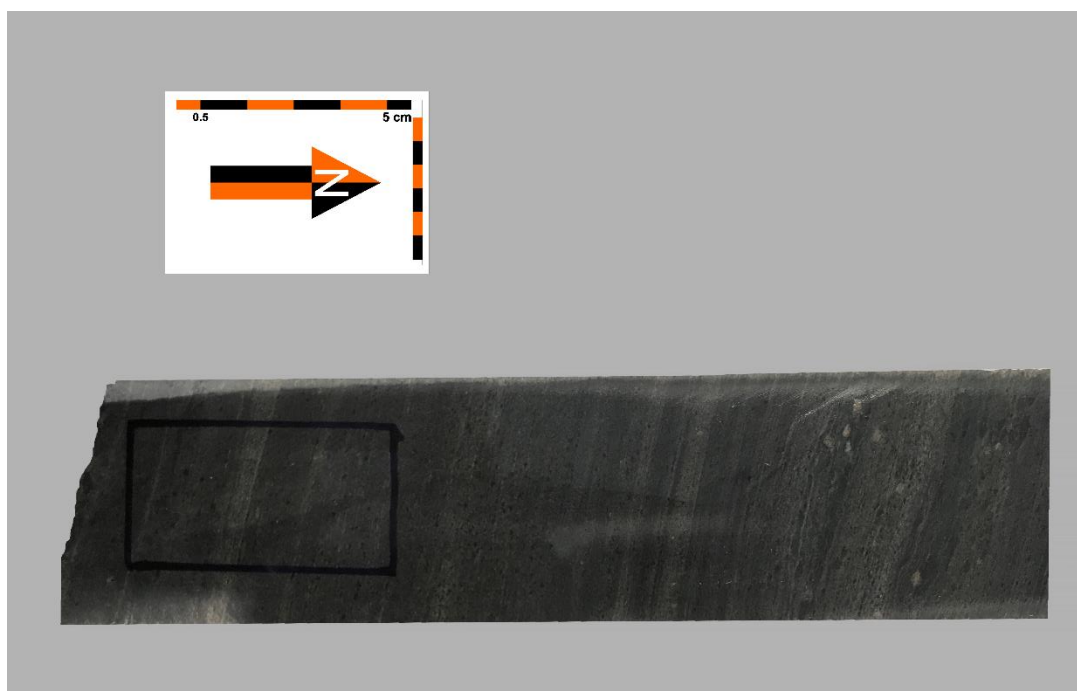


Figura 30: Amostra dos testemunhos de quartzo-biotita-muscovita-granada xisto (GNCX). Porfiroblastos de granada e biotita são abundantes.

Ao microscópio é possível notar caráter heterogêneo, com dois setores distintos (Figura 31): setor I, silicificado, com material carbonoso abundante, com biotita parcial ou totalmente cloritizada, biotita com lamelas esparsas, granada comum

e dispersa pelo setor com indicadores de rotação dos cristais, bolsões e vênulas de quartzo+clorita. O setor II possui granada e biotita em grande abundância, clorita subordinada, venulações e bolsões de quartzo são mais raros e agregados de quartzo+biotita intercrescidos são comuns. Raras ocorrências de anfibólio.

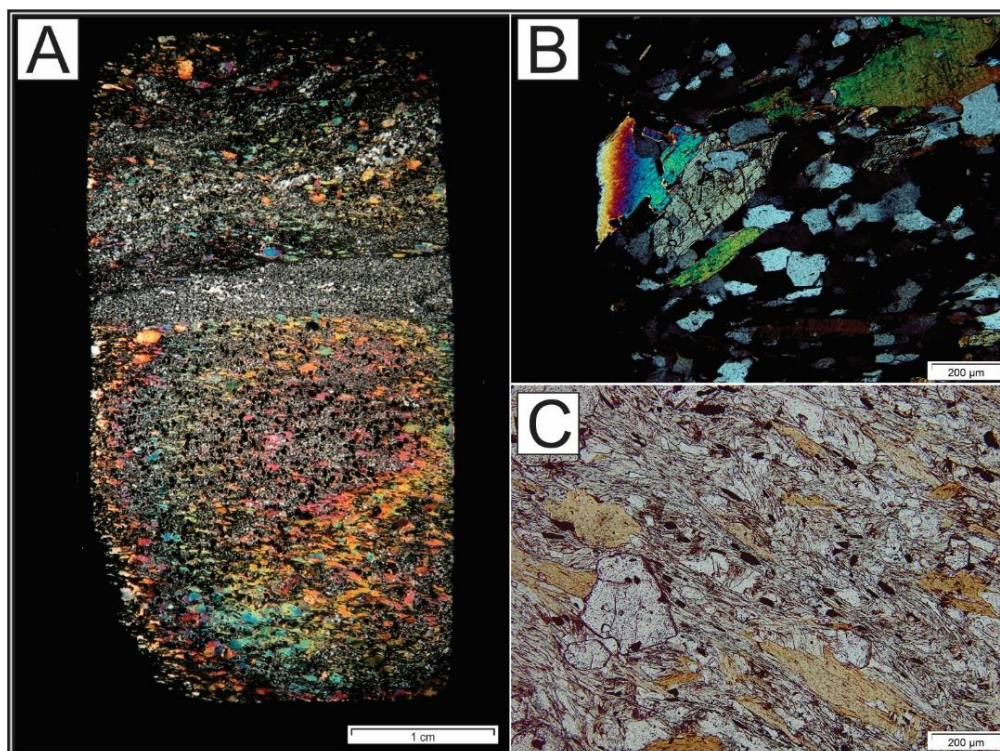


Figura 31: Quartzo-biotita-muscovita-granada xisto (GNCX) sob microscópio. A: Lâmina toda sob polarizadores cruzados. É evidente a dominância de biotita nos dois setores da lâmina; B: Cristal remanescente de actinolita sugerindo que a sequência de rochas foi submetida a condições de fácies anfibolito; C: Clorita marcando a S_{n+1} e como alteração das bordas da biotita mais grossa.

- No setor I:

A **biotita** perfaz aproximadamente 15% do setor. Anédricos a subédricos, os cristais que constituem a trama da rocha medem 0,1 mm em moda, estão orientados segundo a foliação principal e raros cristais formam *mica-fishes* quando intersectados pela S_{n+1} . Os cristais grandes medem entre 0,5 mm e 1 mm, são anédricos e estão relacionados às venulações de quartzo, comumente intercrescidos com quartzo e com

inclusões de granada.

A **clorita** ocupa aproximadamente 30% do setor. Anédrica a subédrica medem 0,05 mm em moda, atesta textura lepidoblástica a rocha, estão orientadas segundo a foliação principal, comumente defletida pela foliação S_{n+1} . É fruto da alteração da biotita, comumente contendo restos da mesma dentre os agregados. Circundam as granadas e evidenciam a rotação dos cristais. Estão diretamente relacionadas à precipitação de ilmenita. Nas venulações de quartzo, raros cristais ocorrem nos interstícios e com orientação caótica.

A **granada** ocupa aproximadamente 15% do setor. Euédricas, medem 0,3 mm em moda. Agregados são comuns nas porções ricas em clorita/biotita. Ocorre rodeada por biotita (comumente já cloritizada) ou como inclusões nas mesmas. Comumente possui inclusões de opacos.

O **quartzo** totaliza aproximadamente 40% do setor. Anédricos a subédricos, medem 0,05 mm em moda. Raros níveis formam quartzo fitado de tamanho similar. Os bolsões e vênulas são compostas por 90% de quartzo granoblastico poligonal com 0,2 mm em moda, com raros cristais de biotita e clorita intersticiais, é comum a presença de material carbonoso nas venulações.

- No setor II:

A **biotita** ocupa aproximadamente 30% do setor. Anédrica a subédrica, é possível separá-la em duas modas: a moda mais grossa (1 mm), está concentrada em agregados e/ou venulações, subédrica, rica em inclusões de quartzo e granada, por vezes esqueletal; a outra moda, mais fina (0,3 mm), ocorre dispersa, exclusivamente paralela à foliação principal, bastante cloritizadas e comumente circundando cristais maiores de biotita. Inclusões de ilmenita são abundantes, com orientação paralela à foliação principal.

A **clorita** perfaz aproximadamente 20% do setor. Anédrica a subédrica medem 0,08 mm em moda, atesta textura lepidoblástica a rocha, estão orientadas segundo a foliação principal, comumente defletida pela foliação S_{n+1} . É fruto da alteração da biotita, comumente contendo restos da mesma dentre os agregados. Circundam a granada e evidenciam a rotação dos cristais. Estão diretamente relacionadas à precipitação de ilmenita.

A **granada** totaliza aproximadamente 30% do setor. Subédricas a euédricas, medem 0,2 mm em moda, ocorre de forma dispersa, por vezes formando agregados. Inclusões de pirrotita, calcopirita, ilmenita e impurezas ressaltam zonações internas e rotação dos cristais. Ocorrem sempre próximas ou em contato com biotita. Comumente possuem pequenas inclusões de quartzo arredondadas.

O **quartzo** totaliza aproximadamente 20% do setor. Anédricos a subédricos, medem 0,05 mm em moda. Raros níveis formam quartzo fitado de tamanho similar.

5.4 METAMORFISMO

As rochas do Corpo Flamboyant contêm evidências de que as mesmas foram submetidas a metamorfismo de baixo grau, configurando metamorfismo de fácies xisto verde na zona da granada (almandina) em pelitos. Sob microscópio é possível identificar a paragênese metamórfica: quartzo + muscovita + biotita + granada (almandina) + clorita \pm plagioclásio \pm hornblenda. As características texturais presentes são: textura lepidoblástica (filossilicatos em geral), textura granoblástica (quartzo, carbonatos), textura porfiroblástica e poiquiloblástica (granada). Os dados acerca do metamorfismo aqui obtidos estão em consonância com os dados sobre o metamorfismo dos sedimentos pelíticos da Fm. Ribeirão das Antas (agora dividida em Fm. Ribeirão das antas – filito carbonoso – e Fm. Córrego Geral – metasiliclasticas e metagrauvas) no Grupo Crixás apresentados por Kuyumjian (1981), Magalhães (1991), Fortes (1996) e Castoldi (2015).

Powel *et al.* (1991) afirma que os fluídos mineralizantes são de origem metamórfica com condições ideais de liberação sob fácies xisto verde corroborando o modelo de ouro orogênico epigenético proposto por Groves *et al.* (1998) com pressões entre 1-3 kbar para a deposição do minério e temperaturas entre 250-350°C para os fluídos hidrotermais mineralizantes. Entre as evidências que suportam estas afirmações estão:

- Alojamento do minério em estruturas rúptil-dúcteis as quais são favorecidas logo acima dessa zona de transição de paragêneses hidratadas-anidras;

- A quantidade de veios de quartzo encontrada sugere uma grande quantidade de fluído sendo gerada durante o processo de desvolatilização;

- Os fluídos ascendem após o pico metamórfico para níveis os quais já foram submetidos às condições de fácies xisto verde;
- Diminuição abrupta da solubilidade do ouro e precipitação do minério sob temperaturas de fácies xisto verde.

5.5 HALOS DE ALTERAÇÃO HIDROTHERMAL

A alteração hidrotermal diretamente relacionada à mineralização no Corpo Flamboyant, e pode ser categorizada em três halos diferentes: halo proximal, intermediário e distal, tomando como referência o foco da mineralização aurífera (*i.e.* VQZ com sulfetação e Au livre). Os halos possuem um ou dois tipos de alteração hidrotermal predominante neles e são descritas neste trabalho como: Halo Distal (alteração com carbonatação e alteração fílica), com 27,36 m em média; Halo Intermediário (alteração potássica dominante), 15,64 m em média; e Halo Proximal (silicificação pervasiva), 5,38 m em média. Cloritização ocorre em todos os furos selecionados para estudo de forma pervasiva ou seletiva durante todo o intervalo amostrado, com exceção dos dolomitos. A intensidade da cloritização diminui conforme se afasta do halo proximal, sendo predominante logo abaixo dos níveis mineralizados (GNCX). Os teores de ouro detectados estão restritos aos halos hidrotermais e os maiores teores ocorrem dentro dos veios de quartzo do halo proximal.

