

Trabalho de Conclusão de Curso

Curso de Graduação em Geologia

**ELEMENTOS-TRAÇO EM PIRITA E CALCOPIRITA POR MICROSSONDA
ELETRÔNICA EM DEPÓSITOS AURÍFEROS FILONARES DA PROVÍNCIA
AURÍFERA DE ALTA FLORESTA (MT), CRÁTON AMAZÔNICO**

Andrey Meyer

Orientador: Prof. Dr. Rafael Rodrigues de Assis

Co-orientador: Prof. Dr. George Luiz Luvizotto

Rio Claro (SP)

2017

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Câmpus de Rio Claro

ANDREY MEYER

ELEMENTOS-TRAÇO EM PIRITA E CALCOPIRITA POR
MICROSSONDA ELETRÔNICA EM DEPÓSITOS AURÍFEROS
FILONARES DA PROVÍNCIA AURÍFERA DE ALTA
FLORESTA (MT), CRÁTON AMAZÔNICO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas -
Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual
Paulista Júlio de Mesquita Filho, para obtenção
do grau de Geólogo.

Rio Claro - SP

2017

549 Meyer, Andrey
M612e Elementos-traço em pirita e calcopirita por microsonda eletrônica em depósitos auríferos filonares da Província aurífera de Alta Floresta (MT), Cráton amazônico / Andrey Meyer. - Rio Claro, 2017
95 f. : il., figs., gráfs., tabs., fots., mapas

Trabalho de conclusão de curso (Geologia) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Orientador: Rafael Rodrigues de Assis
Coorientador: George Luiz Luvizotto

1. Mineralogia. 2. Província aurífera de Alta Floresta. 3. Elementos-traço em pirita. 4. Microsonda eletrônica. 5. Depósitos auríferos filonares. I. Título.

ANDREY MEYER

ELEMENTOS-TRAÇO EM PIRITA E CALCOPIRITA POR
MICROSSONDA ELETRÔNICA EM DEPÓSITOS AURÍFEROS
FILONARES DA PROVÍNCIA AURÍFERA DE ALTA
FLORESTA (MT), CRÁTON AMAZÔNICO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas -
Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual
Paulista Júlio de Mesquita Filho, para obtenção
do grau de Geólogo.

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Rafael Rodrigues de Assis (orientador)

Prof. Dr. Antonio José Ranalli Nardy

Prof. Dr. Washington Barbosa Leite Junior

Rio Claro, 04 de dezembro de 2017.

Assinatura do(a) aluno(a)

Assinatura do(a) orientador(a)

*Dedicado aos
meus avós, C. V. P., N. P.,
M. W. C. M. e, especialmente, L. M.,
do qual não pude me despedir por estar distante.*

Agradecimentos

Agradeço a Deus por me guiar até aqui, sempre me dando força, paciência e sabedoria necessária para seguir em frente.

Aos meus pais, Paulo Roberto Meyer e Jussara Aparecida Pereira Meyer, por todo amor e carinho, por me apoiarem em minhas escolhas e por todas as lições e ensinamentos, me servindo sempre de bom exemplo e inspiração.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Rafael R. de Assis, por toda a atenção, paciência, orientação, incentivo e apoio ao longo desse ano. Também por suas aulas inspiradoras, que ajudaram a despertar meu interesse por geologia econômica.

A Aline, por todo amor, carinho, amizade e segurança, que me conforta e incentiva, fazendo com que eu me torne uma pessoa melhor e mais feliz a cada dia que passa.

Aos meus amigos de graduação, Rodrigo, Pedro, Rodolfo, Gean, André, Leonardo, Tatiana e outros, pelo companheirismo, pelos bons momentos e pelas muitas risadas em meio a correria desses sete anos de faculdade.

Ao Prof. Dr. George Luiz Luvizzoto, pela orientação, atenção e amizade. Também pelo auxílio com as análises em microsonda eletrônica, sem a qual não seria possível a realização desse trabalho.

Da mesma forma, agradeço ao Departamento de Petrologia e Metalogenia por ter custeado as análises e a confecção de lâminas, e aos funcionários, Daniel e Junior, que colaboraram com a produção deste trabalho.