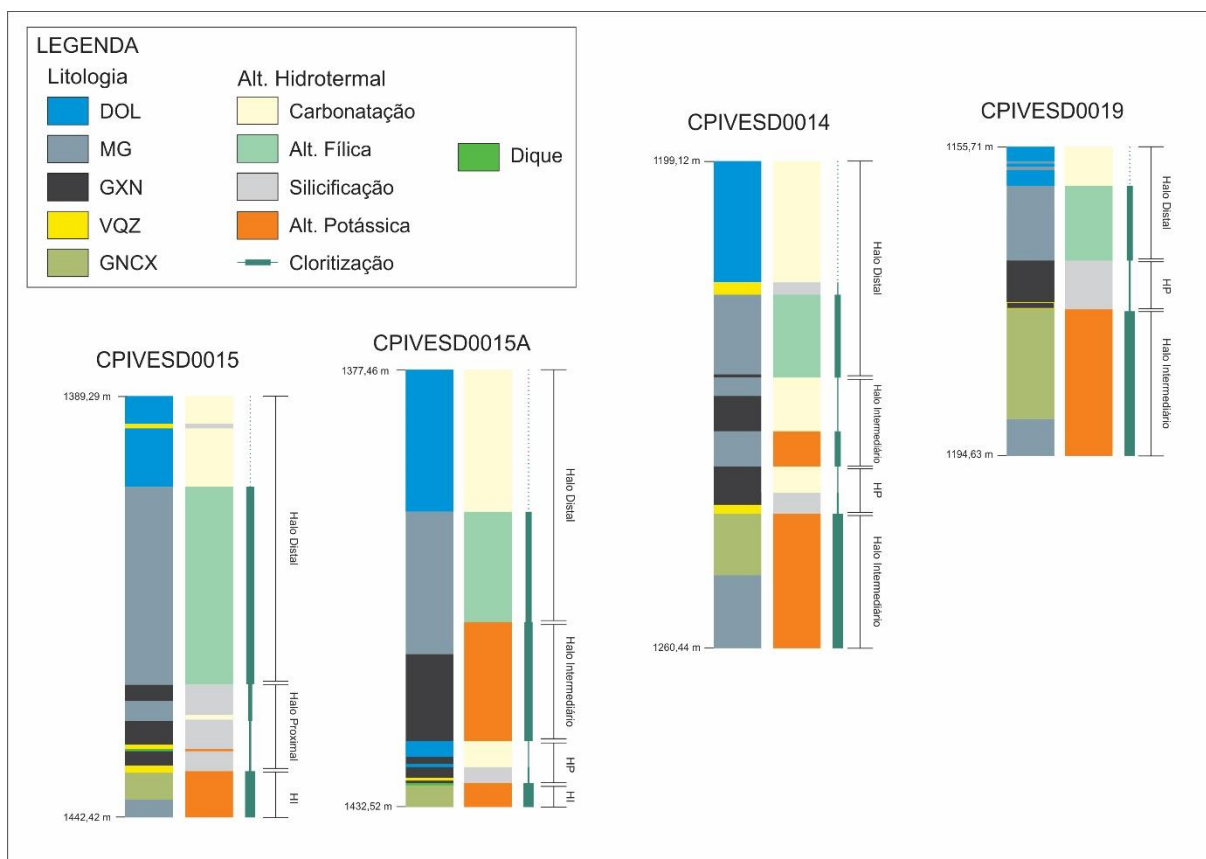


Figura 32: Visão geral da disposição dos halos hidrotermais (colunas da direita) aliados à litologia de cada furo (colunas da esquerda). HP: Halo Proximal; HI: Halo Intermediário; HD: Halo Distal.

5.5.1 HALO PROXIMAL (HP)

O Halo Proximal comporta a mineralização no Corpo Flamboyant apresentando teores altíssimos de ouro para a zona inferior do corpo. Este halo consiste da silicificação pervasiva dos filitos carbonosos (GXN) encaixantes e por vezes alcança os níveis de MG sotopostos. Nos furos que apresentam os maiores teores de ouro (CPIVESD0015, CPIVESD0015A e CPIVESD0014) a silicificação se apresenta pervasiva e na forma de veios de quartzo (VQZ). Cloritização tardia é bastante desenvolvida neste halo e possui relação com ocorrências de Au na forma livre.

O HP apresenta silicificação pervasiva e carbonatação pervasiva ou seletiva dentro do pacote de GXN e subordinadamente no limite basal dos pacotes de MG sotopostos. Principalmente na base do pacote de GXN ocorrem os veios de quartzo+carbonato (VQZ; Figura 33a) com 2,4 m em média os quais carregam grande quantidade do ouro depositado. Todavia o VQZ também ocorre em meio ao pacote de GXN e apresenta algumas ocorrências dispersas e subordinadas no pacote de MG sotoposto. Tanto a zona de silicificação+carbonatação quanto os VQZ são concordantes com a foliação principal da região.

Macroscopicamente é possível determinar a presença do HP pela silicificação das rochas encaixantes e pela presença de veios de quartzo concordantes e comumente deformados. As venulações de quartzo+carbonato presentes no pacote de GXN em geral possuem proporções milimétricas por vezes centímetros (< 5 cm). Possuem aspecto fitado, são bastante impuros e comumente estão dobradas, crenuladas e formando sigmoides (Figura 33c) e comumente estão associadas a ocorrências de arsenopirita subédrica com até 5 mm (Figura 33b).

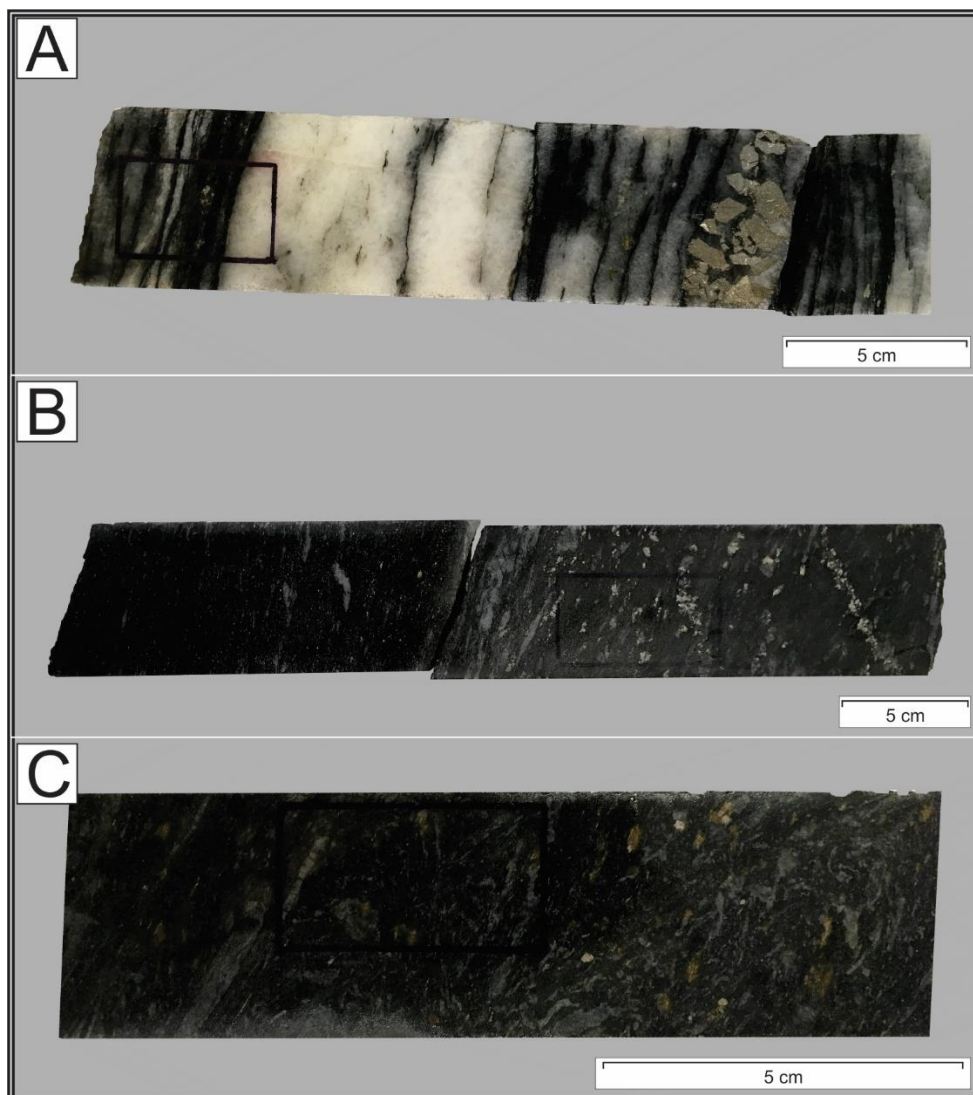


Figura 33: Amostras do Halo Proximal exemplificando as condições texturais em amostra de mão. A: VQZ com fragmentos de GXN exemplificando a porção mais interna do HP com níveis de sulfetação. O nível sulfetado contém Apy muito grossa (~ 2-3 cm); B: GXN contendo venulações de quartzo fitadas e sigmoidais além de sulfetação (Apy) disseminada; C: GXN com venulações dobradas, crenuladas e sulfetação (Apy+Po) subordinada.

Ao microscópio as rochas afetadas pelo Halo Proximal exibem uma mineralogia hidrotermal dominada por quartzo+biotita substituindo toda a fábrica da rocha encaixante tornando clara a forte atuação de silicificação associada a alteração potássica. O quartzo ocorre substituindo o material carbonoso, formando agregados alongados ou sigmoidais concordantes com a foliação principal e a alteração potássica consiste de biotita não orientada média a grossa e consequente cloritização das mesmas (Figura 34b e Figura 34d). Ocorrências isoladas de albita e mica-branca

em pequenas quantidades sugerem fraca atividade de alteração fílica no HP. Não há limites bem marcados entre os diferentes tipos de alteração hidrotermal, o que dificulta classificar sub-zonas de alteração hidrotermal dentro do HP.

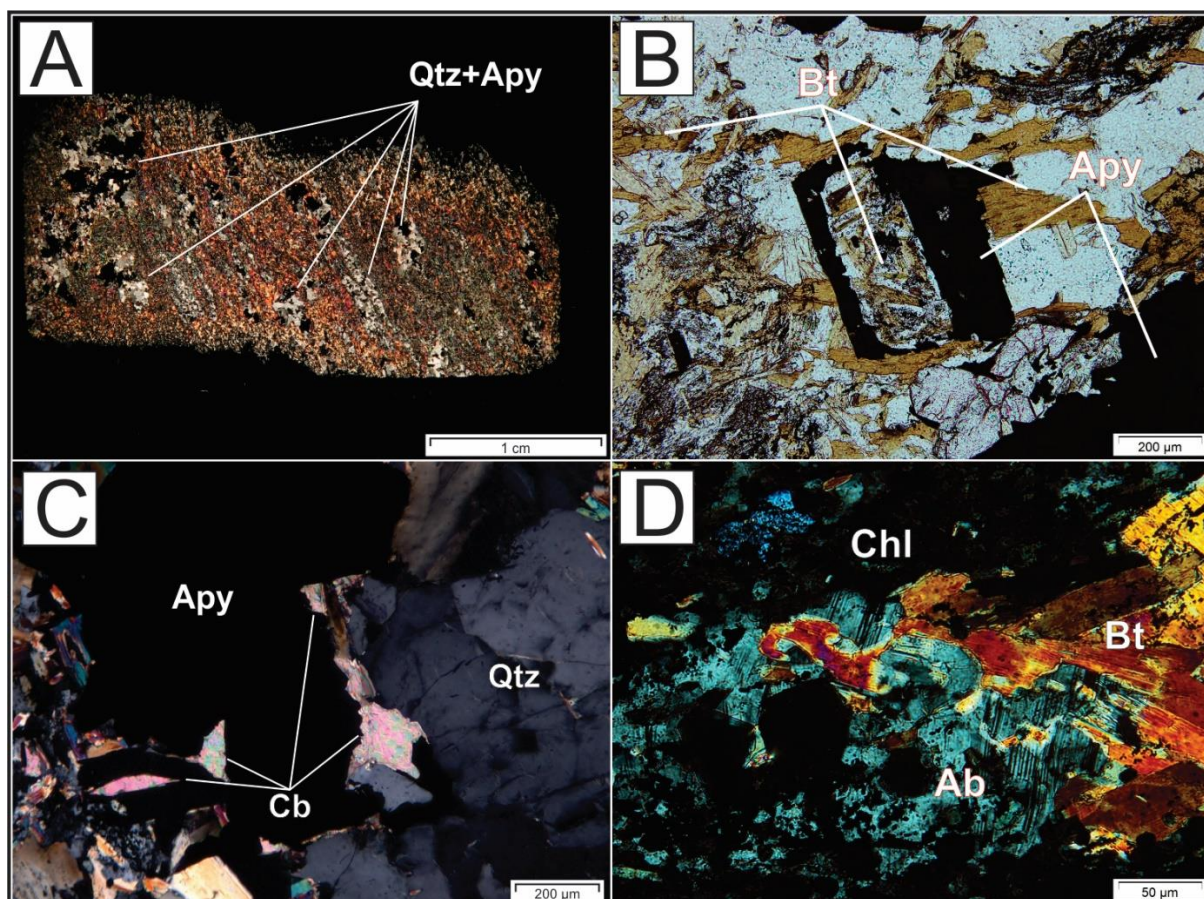


Figura 34: Mosaico ilustrando a expressão do HP sobre o pacote de GXN. A: imagem de toda a lâmina sob luz polarizada com destaque para os bolsões de Qtz+Apy lenticulares. Note a forte presença de biotita junto à silicificação; B: Ao centro, cristal de Apy pseudomórfico preenchido por Bt+Qtz; C: cristais de Cb evidenciando desequilíbrio químico com Apy; D: rara ocorrência de albita parcialmente substituída por Bt+Chl.

O VQZ é a porção mais interna do Halo Proximal, apresentando fragmentos milimétricos a centimétricos de GXN ao longo do intervalo amostrado. Macroscopicamente o VQZ apresenta clara relação entre a precipitação de sulfetos, Au livre e a presença de fragmentos de GXN. Alteração potássica ocorre de forma subordinada, associada ao material carbonoso com intensa cloritização tardia da biotita (Figura 35b). Albite ocorre em pequenas quantidades e sempre parcialmente ou

quase completamente alteradas para carbonato (Figura 35c). Comumente é possível encontrar gotas ou engolfamentos de quartzo nos cristais de carbonato, evidenciando desequilíbrio e substituição do último pelo primeiro (Figura 35Figura 35d).