RESUMO

A Província Aurífera de Alta Floresta (PAAF), localizada no segmento sul do Cráton Amazônico (norte do Estado de Mato Grosso), é constituída por sequências plutono-vulcânicas paleoproterozoicas. Ela hospeda mais de uma centena de depósitos de médio a alto teor e pequeno porte distribuídos ao longo do cinturão NW-SE do Peru-Trairão. Neste cenário, suas mineralizações auríferas primárias são individualizadas em quatro grupos principais: (1) Au $\pm$ Cu disseminados; (2) Au $\pm$ Cu filonares; (3) Au $\pm$ Cu + Mo filonares e/ou disseminados; e (4) Au + Zn + Pb $\pm$ Cu filonares. No geral, esses depósitos representam sistemas magmático-hidrotermais similares a sistemas do tipo Au $\pm$ Cu pórfiro e epitermais de baixa a intermediária sulfetação. Neste contexto, esse trabalho objetivou a determinação de elementos traço em pirita e calcopirita dos depósitos do Paraíba e Edu, importantes mineralizações filonares pertencentes ao grupo (2). A petrografia das zonas mineralizadas permitiu o reconhecimento de cinco variações texturais da pirita (pirita I, pirita II, pirita III, pirita IV e pirita V) no depósito Paraíba, além de duas variedades no depósito do Edu (pirita do minério milonítico e do minério granítico). Ao MEV, a pirita de ambos os depósitos mostrou-se homogênea, sem zoneamento mineral. O conjunto de dados analíticos por microsonda eletrônica revelou concentrações acima do limite de detecção para Pb, S, Au, Ti, Ag, Zn, Cu, Ni, Co e Fe, embora Al, As, Sb e Cr estiveram abaixo do limite de detecção na grande maioria das análises. Entre as concentrações acima do limite de detecção, as concentrações (em ppm) de Au estiveram compreendidas entre 90 e 1740 no depósito Paraíba, e entre 90 e 1150 no Edu. Em adicional, elevadas concentrações de Ni (<65 – 1040 ppm) e Co (590 – 1920 ppm) também foram obtidas na estrutura dos sulfetos analisados. O Au apresentou correlações lineares positivas moderadas com as concentrações de Pb e negativas com as de Ni, Cu e Co na pirita, além de correlações lineares positivas com Co e Fe, e negativas com Pb e Zn na calcopirita. No conjunto, essas variações podem ser explicadas a partir da variação paragenética do minério, assim como mediante contribuição máfica durante o evento mineralizador, se consideradas as concentrações de Ni e Co.

Palavras-chave: Província Aurífera de Alta Floresta; elementos traço em pirita; microsonda eletrônica; depósitos auríferos filonares.

ABSTRACT

The Alta Floresta Gold Province (AFGP) is located at southern Amazon Craton (northern of Mato Grosso State), it consists of plutono-volcanic paleoproterozoic sequences, that host more than a hundred medium- to high-grade and small size deposits aligned along the Peru-Trairão belt (NW-SE). The province's gold mineralization are individualized into four main groups: (1) Au $\pm$ Cu disseminated; (2) vein-type Au $\pm$ Cu; (3) vein-type and/or disseminated Au $\pm$ Cu + Mo; and (4) vein-type Au + Zn + Pb $\pm$ Cu. These deposits represent magmatic-hidrothermal systems, which are usually interpreted as Au $\pm$ Cu porphyry systems or as epithermal gold-systems of low to intermediate sulfidation. In this context, the objective of this study is the determination of trace elements in pyrite and chalcopyrite from Paraíba and Edu deposits, which represent vein-type Au $\pm$ Cu deposits of group (2). The petrography analysis of mineralized zones allowed the recognition of five textural variations of pyrite (pyrite I, pyrite II, pyrite III, pyrite IV and pyrite V) in the Paraíba deposit, as well as two varieties in the Edu deposit (pyrite of milonitic ore and granitic ore). At the SEM, the pyrite from both deposits was homogeneous, without mineral zoning. The electron microprobe data set revealed that several elements show concentrations above the detection limit, as Pb, S, Au, Ti, Ag, Zn, Cu, Ni, Co e Fe. However, the elements Al, As, Sb and Cr were shown below the detection limit in almost all analysis. The gold concentrations have been between 90 and 1740 (ppm) in Paraíba deposit and between 90 and 1150 (ppm) in Edu deposit. In addition, the analysis obtained high concentrations of Ni (<65 – 1040 ppm) and Co (590 – 1920 ppm). The Au presented moderate and positive linear correlations with Pb, but negative with Ni, Cu and Co in pyrite, also positive correlations with Co and Fe, but negative with Pb and Zn in chalcopyrite. These variations can be explained from the ore paragenetic variation, as well as by mafic contribution during the mineralizing event, considering the concentrations of Ni and Co.

Key-words: Alta Floresta Gold Province; trace elements on pyrite; electron microprobe analysis; vein-type gold deposits.

Lista de Figuras

- Figura 1** - Localização dos principais depósitos auríferos na porção leste da Província Aurífera de Alta Floresta, com destaque para os depósitos do Edu e Paraíba, localizados nos municípios de Nova Santa Helena e Peixoto de Azevedo (MT), respectivamente. 15
- Figura 2** - Localização da Província Aurífera de Alta Floresta de acordo com os modelos de (A) Santos et al. (2006) e (B) Tassinari & Macambira (1999). Quadricula referente a PAAF baseada em Souza et al. (2005). 22
- Figura 3** – Mapa geológico do segmento leste da Província Aurífera de Alta Floresta. O depósito Edu localiza-se a sul do depósito Paraíba e a oeste do depósito Pé Quente, fora da área do mapa. Extraído de ASSIS, 2015. 24
- Figura 4** – Mapa geológico do depósito Paraíba. Modificado de VIAL et al., 2014. 28
- Figura 5** – Detalhe da geologia ao sul do shaft do depósito Paraíba (Área sul da Figura 4). Extraído de VIAL et al., 2014. 29
- Figura 6** – Seção de sondagem esquemática, com valores referentes a profundidade, comprimento da manobra e teores de Au (g/t). Extraído de VIAL et al., 2014. 30
- Figura 7** – Mapa geológico do depósito Edu. Modificado de RTDM (2000). 31
- Figura 8** – Amostras representativas dos veios de quartzo sulfetados do depósito Paraíba. A) amostra PB-A2, levemente anisotrópica, com sulfeto disperso em matiz quartzosa decorrente de intensa silicificação. B) amostra PB-02, intensamente sulfetada (~50% de sulfeto) em zona de forte silicificação. C) amostra PB-B intensamente sulfetada (~85% de sulfeto), com formação de minério maciço disperso em massa de quartzo. D) amostra PB-01 proveniente de veio de quartzo com sulfetos de granulação fina a média. 34
- Figura 9** – A) Alteração sericitica confinada a vênulas que se sobrepõem à silicificação do sistema e, portanto, espacialmente relacionada a quartzo fino recristalizado (lâmina PB-A2). B) Forte carbonatação que envolve os cristais finos de pirita, calcopirita, magnetita e ligas de Bi-Te (lâmina PB-01). C) Ouro no limite externo da calcopirita (pirita IV; lâmina PB-01). D e E) Pirita IV com inclusões de calcopirita e fraturas preenchidas por ouro e calcopirita (lâmina PB-01). F) Imagem em MEV da inclusão de Au da figura anterior (lâmina PB-01). Legenda: Au – ouro; Cb – carbonato; Cpy – calcopirita; Mag – magnetita; Py – pirita; Qtz – quartzo; Ser – sericita. 35
- Figura 10** – Ocorrências de ouro em pirita e calcopirita. A) Inclusão de ouro na pirita IV (lâmina PB-01). B) Aglomerado com finas inclusões de ouro em calcopirita que preenche os interstícios da pirita V (lâmina PB-02). C e D) Inclusões de ouro em calcopirita em paragênese com pirita V (lâmina PB-02). E) Pirita V com fraturas preenchidas por ouro e calcopirita (lâmina PB-02). F) Au associado à pirita III: na forma de inclusão; no contato entre pirita e carbonatos; e entre calcopirita e carbonatos (lâmina PB-01). Legenda: Au – ouro; Cb – carbonato; Cpy – calcopirita; Mag – magnetita; Py – pirita; Qtz – quartzo. 36

Figura 11 – Variações texturais da pirita do depósito Paraíba. A) Pirita I: cristais muito finos em meio a quartzo fino recristalizado e sericita, a qual é responsável pela foliação da rocha (lâmina PB-A2); B) Pirita II: pirita de granulação grossa imersos em ganga silicática (lâmina PB-A2); C) Pirita III: cristais finos imersos em ganga carbonática (lâmina PB-01); D) Pirita IV: cristais de granulação média a grossa, em contato com quartzo e carbonatos, com frequentes inclusões de Au (lâmina PB-01); E) Pirita V: cristais imersos em massa de calcopirita (lâminas PB-02 e PB-B). Legenda: Au – ouro; Cb – carbonato; Cpy – calcopirita; Mag – magnetita; Py – pirita; Qtz – quartzo; Ser – sericita..... 38

Figura 12 – Fotomicrografias de elétrons retro-espalhados para as variações texturais da pirita do depósito Paraíba em MEV. A) Pirita I: cristais muito finos em contato com quartzo fino e sericita (lâmina PB-A2); B) Pirita II: cristais mais grossos, com inclusões de ouro e calcopirita (lâmina PB-A2); C) Pirita III: cristais finos de pirita em paragênese com calcopirita, magnetita e ligas de Bi-Te, imersos em carbonato (lâmina PB-01); D) Pirita IV: cristais de granulação média a grossa, em contato com quartzo e carbonatos, e com inclusões de calcopirita e ouro (lâmina PB-01); E) Pirita V: cristais grossos envoltos por massa de calcopirita e quartzo (lâminas PB-02 e PB-B). Legenda: Au – ouro; Bi-Te – liga de bismuto e telúrio; Cb – carbonato; Cpy – calcopirita; Mag – magnetita; Py – pirita; Qtz – quartzo; Ser – sericita..... 39

Figura 13 – Espectros (EDS) de fases minerais diagnosticadas em amostras do depósito Paraíba com o auxílio do microscópio eletrônico de varredura (MEV). A e B) Titanita, os valores de S e Fe devem ser desconsiderados, visto serem provenientes de interferência causada devido à proximidade com cristal de pirita; C) Bismutinita. Valores de carbono (C) devem ser desconsiderados, visto serem provenientes da metalização das lâminas.....41