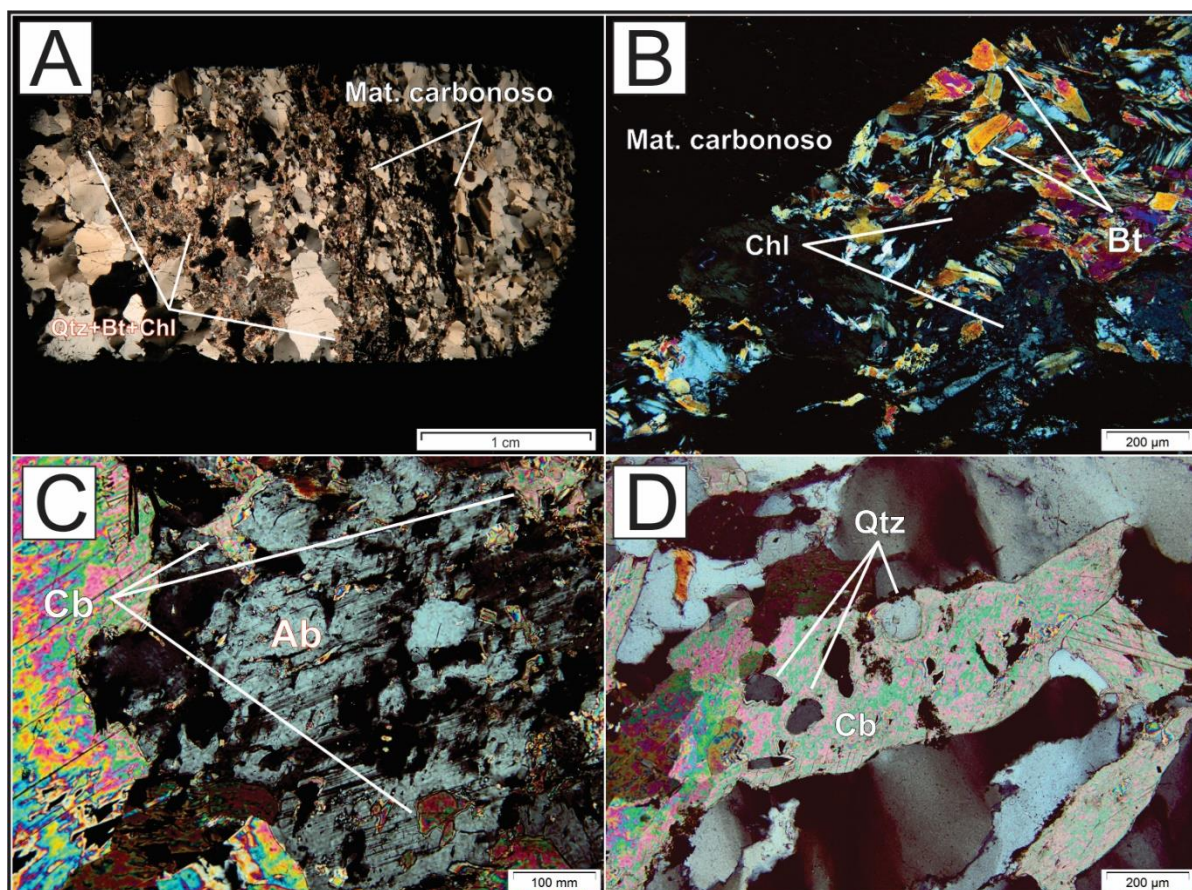


Figura 35: Fotomicrografias do VQZ, porção mais interna do HP. A: Imagem da lâmina sob luz polarizada destacando os fragmentos de material carbonoso e as regiões com alteração potássica conspícua; B: Alteração potássica adjacente ao material carbonoso com cloritização intensa da biotita; C: Cristal de albita sendo parcialmente substituída por carbonato. As manchas pretas irregulares são buracos deixados por cristais de carbonato removidos durante a confecção da lâmina; D: Imagem ilustrando as substituições e engolfamentos de quartzo sobre carbonato ilustrando o desequilíbrio químico.

5.5.2 HALO INTERMEDIÁRIO (HI)

O Halo Intermediário ocorre logo em contato sotoposto e sobreposto ao Halo Proximal. É caracterizado pelo domínio de alteração potássica e cloritização das porções mais ao topo do pacote de GXN, a porção mais basal do pacote de MG (intercalando com silicificação) e todo o pacote de GNCX logo abaixo dos VQZ. O halo não apresenta teores econômicos de ouro.

Macroscopicamente o HI tem como característica principal a presença de agregados de biotita associados à ocorrência de pirrotita fina anédrica ou pirrotita muito fina em agregados submilimétricos. Os agregados de Po+Bt são mais recorrentes dentro do pacote de GXN, porém ocorrem também na MG. No GNCX a biotita comumente está associada a presença de cloritóide nematoblástico.

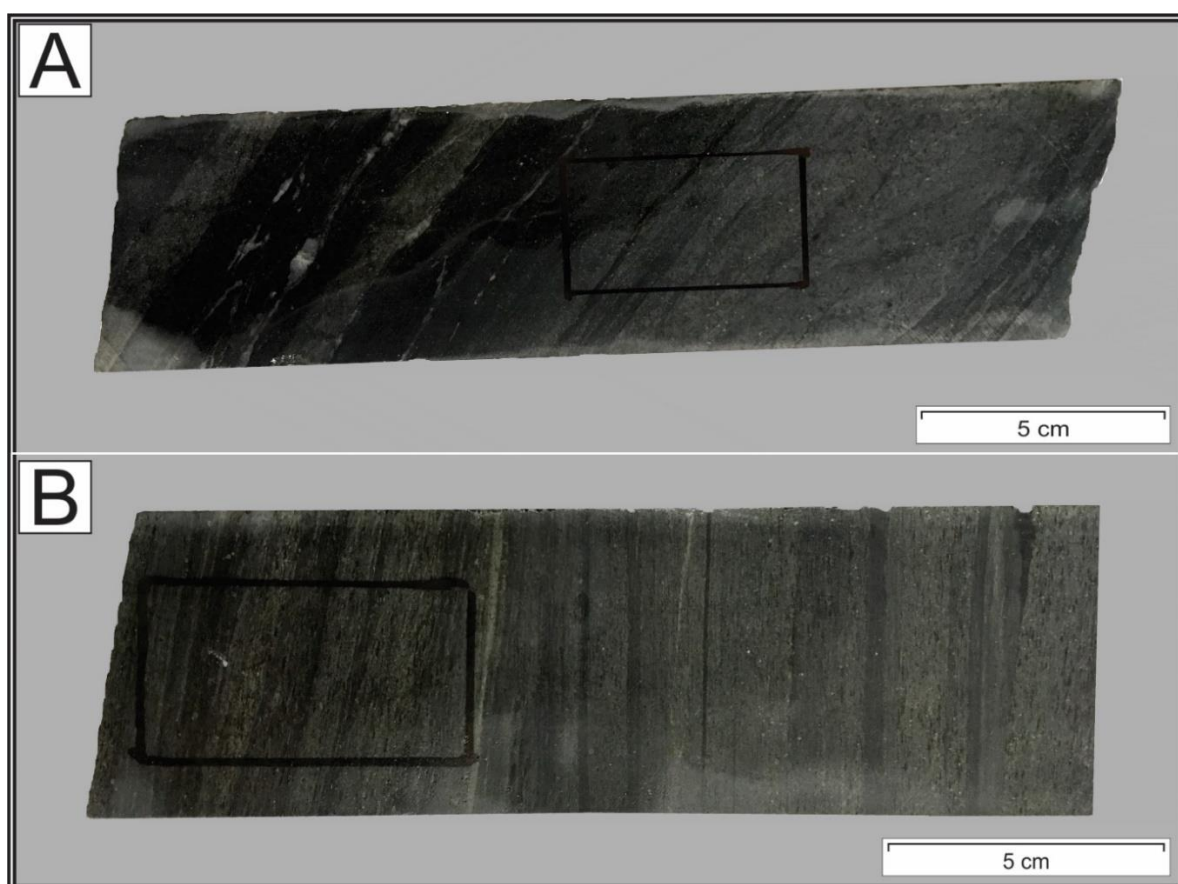


Figura 36: Amostras de testemunho do Halo Intermediário. A: MG adjacente ao Halo Proximal com pequenas venulações de Qtz+Cb e agregados de Po+Bt muito pequenos à esquerda da marcação; B: GNCX sotoposto ao HP com biotita lepidoblástica conspícua dentro da área marcada e tom esverdeado gerado pela presença de clorita.

Ao microscópio é possível notar a dominância de alteração potássica pervasiva ou seletiva nas rochas encaixantes (Figura 37a). A mineralogia do Halo Intermediário consiste basicamente de biotita lepidoblástica com intensa cloritização (Figura 37c e Figura 37d). Há também a ocorrência de bolsões de quartzo granoblástico com fragmentos de material carbonoso indicando presença subordinada de silicificação no HI. Os cristais de biotita próximos aos bolsões e venulações de quartzo são maiores e comumente poiquiloblásticos (Figura 37b).

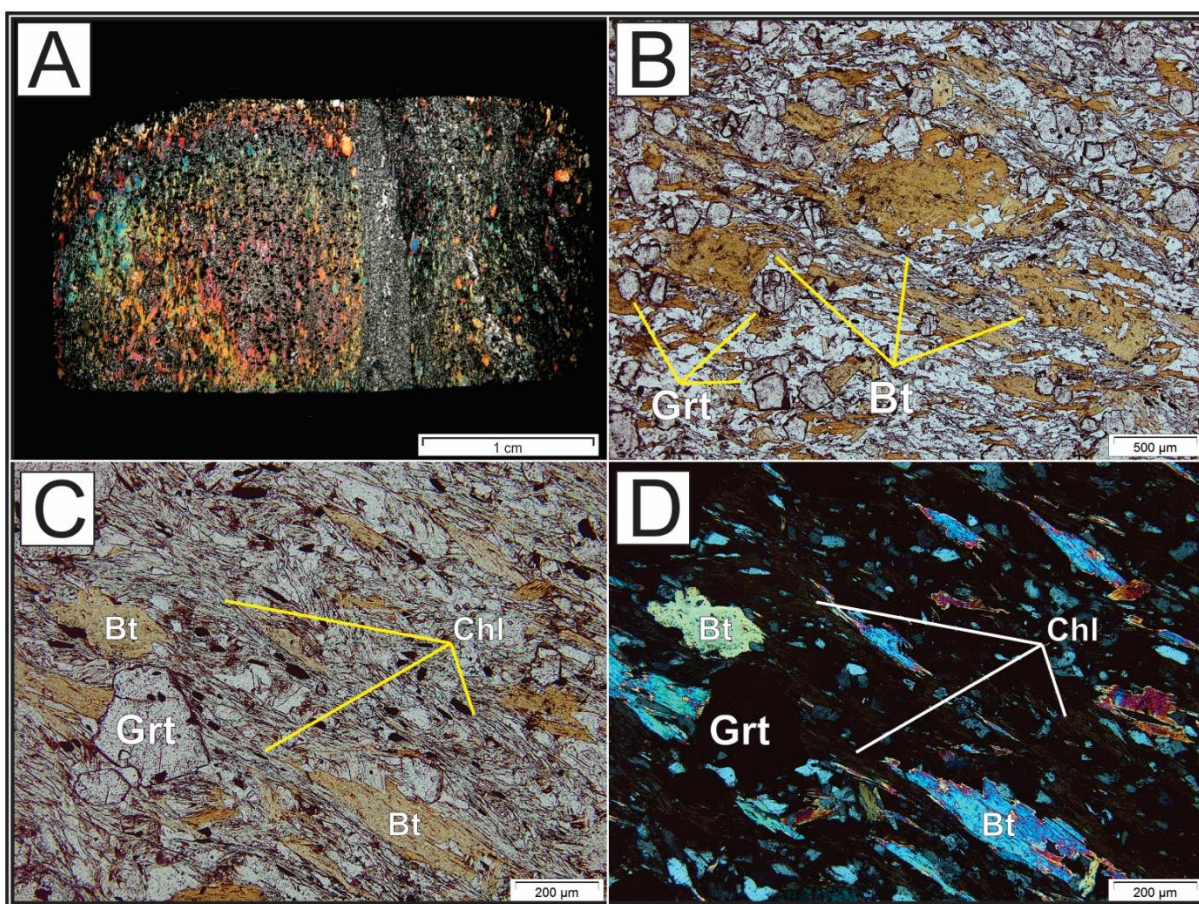


Figura 37: Fotomicrografias do GNCX ilustrando o Halo Intermediário. A: Foto da lâmina toda sob luz polarizada evidenciando o caráter seletivo da alteração potássica sobre a rocha com dois setores distinguíveis pela quantidade de biotita (tons coloridos). Note o bolsão de quartzo na porção a direita da lâmina; B: Ocorrência dos dois tipos de biotita presentes do HI, uma lepidoblástica paralela à S_{n+1} e a outra poiquiloblástica com inclusões de Qtz+Grt; C e D: Clorita lepidoblástica abundante como fruto da alteração da biotita sob luz plano-polarizada e sob polarizadores cruzados, respectivamente.

5.5.3 HALO DISTAL (HD)

O Halo Distal neste trabalho foi identificado ocorrendo somente nas porções mais rasas dos furos selecionados para estudo. No HD ocorrem alteração fílica, mais próxima ao Halo Intermediário, e alteração de carbonatação, já no limite entre a Zona Inferior do Corpo Flamboyant. O HD tem o predomínio de carbonatação no topo da Zona Inferior próximo aos dolomitos que separam a mesma da Zona Superior. Logo abaixo da zona de carbonatação a alteração fílica predomina e só é possível identificá-la com clareza sob microscópio.

Macroscopicamente o Halo Distal fica evidente nos intervalos em que a alteração de carbonatação domina, sendo essa pervasiva ou seletiva (Figura 38a). A alteração de carbonatação ocorre no pacote de MG e GXN sobrepostos ao VQZ e consiste da substituição, precipitação e formação de nódulos de calcita com até 1 mm (Figura 38b) o que torna a rocha facilmente distinguível das zonas silicificadas. Outra característica diagnóstica da zona de carbonatação é a facilidade com que as rochas são riscadas, atestando a carbonatação pervasiva das rochas mesmo quando na ausência de nódulos visíveis de calcita. A alteração fílica é difícil de ser identificada em amostras de mão, raros níveis centimétricos (<2 cm) apresentam abundância em mica-branca. O HD não possui limites bem definidos com o Halo Intermediário, sendo comum a ocorrência de agregados de biotita junto das zonas de carbonatação e alteração fílica.