Figura 14 – A) Pirita III na forma de cristais finos, em paragênese com calcopirita, magnetita e fases ricas em Bi-Te, a qual ocorre associada a matriz carbonática (lâmina PB-01); B) Liga de Ag-Te no limite cristalino da pirita V e calcopirita (lâmina PB-B); C) Esfalerita incluída em calcopirita associada à pirita V (lâmina PB-02). Legenda: Ag-Te – liga de prata e telúrio; Bi-Te – liga de bismuto e telúrio; Cb – carbonato; Cpy – calcopirita; Mag – magnetita; Py – pirita; Sp – esfalerita.42

Figura 15 – Amostras representativas da alteração hidrotermal do depósito Edú: A) Veio de quartzo cisalhado proveniente do minério milonítico (amostra FTN03-98,34); B) Vênulas de pirita + quartzo em sericita-quartzo milonito (amostra FTN03-100,90); C) Rocha granítica com alteração potássica a base de K-feldspato sobreposta por fraca cloritização e truncada por vênulas de pirita fina (amostra FTN04-54,43); D) Granitóide potassificado, com fraca epidotização e truncado por vênulas de quartzo + clorita (amostra FTN03-119,20); E) Granitóide intensamente cloritizado, silicificado e truncado por veios de carbonato, representativo de porções proximais do minério granítico (amostra FTN03-108,17); F) Granitóide potassificado com epidotização, truncado por vênulas de carbonato + sericita (amostra FTN03-89,57); G) Rocha granítica intensamente potassificada e com fraca alteração sericítica representada por porções verde sedosas (amostra FTN-60,80).44

Figura 16 – A) Minério granítico com alteração sericítica sobre microclínio, truncada por alteração carbonática venular (lâmina FTN03-108,17); B) Minério granítico brechado, com matriz eminentemente constituída por epidoto, clorita e quartzo, além de vênulas tardias de carbonato (lâmina FTN03-89,57); C) Alteração clorítica pervasiva sobre minério granítico

sericitizado (lâmina FTN03-108,17); D) Alteração sericítica pervasiva, a partir da substituição do microclínio, em hospedeira granítica potassificada (lâmina FTN04-54,43); E) Alteração sericítica com sericita + muscovita em minério granítico (lâmina FTN04-54,43); F) Alteração sericítica confinada a veios de sericita + muscovita em matriz de quartzo fino do minério milonítico (lâmina FTN03-100,90). Legenda: Cb – carbonato; Chl – clorita; Ep – epidoto; Mc – microclínio; Ms – muscovita; Pl – plagioclásio; Qtz – quartzo; Ser – sericita. 46

Figura 17 – A e B) Paragênese calcopirita + pirita do minério milonítico ao qual o Au ocorre como pequenas inclusões na borda dos sulfetos (lâmina FTN03-98,34); C) Imagem em elétrons retro-espalhados de inclusões de Au na calcopirita associada à pirita do minério milonítico (detalhe das figuras A e B; lâmina FTN03-98,34); D) Calcopirita em matriz de quartzo fino sericitizada e cloritizada em minério milonítico (lâmina FTN03-98,34); E) Inclusões de calcopirita em cristal de pirita do minério granítico (lâmina FTN04-54,43); F) Inclusão de magnetita em calcopirita cogenética à pirita, e calcopirita em fratura na pirita do minério milonítico (lâmina FTN03-98,34). Legenda: Au – ouro; Chl – clorita; Cpy – calcopirita; Mag – magnetita; Py – pirita; Qtz – quartzo; Ser – sericita. 48

Figura 18 – A e B) Variação textural da pirita referente ao minério milonítico em matriz de quartzo fino (lâmina FTN03-98,34); C e D) Variação textural da pirita referente ao minério granítico em matriz de quartzo com alteração sericítica, além de clorita e epidoto (lâmina FTN04-54,43); E) Detalhe no MEV de fases ricas em Ag-Bi conjuntamente à calcopirita venular em cristal de pirita do minério milonítico (lâmina FTN03-98,34); F) Detalhe em MEV da liga Bi-Te em contato com pirita e calcopirita do minério granítico (lâmina FTN04-54,43). Legenda: Ag-Bi – liga de prata e bismuto; Bi-Te – liga de bismuto e telúrio; Chl – clorita; Cpy – calcopirita; Ep – epidoto; Mag – magnetita; Py – pirita; Qtz – quartzo; Ser – sericita. 49

Figura 19 – Gráficos de frequência da concentração (em ppm) de elementos nos depósitos Edu e Paraíba. A e B) Enxofre; C e D) Ferro; E e F) Cobalto. N referente ao número de amostras. 51

Figura 20 – Gráficos de frequência da concentração (em ppm) de elementos nos depósitos Edu e Paraíba. A e B) Chumbo; C e D) Níquel; E e F) Ouro. N referente ao número de amostras. 53

Figura 21 – Gráficos de frequência da concentração (em ppm) de elementos nos depósitos Edu e Paraíba. A e B) Zinco; C e D) Prata; E e F) Titânio. N referente ao número de amostras. 54

Figura 22 – Diagramas de correlação binária entre Au vs. Pb, Zn, Co e Fe em cristais de calcopirita dos depósitos Paraíba e Edu. 57

Figura 23 – Diagramas de correlação binária do Au vs. Pb, Co, Cu e Ni em cristais de pirita dos depósitos Paraíba e Edu. 59

Figura 24 – Diagramas binários que exibem a correlação inversa (moderada a fraca) entre Fe, Co e Ni em cristais de pirita oriundos dos depósitos Paraíba e Edu. 61

Figura 25 – Esquema exemplificado da distribuição espacial das cinco variedades texturais da pirita do depósito Paraíba. 63

Figura 26 – Correlação das concentrações Ni e Co (em ppm) contidos em cristais de pirita dos depósitos filonares de Au ± cu do Paraíba e Edu. Diagrama proposto por MONTEIRO (2008).
.....66

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Condições utilizadas para análise dos sulfetos.	20
Tabela 2 – Principais características das cinco variações texturais da pirita do depósito Paraíba.	40
Tabela 3 – Principais características da pirita dos minérios milonítico (lâmina FTN03-98,34) e granítico (lâmina FTN04-54,43) do depósito Edu.	50
Tabela 4 – Análise química mineral das amostras do depósito Edu. Valores em ppm, exceto para os elementos S, Cu e Fe, que estão em porcentagem.	92
Tabela 5 – Análise química mineral das amostras do depósito Paraíba. Valores em ppm, exceto para os elementos S, Cu e Fe, que estão em porcentagem.	92

Sumário

1. Introdução	13
1.1. Problemática, Objetivos e Justificativa	14
2. Materiais e Métodos	17
2.1 Seleção dos Depósitos.....	17
2.2 Seleção e Preparação das Amostras	17
2.3 Petrografia.....	18
2.4 Microsonda Eletrônica.....	18
3. Geologia Regional.....	21
3.1 Geologia do Setor Leste da PAAF	23
3.2 Geologia dos Depósitos Investigados.....	26
3.2.1 Depósito Paraíba	27
3.2.2 Depósito Edu (anteriormente denominado de depósito Santa Helena)	31
4. Resultados	34
4.1 Petrografia do depósito Paraíba	34
4.1.1 Petrografia da Pirita	37
4.2 Petrografia do depósito Edu	43
4.2.1 Petrografia da Pirita	47
4.3 Elementos-traço por Microsonda Eletrônica.....	50
5. Discussões	56
5.1 Limitações do método.....	56
5.2 Concentrações e relações entre ouro e elementos-traço.....	57
5.3 Porções mineralizadas nos depósitos estudados.....	62
5.3.1. Relação espacial das variedades texturais da Pirita do depósito Paraíba	63
5.4 Contribuições para o sistema magmático-hidrotermal do setor leste da PAAF	65
6. Conclusões.....	68
Referências.....	70
APÊNDICE A – Breve descrição das amostras	74
Depósito Paraíba	75
Depósito Edu	80
APÊNDICE B – Análise química de elementos-traço em sulfetos.....	91

1. Introdução

A Província Aurífera de Alta Floresta (PAAF), inserida na porção meridional do Cráton Amazônico, referente à área centro-norte do Estado do Mato Grosso, é constituída essencialmente por sequências plutono-vulcânicas geradas em arcos continentais paleoproterozoicos (ASSIS, 2015). A província é representada como uma faixa de direção NW-SE, de aproximadamente 500 km de extensão (SOUZA et al., 2005; PAES DE BARROS, 2007; SILVA & ABRAM, 2008) e é limitada ao norte pelo Gráben do Cachimbo e a sul pelo Gráben dos Caiabis.

Quanto à compartimentação geotectônica do Cráton Amazônico, dois modelos são cabíveis para a PAAF: (1) estar contida entre as províncias geocronológicas Ventuari-Tapajós (1,95-1,8 Ga) e Rio Negro-Juruena (1,8-1,55 Ga) segundo Tassinari & Macambira (1999), ou, estar entre (2) as províncias tectônicas Tapajós-Parima (2,03-1,88 Ga) e Rondônia-Juruena (1,82-1,54 Ga) de acordo com Santos et al. (2006). Independente da proposta adotada, os dados geológicos, geoquímicos e isotópicos advogam homogeneidade entre si, visto indicarem que essas províncias teriam sido geradas em ambientes de arcos magmáticos que evoluíram e foram agregados ao proto-cráton formado pela Província Amazônia Central no decorrer do Paleoproterozóico e Mesoproterozóico (TASSINARI & MACAMBIRA, 1999; SANTOS et al., 2006; SILVA & ABRAM, 2008).