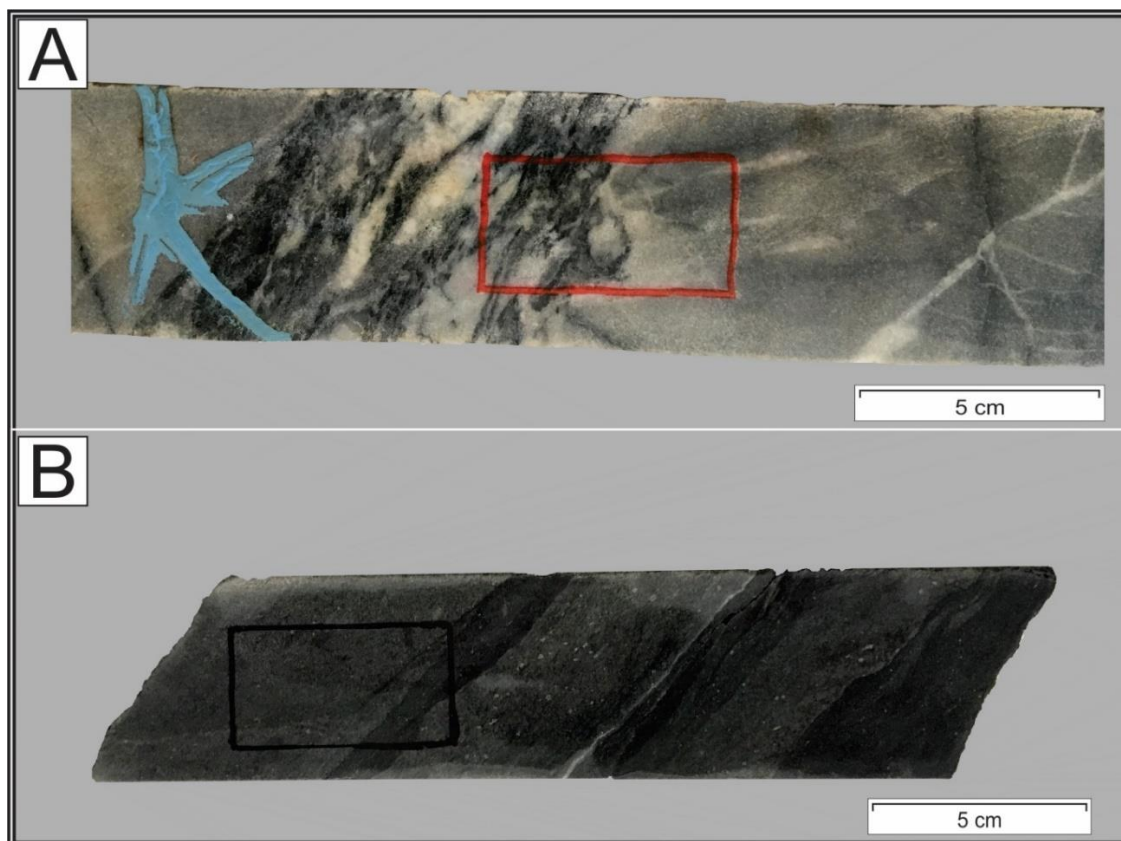


Figura 38: Amostras do Halo Distal ilustrando a carbonatação no DOL e na MG. A: DOL com veio de Cb+Qtz com fragmentos de material carbonoso ilustrando o caráter, por hora, seletivo da alteração de carbonatação; B: MG com carbonatação pervasiva da rocha. É possível ver os pequenos nódulos de calcita (pontos brancos) e a fina venulação de calcita.

Ao microscópio fica evidente a atividade de alteração fílica no pacote de MG dentro do Halo Distal. A rocha apresenta muscovita lepidoblástica como o filossilicato dominante paralela à foliação S_{n+1} (Figura 39c). É comum a ocorrência de bolsões de quartzo ricos em mica-branca e crenulados. Clorita fina (0,2 mm) e biotita glomeroporfirítica subordinada (Figura 39d) ocorrem associadas aos bolsões de quartzo hidrotermal.

No DOL é possível notar que a alteração de carbonatação carrega consigo pequenas quantidades de quartzo formando venulações ou bolsões de quartzo (< 4 mm) ricos em mica-branca intersticial. É possível diferenciar a paragênese hidrotermal pelos contatos entre os cristais que são geralmente arredondados, formando engolfamentos ou como gotas substituindo os cristais da fábrica da rocha encaixante (Figura 39b).

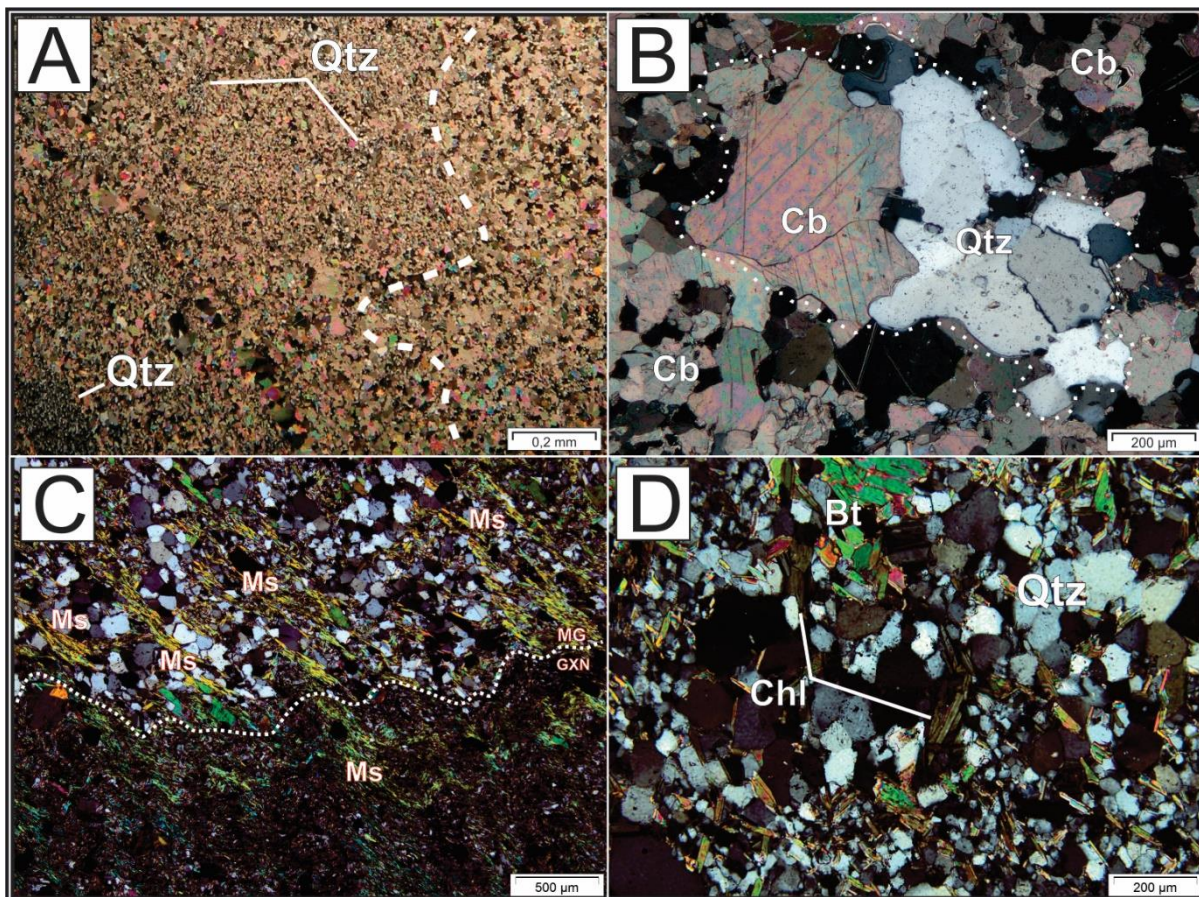


Figura 39: Fotomicrografias das lâminas de DOL e MG ilustrando as alterações presentes no Halo Distal. A: Imagem ampla do DOL indicando o limite entre a região hidrotermalizada e a rocha encaixante. Estão destacados os maiores bolsões de quartzo hidrotermal; B: Imagem destacando a geometria dos minerais hidrotermais dissolvendo e substituindo os minerais da rocha encaixante; C: Imagem ilustrando a distribuição da Ms paralela à S_{n+1} e abundância variável entre o nível siliciclástico e o nível carbonoso; D: Imagem dos bolsões de Qtz hidrotermal e a ocorrência associada de Bt+Chl.

5.6 MINERALOGIA DO MINÉRIO

A mineralogia do minério presente no Corpo Flamboyant possui comportamento semelhante aos demais corpos mineralizados da Estrutura III. Os minerais de minério que compõem o Corpo Flamboyant são: arsenopirita (Apy), pirrotita (Po), pirita (Py), calcopirita (Cpy), ilmenita (Ilm) e ouro (Au). As quantidades variam de <1% até 7% nos furos de sondagem amostrados. Estes minerais possuem comportamento bastante irregular ao longo do corpo de minério tal que as proporções modais e a forma de ocorrência são diferentes nos quatro furos amostrados. Nas zonas mineralizadas o furo CPIVESD0014 há a ocorrência de níveis maciços de Apy grossa com 3 cm de espessura no VQZ. Nos furos CPIVESD0015 e CPIVESD0015A há a ocorrência de Apy e gotas de Au livre associada aos fragmentos de GXN inclusos no VQZ. No furo CPIVESD0019 a Apy ocorre disseminada no GXN silicificado como cristais subédricos de Apy (2 mm).

A Apy é o principal guia prospectivo para Au na região. Os maiores teores de ouro detectados estão intimamente associados a níveis ricos em Apy, uma vez que a mesma carrega ouro na sua estrutura, na forma de inclusões ou como gotas de Au livre associadas. Os cristais medem entre 0,01 mm até 2 mm com ocorrências excepcionais alcançando até 2 cm (Figura 40Figura 40a). Os cristais grandes (> 2 mm) são majoritariamente subédricos a euédricos e intimamente associados à silicificação ao passo que os cristais mais finos (< 2 mm) são geralmente subédricos e, por vezes, sigmoidais ou “fitados” (Figura 40b). A presença de Apy euédricas dentro dos fragmentos de GXN corroboram a ideia de que a mesma se formou durante a formação do VQZ, característica também relatada nos corpos mineralizados da Mina III (Castoldi, 2015 ; Fortes, 1996).

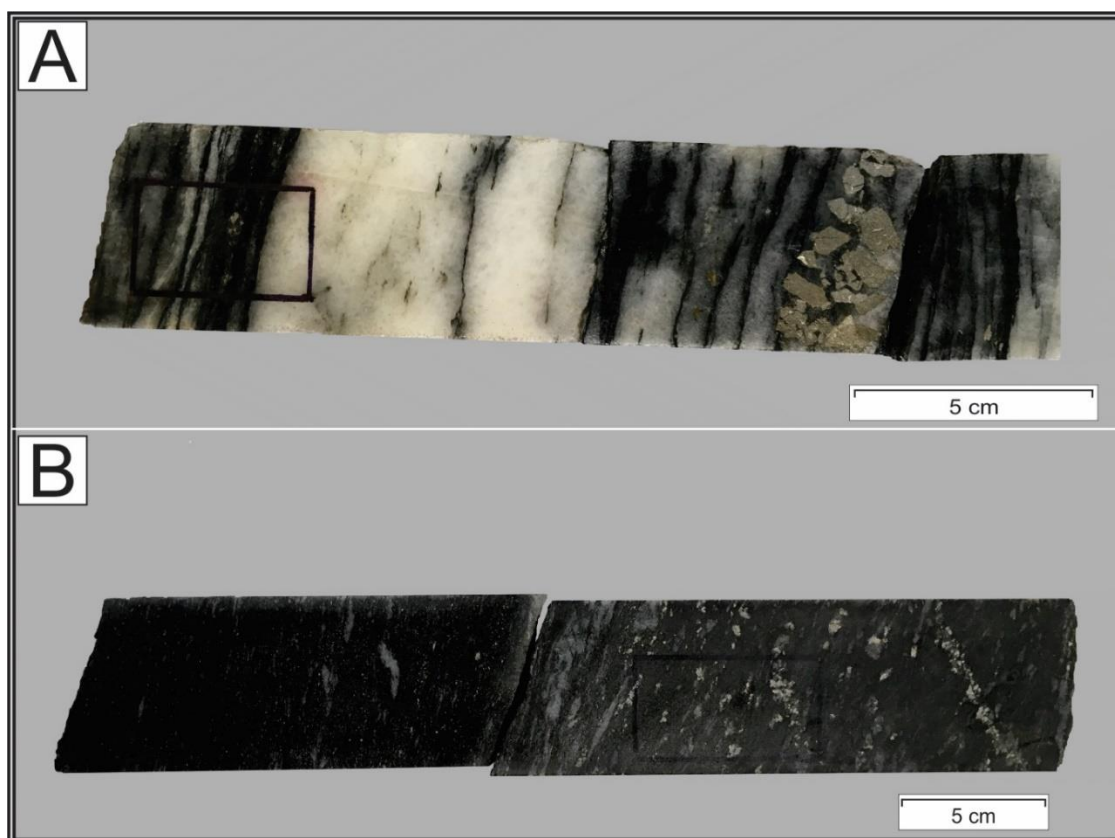


Figura 40: Sintetização das várias formas de ocorrência da Apy no Corpo Flamboyant. A: VQZ com nível "maciço" de Apy idiomórfica grossa (à direita) e Apy fina alotriomórfica associada a fragmentos de GXN (à esquerda); B: GXN com ocorrências de Apy mais grossa idiomórfica associada à venulações de quartzo (à direita) e Apy sigmoidal ou fitada, fina, disseminada (à esquerda).

Ao microscópio a caracterização dos minerais de minério se atentam à relação entre os diferentes minerais e as texturas que apresentam. Pirrotita ocorre em toda a zona mineralizada como cristais idiomórficos a hipidiomórficos. Ocorrem nas bordas de Apy ou como raras inclusões. Calcopirita ocorre quase exclusivamente como inclusões em Po. Pirita ocorre associada a regiões muito cloritizadas e geralmente estão próximas de gotas de Au livre (Figura 45d).

Também é possível notar que existem dois tipos diferentes de arsenopirita (ApyI e ApyII). A ApyI apresenta textura "esponjosa" rica em cavidades (Figura 41c), as quais apresentam aspecto geométrico formando retângulos e triângulos, seguindo os planos cristalográficos do cristal. Comumente este tipo de arsenopirita possui

inclusões de ouro visível em meio ao cristal ou com gotas nas bordas. Já a Apyll possui aspecto “limpo” portando raras cavidades (Figura 41a e Figura 41d), possui as faces cristalográficas bem desenvolvidas, e carrega várias microfaturas raramente preenchidas por ouro visível ou, mais comumente, com gotas de ouro nas bordas (Figura 41d). Comumente os agregados maiores de Apyll apresentam corredores ricos em gotículas alongadas e orientadas ilmenita (<0,002 mm) e não há ocorrências de Au visível associada aos cristais que apresentam estes corredores de Ilm (Figura 41b).

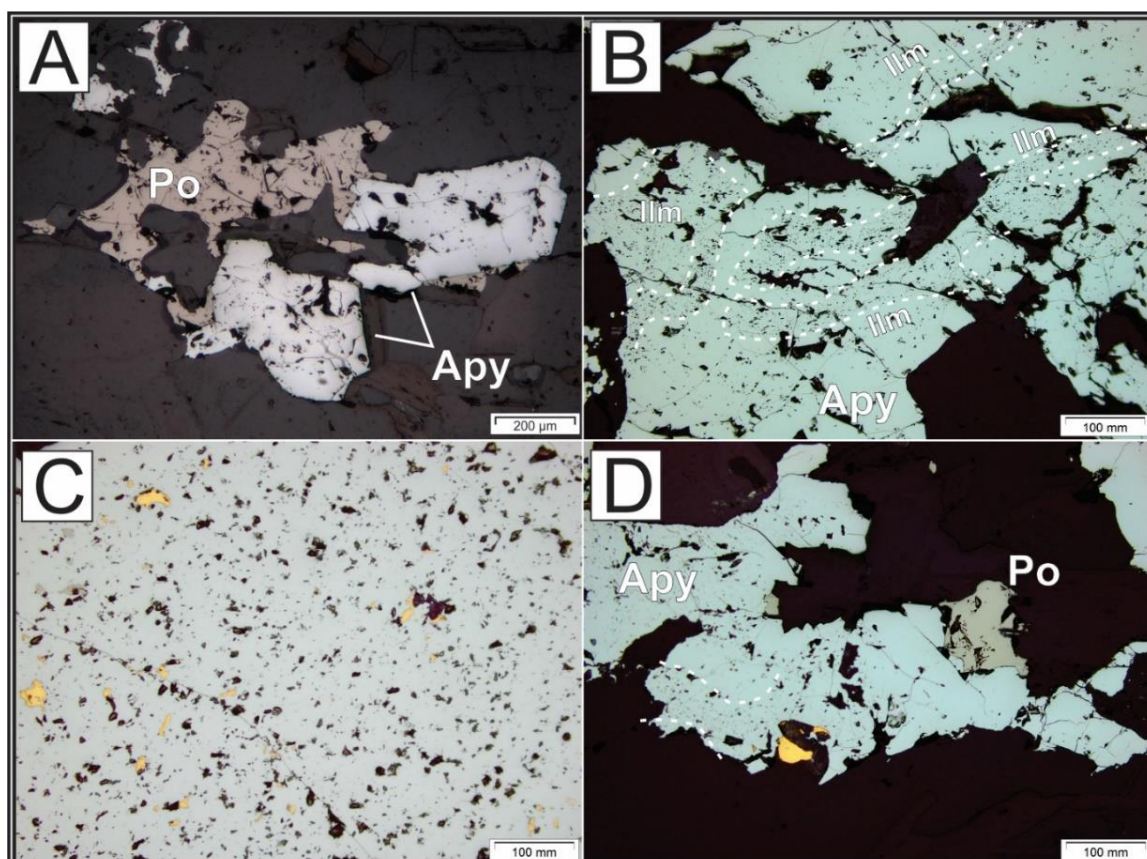


Figura 41: Fotomicrografias ilustrando as principais características da Apy no Corpo Flamboyant. A: Apyll subédrica com contatos retos com Po; B: corredores de Ilm marcando os limites da Apyll em agregados grossos de Apyll; C: gotas de Au associadas às cavidades em Apyll; D: síntese das características encontradas no Corpo Flamboyant – Apyll em equilíbrio com Po, corredores ricos em Ilm com gotas de ouro associadas.

As amostras 19-04 (GXN) e 15A-05 (VQZ) foram analisadas em MEV (Anexo II) dando enfoque para os sulfetos, óxidos próximos e para as gotas de ouro. A arsenopirita apresenta fraca a nenhuma zonação química, com fracas diferenças de

tonalidade sob imageamento BSE. A composição química das Apy obtidas por EDS varia entre $As_{33,60}Fe_{30,78}S_{30,69}$ e $As_{37,72}Fe_{33,02}S_{34,37}$. A composição média das Apy analisada é de $As_{35,40}Fe_{32,11}S_{32,39}$. Quimicamente não há diferenças significativas entre os dois tipos de Apy descritos no processo de microscopia ótica (Figura 42).

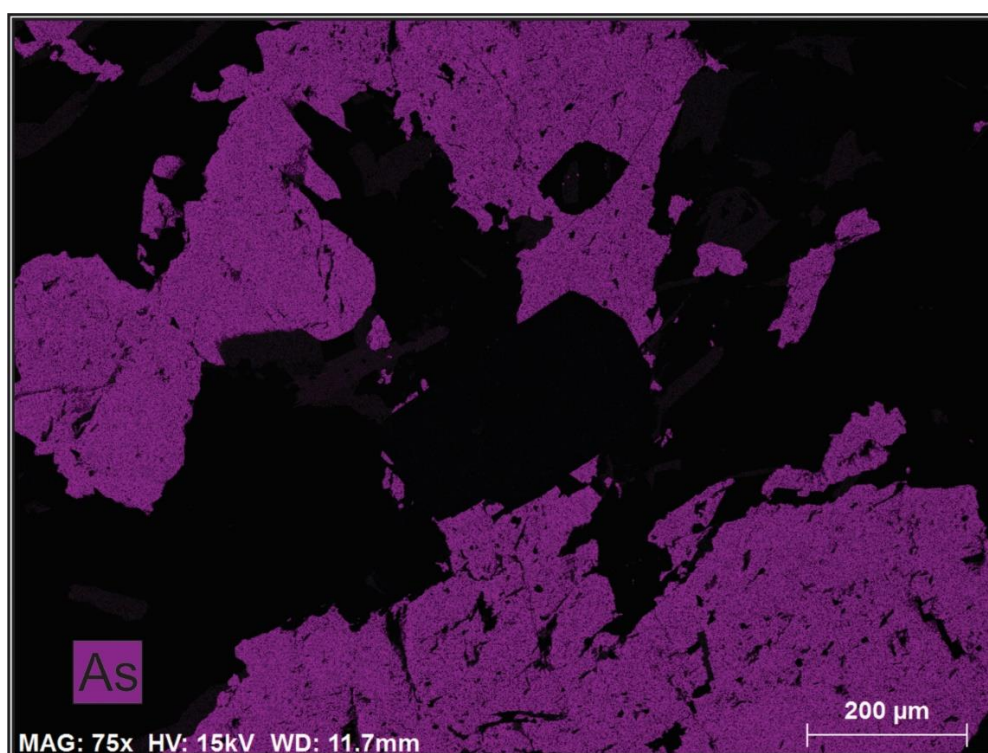


Figura 42: Mapa composicional feito a partir de análises EDS em Apy com gotas de Au visível. Não há grandes variações composicionais nas Apy do Corpo Flamboyant mesmo quando associadas à presença de Au livre.

Todavia é notado um ligeiro enriquecimento em arsênio nas ApyII, principalmente nas que ocorrem nas bordas de ApyI acompanhado de depleção em enxofre (Figura 44a). Nas Apy onde é possível identificar diferenças de tonalidades sob BSE as quantidades de As e S corroboram a idéia de que a ApyII são mais enriquecidas em arsênio (Figura 44b), porém quando já não há mais limites distinguíveis entre uma geração e outra os dados químicos também não apresentam dados que possibilitam distinguir quimicamente uma fase de Apy da outra, com Fe e As apresentando tendências com pouca ou nenhuma correlação. A relação entre As

e S é bastante clara e inversamente proporcional (Figura 43e Figura 44Figura 44c), tal comportamento se repete nos dois tipos de Apy tanto no VQZ quanto no GXN.

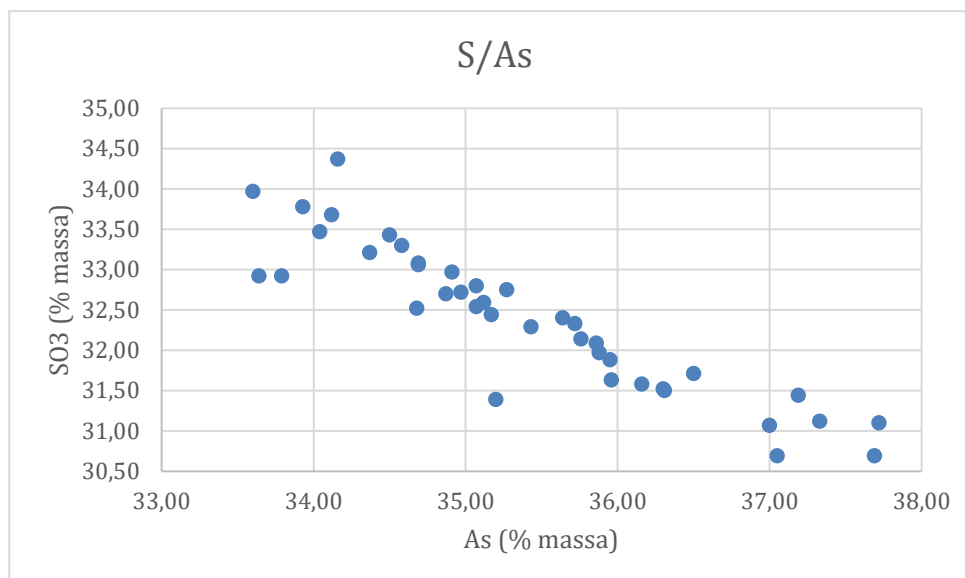


Figura 43: Razão entre S e As de todas as análises EDS realizadas (40 pontos). Não é possível identificar duas populações diferentes.

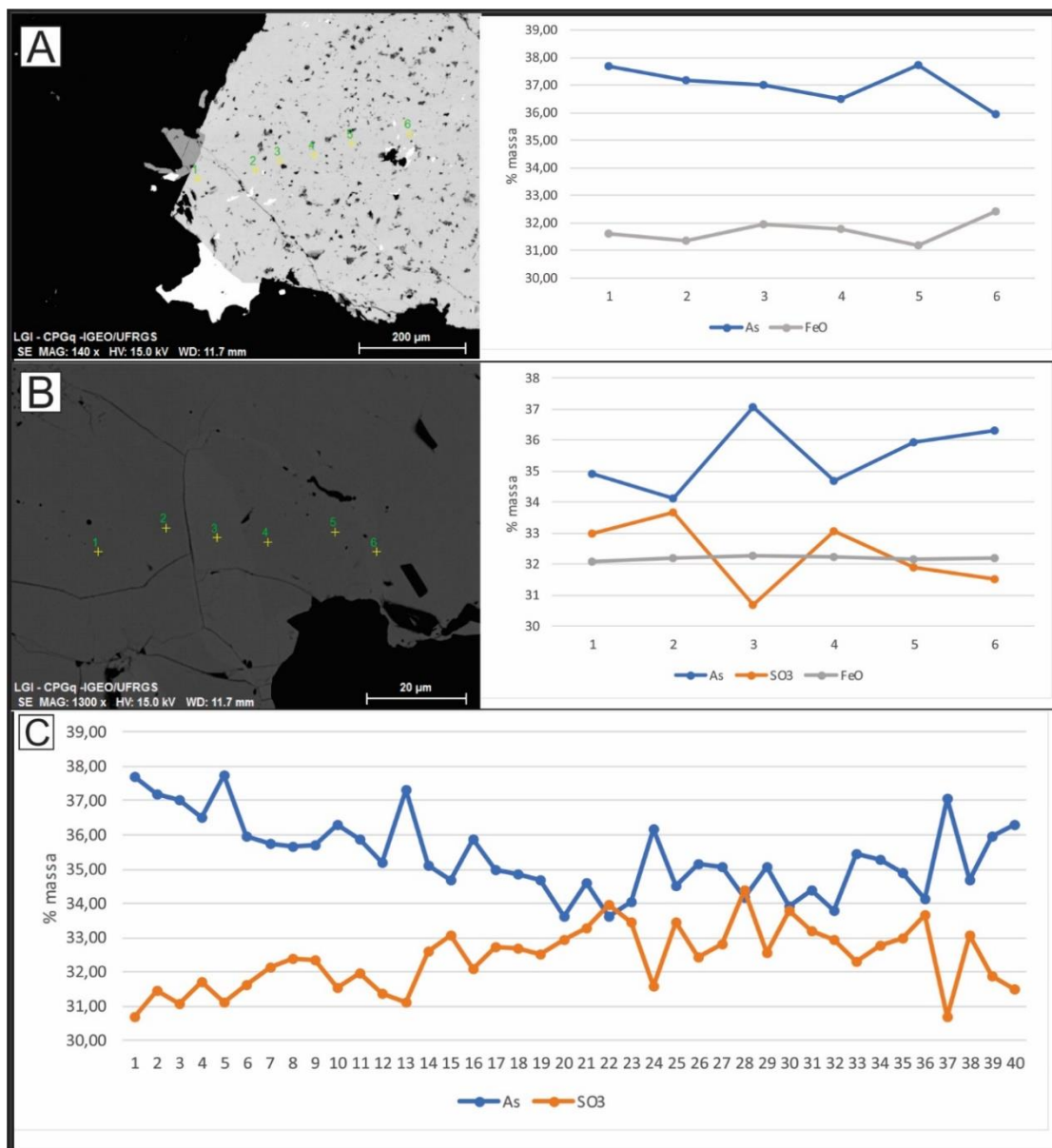


Figura 44: Resultados das análises por EDS realizadas no VQZ e GXN. A: "Perfil" cortando a zonação de ApyII nas bordas e ApyI no núcleo. Quanto mais se adentra a ApyI, menores são os teores de As; B: "Perfil" em ApyII "limpa". O gráfico evidencia a constância nos teores de Fe. O pico de As no Ponto 3 acompanha os tons mais claros na imagem BSE; C: Gráfico compilando todos os pontos analisados em Apy evidenciando o comportamento inversamente proporcional entre As e S.