As primeiras ocorrências de ouro na região foram reportadas no ano de 1978, de forma que atraíram a atenção de um grande número de garimpeiros, fato que acarretou na descoberta de vários depósitos auríferos aluvionares (ocorrências secundárias). Com a exaustão dessas reservas, deu-se início a etapa de exploração das ocorrências auríferas primárias, disseminadas em granitoides e/ou confinadas a filões. Essa etapa se estende até o atual momento. No período entre 1980 e 1999, a PAAF tornou-se uma das principais regiões auríferas do país, com uma produção acumulada na ordem de 160 toneladas de Au (PAES DE BARROS, 2007). Esses números correspondem à produção de ouro de origem primária, oriundo de mais de uma centena de depósitos de médio a alto teor e pequeno porte (< 5 t Au) concentrados ao longo do cinturão Peru-Trairão, de direção NW-SE (PAES DE BARROS, 2007; ASSIS et al., 2014).

De acordo com a assinatura geoquímica do minério primário, em conjunto aos seus estilos e paragêneses, é possível identificar a presença de quatro grupos principais de mineralizações auríferas na província (XAVIER et al., 2009; ASSIS et al., 2014): (1) depósitos de Au $\pm$ Cu disseminados (e.g. depósitos Luizão, Pé Quente, Serrinha e X1) e (2) depósitos de Au $\pm$ Cu filonares (e.g. Edu, Peteca e Paraíba), ambos predominantemente representados por pirita,

mas com concentrações variáveis de calcopirita e hematita; (3) depósitos filonares e/ou disseminados de $\text{Au} \pm \text{Cu} + \text{Mo}$ (e.g. Ana e Jaca) com pirita, calcopirita e molibdenita; e (4) depósitos de $\text{Au} + \text{Zn} + \text{Pb} \pm \text{Cu}$ filonares (e.g. Francisco e Bigode), constituídos por pirita, esfalerita e galena, além de menores concentrações de calcopirita e digenita. No conjunto, os depósitos pertencentes aos grupos (1), (2) e (3) estão eminentemente hospedados em sistemas graníticos cálcio-alcalinos oxidados, enquanto aqueles englobados no grupo (4) ocorrem hospedados em subvulcânicas, vulcano-sedimentares e granitos alcalinos epizonais e oxidados. Em adicional, os depósitos contidos nos grupos (1) e (2) seriam equivalentes a sistemas do tipo ouro pórfiro, enquanto aqueles pertencentes aos grupos (3) e (4) seriam similares a sistemas epitermais de baixa a intermediária sulfetação (ASSIS et al., 2014).

1.1. Problemática, Objetivos e Justificativa

Apesar da Província exibir grande potencial em hospedar mineralizações auríferas primárias, sua geologia ainda necessita de estudos mais detalhados, particularmente em áreas-chave que permitam uma melhor definição do ambiente em que esses depósitos teriam se formado. Embora os depósitos auríferos da província possam ser agrupados em quatro tipologias principais (XAVIER et al., 2009; ASSIS et al., 2014), a grande maioria dos estudos tem focado na descrição e compreensão metalogenética dos depósitos de $\text{Au} \pm \text{Cu}$ disseminados, pertencentes ao grupo (1).

O grupo (2), por exemplo, corresponde a uma das tipologias mais novas propostas para a Província (MESQUITA et al., 2015) que, apesar de sua importância econômica, é a menos estudada, visto seus principais atributos geológicos (*e.g. hospedeiras, alteração hidrotermal, paragênese do minério, regime de fluidos, idade das hospedeiras e do minério, afinidades geoquímicas das hospedeiras*) estarem apoiados em poucos estudos de caso (e.g. depósitos Edu, Paraíba e Peteca). Mesmo calcado em poucos estudos de casos, alguns de seus principais atributos geológicos, assim como seu provável modelo genético, estão relativamente bem conhecidos. No entanto, estudos de química mineral que quantifiquem as concentrações de elementos-traço na pirita proveniente da zona mineralizada ainda não foram desenvolvidos para essa classe de depósitos (grupo 2).

Neste contexto, esse trabalho tem por temática principal a determinação quantitativa de elementos-traço (e.g. Ni, Co, Au, Ag, Al, Ti, Cr, Pb, Fe, As, etc) em cristais de pirita (principal mineral hospedeiro do Au na província), provenientes de dois importantes depósitos filonares de $\text{Au} \pm \text{Cu}$ da PAAF. Os depósitos filonares de $\text{Au} \pm \text{Cu}$ (grupo 2) do Edu (PAES DE

BARROS, 2007) e Paraíba (PAES DE BARROS, 1994; TREVISAN, 2015), respectivamente localizados nas cidades de Santa Helena e Peixoto de Azevedo (Figura 1), serão utilizados como estudos de caso, por contarem com uma documentação geológica bastante robusta, visto terem sido alvos de estudos geológicos mais sistemáticos.