O Au visível é recorrente ao longo de todo o trecho sulfetado dentro do Halo Proximal sendo essa característica responsável pelos altos teores de ouro

encontrados no Corpo Flamboyant. O Au ocorre inclusões em Apyl, geralmente acompanhados de gotas de Au livre (até 0,2 mm) nas bordas destes cristais (Figura 45a). Por vezes o Au visível ocorre preenchendo pequenas fraturas (< 0,001 mm) dentro dos cristais de Apyl próximos de limites com Apyl, aparentemente funcionando como caminho para a formação de gotas próximas a essas fraturas nas bordas dos cristais.

Ocorre tanto como inclusões em Apy quanto como na forma livre. Nos furos CPIVESD0015 e CPIVESD0015A é possível identifica-lo a olho nu dentro do pacote de VQZ, com gotas isoladas medindo até 0,4 mm (Figura 45b). Na porção marginal do Corpo Flamboyant, o furo CPIVESD0019 apresenta Au visível incluso e como grandes gotas (0,2 mm) nas bordas de Apy (Figura 45a) no pacote sulfetado de GXN (0,85 m). Apesar do Au visível ocorrer majoritariamente como inclusões ou adjacentes à Apy há também gotas de ouro livre isoladas e associadas a biotita intensamente cloritizada (Figura 45c e Figura 45d) e essa característica se repete no VQZ e no GXN.

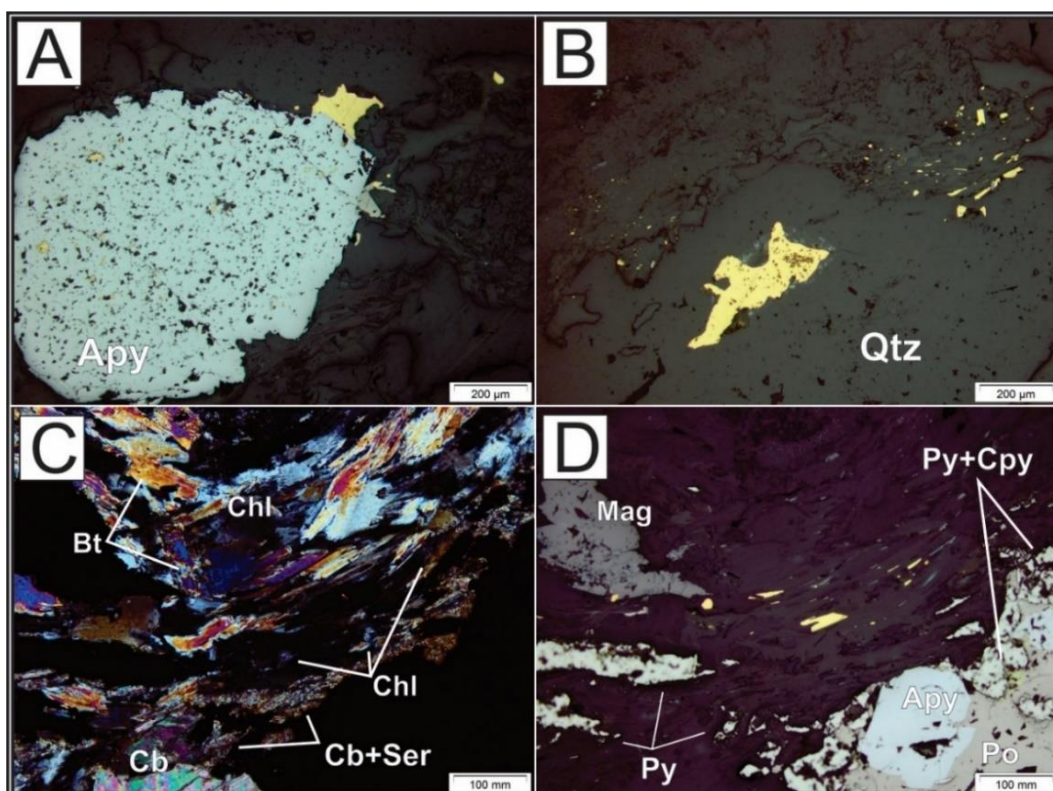


Figura 45: Fotomicrografias sintetizando as diferentes formas de ocorrência de Au visível no Corpo Flamboyant. A: Inclusões e gotas de Au nas bordas de Apy; B: Au livre em Qtz e no

canto superior direito, em Chl+Bt; C e D: característica recorrente das gotas de Au na forma livre, hospedadas em Chl+Bt e acompanhadas de Cb, Py e, por vezes, uma massa de Ser.

5.7 TEORES DE OURO

O corpo Flamboyant possui análises dos teores de ouro realizadas sistematicamente pela AngloGold Ashanti – Unidade Serra Grande. As amostras dos testemunhos de sondagem enviadas para análise variam entre intervalos de 0,8 m a 1,20 m. As análises utilizam o método *fire assay*, com limite de detecção de 0,03 ppm. Convencionalmente é utilizada a notação de gramas-de-ouro/tonelada-de-rocha (g/t) respeitando a relação dos resultados obtidos pelo *fire assay* (0,001 kg/1,000 kg – ppm). Os teores de Au encontrados no Corpo Flamboyant variam entre 0,025 g/t (limite de detecção) e 67,3 g/t de Au. Os teores maiores que 20 g/t são de ocorrência pontual e hospedados em VQZ. Vários trechos ao longo dos furos de sondagem foram submetidos a análise, todavia aqui são apresentados os teores obtidos próximos à zona mineralizada nos quatro furos amostrados conforme Anexo I.

5.8 DISCUSSÕES

Comparando com outros corpos mineralizados da Estrutura III, Castoldi (2015) constata duas gerações de arsenopirita diferenciadas quimicamente a partir de análises em MEV-BSE, as quais ele chama de “Apy1”, concomitante a formação do VQZ, de aspecto esponjoso e depletada em arsênio, e “Apy2”, de aspecto “limpo”, enriquecida em arsênio e relacionada às ocorrências de Au visível fruto da alteração hidrotermal das “Apy1”. Comparando os aspectos texturais e químicos aqui levantados com os descritos por Castoldi (2015), é notório que as quantidades de arsênio nas Apy do Corpo Flamboyant são consideravelmente menores (aproximadamente As_{33-37%}, contra As_{48-52%} encontradas por Castoldi no Corpo Ingá). Tomando como base a ausência de zonações químicas nas Apy da zona mineralizada nota-se que todas as Apy descritas neste trabalho se encaixariam no grupo das “Apy1” (Castoldi, 2015). A ocorrência de teores econômicos de ouro no Corpo Ingá é relacionada a alteração das “Apy1” e remobilização do ouro a partir delas, assim

como é relacionada a ocorrência de “ApyI2”. Autores como Wagner *et al.* (1986), Cathelineau *et al.* (1989), Aylemore & Graham (1992) afirmam que a solubilidade do ouro em arsenopirita diminui ao passo em que aumenta a temperatura do sistema, exsolvando-o da estrutura da arsenopirita.

O Corpo Flamboyant não exibe o enriquecimento em As na arsenopirita como visto no Corpo Ingá, ao passo que não há dados de elementos traços para afirmar sobre o aumento de temperatura do sistema e conseqüente exsolução do ouro da Apy. A arsenopirita descrita apresentam ligeiro enriquecimento em arsênio, sugerindo que o processo de alteração hidrotermal tardio atuou de forma muito incipiente, concentrando e remobilizando pouco ouro. A ausência de um processo hidrotermal concentrador de forma dominante pode ser explicada pela possibilidade do Corpo Flamboyant estar situado nas porções mais próximas da borda da alteração hidrotermal mais tardia e responsável pela remobilização do ouro e conseqüente concentração (Figura 46).

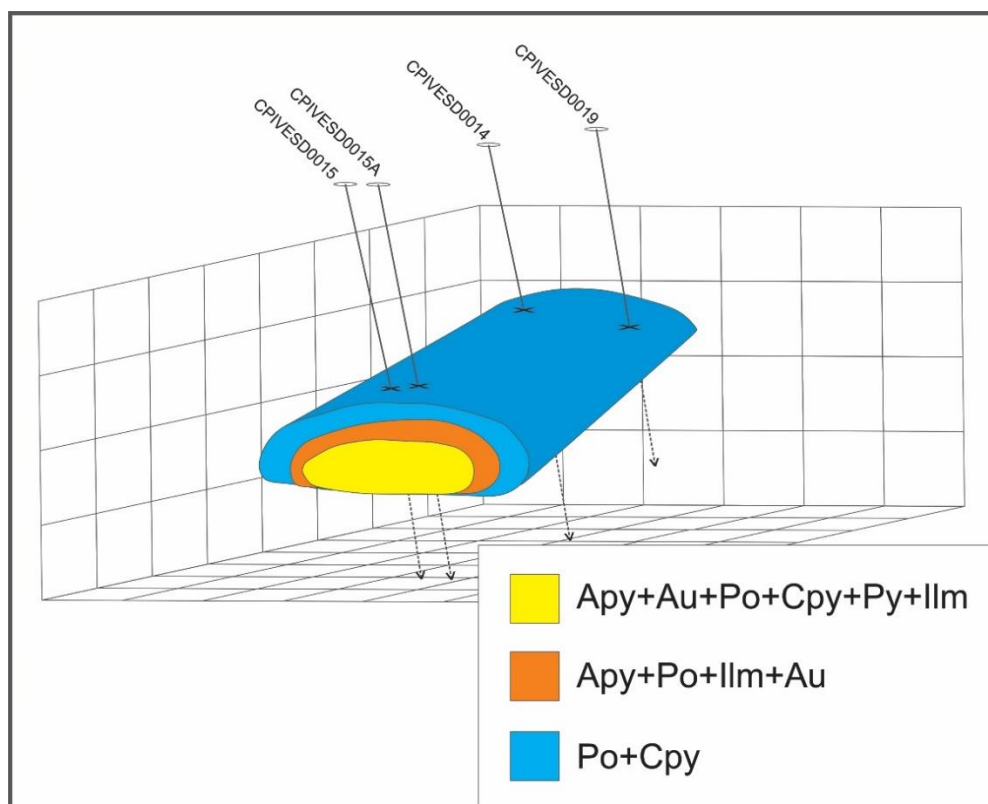


Figura 46: Representação esquemática da setorização da mineralogia de minério. Fora de escala.

6 CONCLUSÕES

O Corpo Flamboyant é composto por cinco litologias, apresenta a sequência estratigráfica metamorfisada na fácies xisto verde (zona da granada). A sequência também se apresenta deformada, portando falhas de empurrão de baixo ângulo, sendo a principal delas a Estrutura III, materializada pelo veio de quartzo massivo (VQZ). O corpo de minério é cortado por diques básicos metamorfisados também na fácies xisto verde, repetindo o padrão identificado em outros corpos de minério da Estrutura III. A sequência estratigráfica presente no Corpo Flamboyant, da base para o topo: metagrauvaca (MG), quartzo-biotita-muscovita-granada xisto (GNCX), veio de quartzo massivo (VQZ), filito carbonoso (GXN), metagrauvaca (MG), dolomito (DOL).

A ocorrência do veio de quartzo massivo (VQZ) como a materialização das falhas de empurrão de baixo ângulo junto com as demais estruturas rúptil-dúcteis remete a um processo de abertura de espaços, a circulação de grande volume de fluídos nesses espaços e consequente interação entre o fluído e as rochas encaixantes. Tal interação fluído-rocha é registrada nos três halos hidrotermais identificados, sendo eles: Halo Proximal (HP), Halo Intermediário (HI) e Halo Distal (HD). Estes três halos hidrotermais são sobrepostos por um processo de cloritização tardia ao longo de todo o intervalo analisado em todos os furos selecionados. Os halos hidrotermais podem possuir mais de um tipo de alteração hidrotermal, sendo estas agrupadas por não possuir limites distinguíveis. Todavia os diferentes tipos de alterações hidrotermais possuem intervalos de maior dominância dentro dos halos hidrotermais tornando assim a característica principal dos mesmos. No Halo Proximal o processo hidrotermal dominante é a silicificação pervasiva das encaixantes acompanhado de carbonatação, alteração potássica ou sódica incipiente. Já o Halo Intermediário apresenta a dominância de alteração potássica, contendo também a presença de alteração fílica subordinada. Por fim, o Halo Distal possui alteração fílica como dominante na porção mais interna do halo próximo ao HI, e carbonatação como alteração dominante na porção mais externa. A extensão dos halos hidrotermais sugere uma alta razão fluído/rocha no processo de alteração.

Os maiores teores auríferos estão hospedados no Halo Proximal, relacionando-os com o processo de silicificação pervasiva. O minério ocorre como ouro na forma livre no VQZ e como inclusões de ouro visível em arsenopirita idiomórfica no VQZ e

GXN abarcados pelo Halo Proximal. Analisando as amostras em MEV, o imageamento BSE e as análises químicas por EDS permitem constatar fraca zonação química da arsenopirita em detrimento dos outros corpos mineralizados hospedados na Estrutura III. A zonação química incipiente da arsenopirita resulta em enriquecimento de arsênio acompanhado de empobrecimento em enxofre. As ocorrências de ouro livre ocorrem associadas de intensa cloritização da biotita.

Os parâmetros prospectivos estabelecidos para o Corpo Flamboyant após a análise dos resultados obtidos são similares aos já existentes para outros corpos mineralizados da Estrutura III: (1) veios de quartzo massivo (VQZ), (2) silicificação adjacente ao VQZ e (3) ocorrência de arsenopirita idiomórfica. A presença de metagrauvaca estéril (sem teores auríferos) logo abaixo do pacote de GNCX funciona como indicador de parada das perfurações de sondagem visto que não há potencial econômico mais abaixo.

Assim sendo, conclui-se que o Corpo Flamboyant possui grandes similaridades com os demais corpos mineralizados da Estrutura III devido a semelhança em relação aos agentes mineralizantes e seus controles. Conclui-se também que o Corpo Flamboyant ocorre como um corpo separado do Corpo Ingá, visto que não apresenta similaridades em relação a mineralogia e a química dos sulfetos portadores do ouro.

REFERÊNCIAS

Almeida, F. F. M., Hasui, Y., Brito Neves, B. B., Fuck, R. A., 1977. **Províncias Estruturais Brasileiras**. *In*: VIII Simpósio de Geologia do Nordeste, Campina Grande – PE. SBG, Anais, pp. 363 – 391.

Almeida, B. S., Jost, H., Benel, M. R., Frantz, J. C., 2005. **Alteração hidrotermal e mineralização aurífera do corpo Palmeiras, *greenstone belt* de Crixás-GO**. *In*: I Simpósio Brasileiro de Metalogenia, Gramado-RS. Anais, Vol. 1.

Almeida F. F. M., 1968. **Evolução tectônica do centro-oeste brasileiro**. *In*: Academia Brasileira de Ciências, Anais, vol. 40, p. 280-296.

Araujo, C. E. G, Rubatto, D., Hermann, J., Cordani, U. G., Caby R., Basei, M. A. S., 2014. **Ediacaran 2,500-km-long synchronous deep continental subduction in the West Gondwana Orogen**. *In*: Nature Communications, vol. 5, art. 5198.

Arndt, N. T., Teixeira, N. A., White, W. M., 1989. **Bizarre Geochemistry of Komatiites from the Crixás Greenstone Belts, Brazil**. Contributions to Mineralogy and Petrology, Vol. 101, pp. 187-197.

Borges, C. C. A., Campos, L. M., 2019. **Caracterização Petrográfica dos Litotipos do *Greenstone Belt* Crixás**. *In*: Relatório Interno AngloGold Ashanti – Unidade Serra Grande, 31 p.

Castoldi M. A. S., Frantz J. C., Marques J. C., 2015. **O distrito aurífero de Crixás-GO: caracterização do novo corpo de minério Ingá**. *In*: Trabalho de conclusão de curso de geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 147p.

Castro, J. H. G, Magalhães, L. F., 1984. **Revisão Estratigráfica do Grupo Pilar de Goiás na Faixa Crixás**. XXXIII Congresso Brasileiro de Geologia, Rio de Janeiro. Anais, pp. 2563-2576.

Cathelineau, M., Boiron, M.-C., Holliger, P., Marion, P., and Denis, M., 1989. **Gold in arsenopyrites; Crystal chemistry, location and state, physical and**

chemical conditions of deposition. Economic Geology Monograph, Vol. 6, pp. 328-341.

Cordeiro, P. F. O., Oliveira, C. G., 2017. **The Goiás Massif: Implications for a pre-Columbia 2.2–2.0 Ga continent-wide amalgamation cycle in central Brazil.** Precambrian Research, Vol. 298, pp. 403-420.

Danni, J. C. M., and Ribeiro, C. C., 1978. **Caracterização estratigráfica da sequência volcano-sedimentar de Pilar de Goiás e de Guarinos, Goiás.** *In:* Anais, XXX Congresso Brasileiro de Geologia, Recife, pp. 582-596.

Danni, J. C. M., Fuck, R. A., and Leonardos, O. H., 1982. **Archean and lower Proterozoic units in central Brazil.** *In:* Geologische Rundschau 71, p. 291-317.

Danni, J. C. M., Dardene, R. A., Fuck, R. A., 1981. **Geologia da Serra de Santa Rita e Sequência Serra do Cantagalo.** I Simpósio de Geologia do Centro-Oeste, Goiânia. Atas, pp. 265-280.

Danni, J. C. M., Jost, H., Winge, M., and Andrade, G. F., 1986. **Aspectos da evolução dos terrenos granito-greenstone: exemplo da região de Hidrolina.** *In:* Anais, XXXIV Congresso Brasileiro de Geologia, Goiânia, 570-584.

Dedavid, B. A., Gomes, C. I., Machado, G., 2007. **Microscopia eletrônica de varredura: aplicações e preparação de amostras: materiais poliméricos, metálicos e semicondutores.** *In:* EDIPUCRS, Porto Alegre, 60 p.

Departamento Nacional de Produção Mineral, 2018. **Anuário Mineral Brasileiro: Principais Substâncias Metálicas.** Coord. Geral Wagner Fernandes Pinheiro, Osvaldo Barbosa Ferreira Filho, Carlos Augusto Ramos Neves; Equipe Técnica por Marina Dalla Costa, Brasília, DNPM. 33 p.

Filho, O. B. F., 2019. **Anuário Mineral Brasileiro: Principais Substâncias Metálicas.** *In:* Agência Nacional de Mineração, Brasília, 34 p.

Fortes, P. T. F. O., 1996. **Metalogenia dos depósitos auríferos Mina III, Mina Nova e Mina Inglesa, greenstone belt de Crixás, Goiás.** Tese de doutorado, Brasília, UnB, 177 p.

Fuck, R.A., Jardim, E.F., Pimentel, M.M., Dardenne, M.A., Pedrosa-Soares, A.C., 1993. **As faixas de dobramentos marginais do Cráton do São Francisco: síntese dos conhecimentos.** In: J.M.L. Dominguez, A. Misi (Eds.) O Cráton do São Francisco, Salvador. SBG/SGMCNPq, p. 161-185.

Fuck, R.A., 1994. **A Faixa Brasília e a compartimentação tectônica da Província Tocantins.** In: SBG, Simpósio de Geologia do Centro-Oeste, IV, Anais, p. 184-187.

Groves, D. I., Goldfarb, R. J., Gebre-Mariam, M., Hagemann, S. G., Robert, F., 1998. **Orogenic gold deposits: A proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types.** In: *Ore Geology Reviews*, Vol. 13, p. 7-27.

Jost, H., Oliveira, A. M., 1991. **Stratigraphy of the greenstone belts, Crixás region, Goiás, central Brazil.** In: *Journal of South American Earth Sciences*, Vol. 4, p. 201-214.

Jost, H., Fortes, P. T. F. O., 2001. **Gold deposits and occurrences of the Crixás goldfield, central Brazil.** In: *Mineralium Deposita*, Vol. 36, p. 358-376.

Jost, H., Fuck, R., Brod, J. A., Dantas, E. L., Meneses, P. R., Assad, M. L. L., Pimentel, M. M., Blum, M. L. B., Silva, A. M., 2001. **Geologia dos terrenos Arqueanos e Proterozóicos da região de Crixás-Hidrolina, Goiás.** In: *Revista Brasileira de Geociências*, Vol. 31, p. 317-328.

Jost, H., Carvalho, M. J., Rodrigues, V. G., Martins, R., 2004. **Metalogênese dos greenstone belts de Goiás.** In: *Metalogenia das Províncias Tectônicas Brasileiras*, Edição 1, Cap. 6, p. 141-168.

Jost H., Chemale F., Dussin I. A., Tassinari C. C. G., Martins R., 2010. **A U–Pb zircon Paleoproterozoic age for the metasedimentary host rocks and gold mineralization of the Crixás greenstone belt, Goiás, Central Brazil.** In: *Ore Geology Reviews*, Volume 37, Issue 2.

Jost, H., Carvalho, J., Rodrigues, V., Martins, R., 2014. **Metalogenia dos greenstone belts de Goiás**. *In: Metalogênese das Províncias Tectônicas Brasileiras*, p. 141-168.

Jost, H., Apollo, J. F. H., Weber, W., Salles, R. R., Marques, J. C., Massucatto, A. J., Costa, D. A., Santos, B. A., 2019. **Stratigraphic update, paleotectonic, paleogeographic, and depositional environments of the Crixás Greenstone Belt, Central Brazil**. *In: Journal of South American Earth Sciences*, Vol. 96, 22 p.

Kuyumijan, R. M., Araújo Filho, J. O., 1984. **Contribuição Tectônica do Greenstone Belt da Faixa Crixás**. *In: Revista Brasileira de Geociências*, Vol. 14(2), pp. 92-96.

Kuyumijan, R. M., 1981. **Geologia E Mineralizações Auríferas Do Greenstone Belt da Faixa Crixás – GO**. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade de Brasília. 67 p.

Kuyumian, R. M., Moura, M., Guimarães, E. M., Roriz, S. A., 2005. **Condições de formação de mineralização aurífera em komatiitos hidrotermalizados de Crixás e de depósito de talco em Hidrolina**. *In: Revista Brasileira de Geociências*, Vol. 35, pp. 607-609.

Magalhães, L.F., 1991. **Cinturão de cisalhamento de empurrão Córrego Geral/Meia Pataca: geologia, deformação, alteração hidrotermal e mineralizações auríferas associadas (Crixás, Goiás)**. Dissertação de mestrado. Instituto de Geociências, Universidade de Brasília. 233 p.

Reed, S.J.B., 2014. **Electron Microprobe Analysis and Scanning Electron Microscopy in Geology**. Cambridge University Press, 201p.

Pimentel, M.M., Whitehouse, M.J., Viana, M.G., Fuck, R.A., Machado, N., 1997. **The Mara Rosa Arc in the Tocantins Province: further evidence for Neoproterozoic crustal accretion in Central Brazil**. *In: Precambrian Research*, Vol. 81, pp. 299-310.

Pimentel, M.M., Jost, H., Fuck, R.A., Armstrong, R.A., Dantas, E.L., Potrel, A., 2003. **Neoproterozoic anatexis of 2.9 Ga old granitoids in the Goiás-Crixás block**,

Central Brazil: evidence from new SHRIMP U-Pb data and SmNd isotopes. *In:* Geologia USP, Série Científica, Vol. 3, pp. 1-12.

Pimentel, M. M., Fuck, R. A., Jost, H., Filho, C. F. F., Araújo, S. M., 2000. **The basement of the Brasília fold belt and the Goiás magmatic arc.** *In:* Tectonic Evolution of South America, p. 195-229.

Pimentel, M. M., 2016. **The tectonic evolution of the Neoproterozoic Brasília Belt, central Brazil: a geochronological and isotopic approach.** *In:* Brazilian Journal of Geology, Vol. 46, pp. 67-82.

Powell, R., Will, T. M., Phillips, G. N., 1991. **Metamorphism in Archaean greenstone belts: calculated fluid compositions and implications for gold mineralization.** *In:* Journal of Metamorphic Geology, Vol. 9, p. 141-150.

Queiroz, C.L., 1995. **Caracterização dos domínios estruturais e da arquitetura do greenstone belt de Crixás, Go.** Dissertação de mestrado. Instituto de Geociências, Universidade de Brasília.

Queiroz, C. L., Alkmim, F. F., Kuyumijan, R. M., 1995. **Estudo dos lineamentos de relevo da região do greenstone belt de Crixás, GO, através de imagens de sensores remotos.** Sociedade Brasileira de Geologia, Núcleo Centro-Oeste, Goiânia. *In:* Boletim de Geociências do Centro-Oeste, Vol. 18, pp. 57-65.

Queiroz, C. L., 2000. **Evolução tectono-estrutural dos terrenos granito-greenstone belt de Crixás, Brasil Central.** Dissertação de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 209 p.

Queiroz, C. L., Jost, H., Silva, L. C., McNaughton, N. J., 2008. **U-Pb SHRIMP and Sm-Nd geochronology of granite-gneiss complexes and implications for the evolution of the central Brazil Archean terrain.** *In:* Journal of South American Earth Sciences, v. 26, p. 100-124.

Resende, M. G., Jost, H., Osborne, G. A., Mol, A., 1998. **The Stratigraphy of the Goiás and Faina Greenstone Belts, central Brazil: a new proposal.** Revista Brasileira de Geociências, Vol. 28(1), pp. 77-94.

Sabóia, L. A., Teixeira, N. A., Castro, J. H. G., Teixeira A. S., 1979. **Geologia do greenstone belt de Crixás (GO) e suas implicações geotectônicas.** *In:* Anais, Simpósio Sobre o Cráton São Francisco e Suas Faixas Marginais, Salvador, Brasil, p. 39-50.

Sabóia L. A., Teixeira, N. A., Castro J. H. G., Teixeira A. S., 1981. **Geologia do “Greenstone Belt” de Crixás (GO) e suas implicações tectônicas.** *In:* Simpósio sobre o Cráton São Francisco e suas Faixas Marginais, Salvador, 1981. Anais Salvador, SBG, Parte II, Núcleo Bahia, p. 39-50.

Schmitt, R., Pavim, A., 2008. **Fusion of micro-metrology techniques for the flexible inspection of MEMS/MOEMS assembly.** SPIE Photonics. Strasbourg, France. 2008.

Silva, H. V. 2014. **Descrição litológica e hidrotermal de testemunhos de sondagem do “Corpo Ingá – Estrutura III” do greenstone belt, Goiás.** *In:* Castoldi M. A. S., Frantz J. C., Marques J. C., 2015. O distrito aurífero de Crixás-GO: caracterização do novo corpo de minério Ingá. Trabalho de conclusão de curso de geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 147p. Relatório do Estágio Supervisionado em Geologia, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, 55 p.