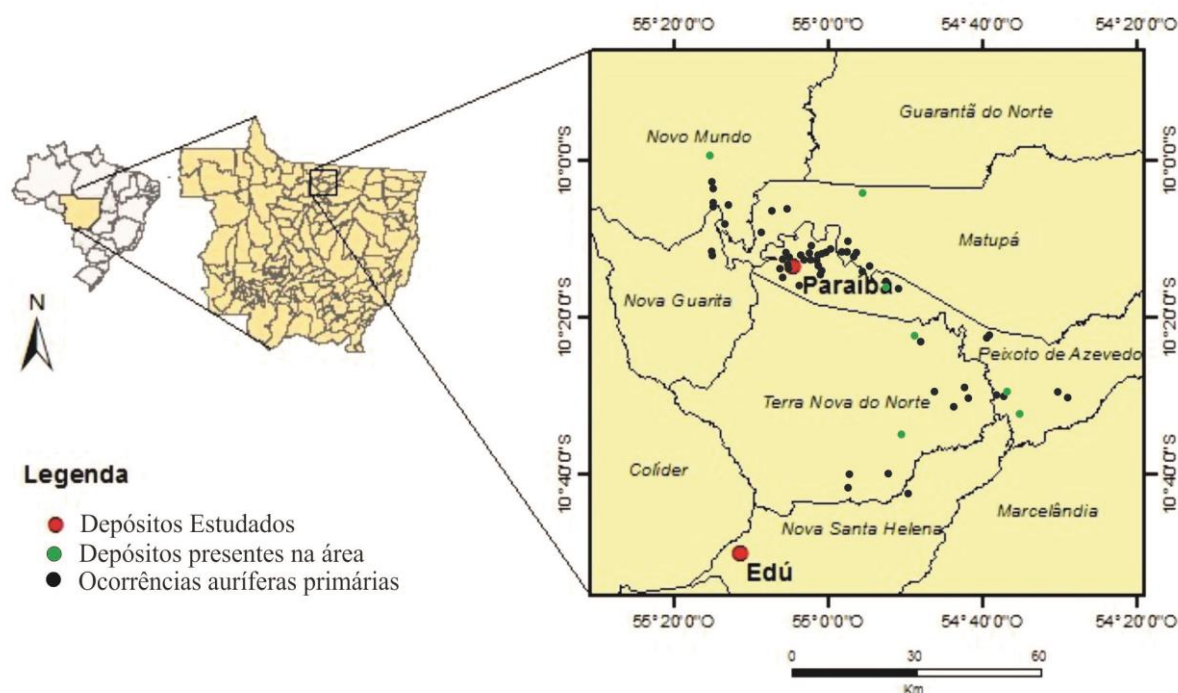


Figura 1 - Localização dos principais depósitos auríferos na porção leste da Província Aurífera de Alta Floresta, com destaque para os depósitos do Edu e Paraíba, localizados nos municípios de Nova Santa Helena e Peixoto de Azevedo (MT), respectivamente.

Essa temática mostra-se de grande importância tanto no âmbito acadêmico quanto no econômico, pois:

1. **Âmbito Acadêmico:** Auxiliará (i) o estabelecimento de uma rotina de pesquisa analítica (elementos-traço em pirita por microsonda eletrônica) ainda inoperante na universidade; e (ii) a compreensão das condições de formação do fluido mineralizante, visto indicar eventuais enriquecimentos em Au e mudanças físico-químicas durante o seu processo evolutivo (interação fluido/rocha). Adicionalmente, o trabalho obtém os primeiros dados de química mineral em sulfetos provenientes dos depósitos do grupo (2) da PAAF.

2. **Âmbito Econômico/Prospectivo:** Os resultados podem ter importantes implicações prospectivas para empresas que pretenderem avançar com estudos na área, visto permitir (i) a avaliação de possíveis diferenças composicionais entre borda e centro dos cristais de pirita, assim como entre as suas variedades texturais (diferentes gerações?); e (ii) auxiliar na compreensão do processo evolutivo do fluido mineralizantes nos depósitos filonares de $\text{Au} \pm \text{Cu}$.

2. Materiais e Métodos

2.1 Seleção dos Depósitos

O trabalho será realizado utilizando amostras provenientes de dois dos depósitos auríferos filonares da PAAF: depósito Edu (PAES DE BARROS, 2007) e Paraíba (PAES DE BARROS, 1994; TREVISAN, 2015), sendo o primeiro inicialmente reconhecido pelo nome depósito Santa Helena, por localizar-se na cidade de Nova Santa Helena (MT). Esses depósitos foram escolhidos por corresponderem aos principais representantes do grupo de mineralizações filonares de $\text{Au} \pm \text{Cu}$ (grupo 2) e, portanto, contarem com estudos mais sistemáticos quanto a caracterização e compreensão de seus principais atributos geológicos e de seu possível modelo genético.

2.2 Seleção e Preparação das Amostras

Um total de 30 amostras de mão compõe o material estudado e descrito neste trabalho. Em sua maioria as amostras são provenientes de testemunhos de sondagens, enquanto que uma pequena parcela é proveniente de afloramentos e/ou do *shaft* de exploração por atividade garimpeira. Das 30 amostras, 17 delas pertencem ao depósito Edu, enquanto as 13 demais são provenientes do depósito Paraíba. Deste total, foram confeccionadas 11 lâminas delgadas polidas representativas das principais zonas mineralizadas dos depósitos. As lâminas foram confeccionadas no Laboratório de Laminação do Departamento de Petrologia e Metalogenia, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita-Filho” (UNESP, Rio Claro). A seleção destas 11 amostras foi feita com base na presença e quantidade de sulfetos (zonas mineralizadas) ao longo dos diferentes estágios das alterações hidrotermais. Deste conjunto, foram confeccionadas quatro lâminas para o depósito Paraíba, e sete para o depósito Edu. Para esse último caso, três delas voltadas para a análise de sulfetos, além de quatro para descrição da alteração hidrotermal associada ao minério.