Sobiesiak, M. S., 2011. **Caracterização de depósito aurífero no corpo Pequizão.** *In:* Trabalho de conclusão de curso de geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 100 p.

Souza, R. G., 2018. **Caracterização do corpo aurífero Mangaba, estrutura IV, greenstone belt de Crixás, GO.** Porto Alegre. Trabalho de conclusão de curso de geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 76 p.

Thomson, M. L., Fyfe, W. S., 1990. **The Crixás gold deposit, Brazil: thrust-related, postpeak metamorphic gold mineralization of possible Brasiliano cycle age.** *In:* Economic Geology, Vol. 85, p. 928-942.

Wagner, F.E., Marion, P.H., and Regnard, J.R., 1986. **Mossbauer study of the chemical state of gold in gold ores.** Gold 100: South African Institute of Mining and Metallurgy International Conference on Gold, Proceedings, Vol. 2, pp. 435–443.

Yamaoka, W.N., Araújo, E.M., 1988. **Depósitos de Ouro Mina III, Crixás, Goiás**. In: C. Schobbenhaus & C.E.S. Coelho (Eds.) Principais Depósitos Mineraiis do Brasil, Brasília, NPM/CVRD, v. 3, cap. 34, pp. 491-498.

ANEXOS

Anexo I: Teores auríferos após análise pelo método *fire assay* nos furos de sondagem amostrados. AngloGold Ashanti – 2019.

CPIVESD0015			CPIVESD0015A		
De	Até	Teor de Au (g/t)	De	Até	Teor de Au (g/t)
1410,8	1411,8	0,03	1402,0	1403,0	0,03
1411,8	1412,8	0,03	1403,0	1404,0	0,03
1412,8	1413,8	0,03	1404,0	1405,0	0,03
1413,8	1414,8	0,03	1405,0	1406,0	0,03
1414,8	1415,8	0,03	1406,0	1407,0	0,03
1415,8	1416,8	0,03	1407,0	1408,0	0,03
1416,8	1417,8	0,03	1408,0	1409,0	0,64
1417,8	1418,8	0,03	1409,0	1410,0	0,03
1418,8	1419,8	0,03	1410,0	1411,0	0,03
1419,8	1421,0	0,03	1411,0	1412,0	0,03
1421,0	1421,8	0,03	1412,0	1413,0	0,03
1421,8	1422,9	0,03	1413,0	1414,0	0,03
1422,9	1424,0	0,03	1414,0	1415,0	0,03
1424,0	1425,0	0,03	1415,0	1416,0	0,03
1425,0	1426,1	0,03	1416,0	1417,0	0,03
1426,1	1426,9	0,03	1417,0	1418,0	0,03
1426,9	1427,9	0,03	1418,0	1419,0	0,03
1427,9	1428,9	0,03	1419,0	1420,0	0,03
1428,9	1429,9	0,03	1420,0	1421,0	0,03
1429,9	1430,9	0,03	1421,0	1422,0	0,03
1430,9	1431,9	0,03	1422,0	1422,8	0,03
1431,9	1432,9	0,03	1422,8	1423,6	0,03
1432,9	1433,9	0,03	1423,6	1424,4	0,03
1433,9	1434,9	0,03	1424,4	1425,2	0,03
1434,9	1435,9	0,50	1425,2	1426,4	0,03
1435,9	1436,7	26,94	1426,4	1427,6	0,03
1436,7	1437,5	0,03	1427,6	1428,5	0,03
1437,5	1438,4	0,45	1428,5	1429,3	67,30
1438,4	1439,4	0,03	1429,3	1430,2	0,03
1439,4	1440,4	0,03	1430,2	1431,2	0,03
1440,4	1441,4	0,03	1431,2	1432,2	0,03
1441,4	1442,4	0,03			

CPIVESD0014			CPIVESD0019		
De	Até	Teor de Au (g/t)	De	Até	Teor de Au (g/t)
1205,5	1206,5	0,03	1157,6	1158,6	0,03
1206,5	1207,5	0,03	1158,6	1159,6	0,03
1207,5	1208,4	0,03	1159,6	1160,6	0,03
1208,4	1209,3	2,32	1160,6	1161,6	0,03
1209,3	1210,1	0,03	1161,6	1162,6	0,03
1210,1	1211,0	0,03	1162,6	1163,6	0,03
1211,0	1212,0	0,03	1163,6	1164,6	0,03
1212,0	1213,0	0,03	1164,6	1165,6	0,03
1213,0	1214,0	0,03	1165,6	1166,6	0,03
1214,0	1214,8	0,03	1166,6	1167,6	0,03
1214,8	1216,0	0,03	1167,6	1168,6	0,03
1216,0	1217,0	1,94	1168,6	1169,8	0,03
1217,0	1218,0	0,03	1169,8	1171,0	0,03
1218,0	1219,0	0,03	1171,0	1172,1	0,03
1219,0	1220,0	0,03	1172,1	1173,1	0,03
1220,0	1221,0	0,03	1173,1	1174,1	0,03
1221,0	1222,0	0,03	1174,1	1175,1	0,48
1222,0	1223,0	0,03	1175,1	1176,1	1,65
1223,0	1224,0	0,03	1176,1	1177,1	0,03
1224,0	1225,2	0,03	1177,1	1178,1	0,03
1225,2	1226,4	0,03	1178,1	1179,0	0,03
1226,4	1227,5	0,03	1179,0	1180,0	0,03
1227,5	1228,5	0,03	1180,0	1181,0	0,03
1228,5	1229,5	0,03	1181,0	1182,0	0,03
1229,5	1230,4	0,03	1182,0	1183,0	0,03
1230,4	1231,4	0,03	1183,0	1184,0	0,03
1231,4	1232,4	0,03	1184,0	1185,0	0,03
1232,4	1233,4	0,03	1185,0	1186,0	0,03
1233,4	1234,4	0,03	1186,0	1187,0	0,03
1234,4	1235,4	0,03	1187,0	1188,0	0,03
1235,4	1236,4	0,03	1188,0	1189,0	0,03
1236,4	1237,4	0,03	1189,0	1189,8	0,03
1237,4	1238,4	0,03	1189,8	1190,7	0,03
1238,4	1239,4	0,03	1190,7	1191,5	0,03
1239,4	1240,4	0,03	1191,5	1192,5	0,03
1240,4	1241,6	0,03	1192,5	1193,5	0,03
1241,6	1242,8	5,1	1193,5	1194,5	0,03
1242,8	1244,0	2,57			
1244,0	1245,1	0,03			
1245,1	1246,2	0,03			
1246,2	1247,4	0,03			

Anexo II: Tabela dos dados químicos de arsenopirita e gotas de Au obtidos por meio do MEV-EDS

Mass percent (%)

Spectrum	C	O	Ag	Au	FeO
1	0.00	0.67	3.27	96.06	-
2	0.00	0.00	3.18	94.42	2.40
3	0.00	-	3.98	95.29	0.74
4	0.00	-	3.32	96.02	0.67

Mean value:	0.00	0.34	3.44	95.44	1.27
Sigma:	0.00	0.48	0.37	0.77	0.98
Sigma mean:	0.00	0.24	0.18	0.39	0.49

Mass percent (%)

Spectrum	C	O	As	SO3	FeO
1	0.00	0.00	37.69	30.69	31.62
2	0.00	0.00	37.19	31.44	31.37
3	0.00	0.00	37.00	31.07	31.94
4	0.00	0.00	36.50	31.71	31.79
5	0.00	0.00	37.72	31.10	31.18
6	0.00	0.00	35.96	31.63	32.41

Mean value:	0.00	0.00	37.01	31.27	31.72
Sigma:	0.00	0.00	0.69	0.39	0.44
Sigma mean:	0.00	0.00	0.28	0.16	0.18

Mass percent (%)

Spectrum	C	O	Ag	Au	FeO
----------	---	---	----	----	-----

1	0.00	0.59	3.34	96.07	-
2	0.00	0.76	3.17	96.07	-
3	0.00	0.75	3.37	95.88	-
4	0.00	0.63	3.13	96.24	-
5	0.00	-	2.99	96.26	0.75

Mean value: 0.00 0.69 3.20 96.10 0.75

Sigma: 0.00 0.09 0.16 0.15 0.00

Sigma mean: 0.00 0.04 0.07 0.07 0.00

Mass percent (%)

Spectrum	C	O	MgO	CaO	FeO	MnO	Al2O3	SiO2
----------	---	---	-----	-----	-----	-----	-------	------

1	0.00	0.46	2.42	93.08	4.04	-	-	-
2	0.00	0.28	2.25	92.75	4.01	0.71	-	-
3	0.00	0.30	2.37	92.54	4.06	0.73	-	-
4	0.00	0.10	15.65	-	31.58	-	22.74	29.93

Mean value: 0.00 0.29 5.67 92.79 10.93 0.72 22.74 29.93

Sigma: 0.00 0.15 6.65 0.27 13.77 0.01 0.00 0.00

Sigma mean: 0.00 0.07 3.32 0.14 6.89 0.01 0.00 0.00

Mass percent (%)

Spectrum	C	O	As	Ag	Au	SO3	FeO	SiO2
----------	---	---	----	----	----	-----	-----	------

1	0.00	0.00	35.76	-	-	32.14	32.10	-
2	0.00	0.00	35.64	-	-	32.40	31.96	-
3	0.00	0.00	35.72	-	-	32.33	31.95	-
4	0.00	0.00	36.30	-	-	31.52	32.18	-
5	0.00	-	-	3.13	96.14	-	0.73	-
6	0.00	0.00	35.88	-	-	31.97	32.15	-
7	0.00	0.00	35.20	-	-	31.39	30.78	2.62
8	0.00	0.00	37.33	-	-	31.12	31.55	-

Mean value: 0.00 0.00 35.98 3.13 96.14 31.84 27.92 2.62

Sigma: 0.00 0.00 0.68 0.00 0.00 0.50 11.00 0.00

Sigma mean: 0.00 0.00 0.24 0.00 0.00 0.18 3.89 0.00

Mass percent (%)

Spectrum	C	O	As	SO3	FeO	TiO2
----------	---	---	----	-----	-----	------

1	0.00	0.00	35.12	32.59	32.29	-
2	0.00	0.00	34.69	33.08	32.23	-
3	0.00	0.00	35.86	32.09	32.05	-
4	0.00	0.00	34.97	32.72	32.31	-
5	0.00	0.00	34.87	32.70	32.42	-
6	0.00	0.00	34.68	32.52	32.80	-
7	0.00	0.00	33.64	32.92	32.57	0.87

8	0.00	0.00	34.58	33.30	32.12	-
9	0.00	0.00	33.60	33.97	32.43	-
10	0.00	0.00	34.04	33.47	32.49	-
11	0.00	0.00	36.16	31.58	32.26	-

Mean value: 0.00 0.00 34.75 32.81 32.36 0.87

Sigma: 0.00 0.00 0.81 0.65 0.21 0.00

Sigma mean: 0.00 0.00 0.24 0.20 0.06 0.00

Mass percent (%)

Spectrum	C	O	As	Ag	Au	SO3	FeO
----------	---	---	----	----	----	-----	-----

1	0.00	0.00	34.50	-	-	33.43	32.07
2	0.00	0.00	35.17	-	-	32.44	32.39
3	0.00	0.00	35.07	-	-	32.80	32.14
4	0.00	0.00	34.16	-	-	34.37	31.47
5	0.00	0.00	35.07	-	-	32.54	32.39
6	0.00	0.00	33.93	-	-	33.78	32.29
7	0.00	0.00	34.37	-	-	33.21	32.42
8	0.00	0.26	33.79	-	-	32.92	33.02
9	0.00	0.04	35.43	-	-	32.29	32.24
10	0.00	0.00	35.27	-	-	32.75	31.98
11	0.00	0.00	-	2.26	92.28	-	5.46

Mean value: 0.00 0.03 34.68 2.26 92.28 33.05 29.81

Sigma: 0.00 0.08 0.60 0.00 0.00 0.65 8.08

Sigma mean: 0.00 0.02 0.18 0.00 0.00 0.20 2.44

Mass percent (%)

Spectrum	C	O	Ag	Au	Na2O	ThO2	MgO	FeO
----------	---	---	----	----	------	------	-----	-----

1	0.00	0.06	-	93.81	1.15	4.99	-	-
2	0.00	-	2.55	97.45	-	-	-	-
3	0.00	-	2.32	97.68	-	-	-	-
4	0.00	0.00	2.90	94.26	1.12	-	1.07	0.64
5	0.00	-	2.48	96.12	-	-	-	1.39
6	0.00	0.00	2.85	94.65	1.05	-	-	1.45
7	0.00	-	2.91	96.29	0.79	-	-	-
8	0.00	-	2.60	97.40	-	-	-	-
9	0.00	0.83	2.53	96.64	-	-	-	-
10	0.00	-	2.79	96.11	0.59	-	-	0.51

Mean value: 0.00 0.22 2.66 96.04 0.94 4.99 1.07 1.00

Sigma: 0.00 0.41 0.21 1.38 0.24 0.00 0.00 0.49

Sigma mean: 0.00 0.13 0.07 0.44 0.08 0.00 0.00 0.15

Mass percent (%)

Spectrum C O As SO3 FeO

1	0.00	0.05	34.91	32.97	32.07
2	0.00	0.00	34.12	33.68	32.20
3	0.00	0.00	37.05	30.69	32.26
4	0.00	0.00	34.69	33.06	32.25
5	0.00	0.00	35.95	31.88	32.16
6	0.00	0.00	36.31	31.50	32.19

Mean value: 0.00 0.01 35.51 32.30 32.19

Sigma: 0.00 0.02 1.11 1.13 0.07

Sigma mean: 0.00 0.01 0.45 0.46 0.03