2.3 Petrografia

A análise petrográfica em luz transmitida e refletida teve por objetivo a determinação de estilo e paragênese mineral do minério, assim como dos padrões da alteração hidrotermal a ele associados. Essa etapa focou principalmente a descrição e caracterização da pirita em função de suas diferenças texturais, para tentar enquadrá-las em possíveis estágios da precipitação de sulfetos.

A descrição microscópica foi feita juntamente com a descrição macroscópica das amostras de mão, referentes ao conjunto de 11 lâminas. Na descrição macroscópica foram descritos aspectos como cor, textura e estrutura, assim como o estilo, paragênese mineral e sequenciamento da alteração hidrotermal e das zonas de minério. Esta etapa foi realizada no Laboratório de Microscopia do Departamento de Petrologia e Metalogenia (UNESP, Rio Claro), utilizando microscópio petrográfico óptico convencional da marca Zeiss.

A petrografia convencional foi refinada com a utilização do Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV). Nesta etapa buscou-se a determinação de fases menores não reconhecidas durante a petrografia convencional, a identificação de possíveis zoneamentos em sulfetos, possíveis texturas de substituição na pirita, além da complementação dos modos de ocorrência e composição do Au. Essa etapa foi realizada no Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura do Departamento de Petrologia e Metalogenia (UNESP, Rio Claro), utilizando um Microscópio Eletrônico de Varredura JEOL JSM-6010LA. Em adicional, essa etapa permitiu uma melhor assertividade quanto a escolha dos cristais a serem analisados na Microsonda Eletrônica na etapa seguinte.

2.4 Microsonda Eletrônica

A microsonda eletrônica é capaz de realizar análises químicas quantitativas *in situ* dos minerais. Dessa forma, é amplamente utilizada para quantificar a concentração de elementos maiores e traço em vários minerais (e.g. muscovita, sericita, clorita, rutilo, feldspatos, anfibólios, micas, apatita, titanita, etc).

Diferentemente do Microscópio Eletrônico de Varredura, que é capaz de fornecer imageamento e análises semi-quantitativas, a Microsonda Eletrônica tem a capacidade de analisar o espectro de comprimentos de onda, fornecendo assim uma quantificação mais precisa e, portanto, análises quantitativas.

Dentre os principais componentes constituintes da Microsonda eletrônica, existe um filamento de tungstênio que gera o feixe de elétrons; uma câmara cilíndrica vertical, onde estão localizadas diversas lentes eletro-ópticas que tratam o feixe de elétrons; além de cinco detectores distintos.

O equipamento conta com um detector de catodo-luminescência (CL), que não foi utilizado nas análises. Conta também com um detector de elétrons secundários (SE), produzidos pela própria amostra e excelentes para visualização de superfície e morfologia do material analisado. Também com um detector BSE (*backscattered electrons*), responsável pela análise dos elétrons retro-espalhados, relacionados aos os elétrons que retornam do feixe original, após o contato dos mesmos com a amostra.

Além dos elétrons secundários e dos elétrons retro-espalhados, ainda existe um terceiro produto resultante do contato entre o feixe de elétrons e a amostra, chamado Raio-X Característico. Neste caso, um elétron do feixe colide e retira um elétron da camada orbital do átomo e, em seguida, um elétron de uma outra camada mais externa toma seu lugar. Esse “salto”, realizado pelo elétron de uma camada mais externa para preencher o vazio deixado pelo elétron expulso, emite um fóton de raio-x característico para cada elemento.

Para a análise do Raio-X Característico o equipamento conta com um detector EDS (*energy dispersive spectrometer*), que oferece uma leitura total do espectro de energia, porém com menor precisão e, portanto, não ideal para separação de elementos. Por fim, também conta com cinco detectores WDS (*wavelength dispersive spectrometer*), que utiliza diferentes cristais analisadores e é ideal para a separação de elementos, além de apresentar uma melhor resolução.

Deste modo, as análises de química mineral foram realizadas junto ao o Laboratório de Microsonda Eletrônica do Departamento de Petrologia e Metalogenia (UNESP, Rio Claro), utilizando-se microsonda JEOL JXA-8230 Superprobe, equipada com cinco detectores WDS.

Preliminarmente à execução das análises, as lâminas foram metalizadas com película de carbono de espessura 200 Å. Em ambos os depósitos, foram efetuadas análises para a quantificação dos seguintes elementos: Ag, Al, As, Au, Co, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, S, Sb, Ti e Zn. Utilizou-se aceleração de 15kV e corrente de 100nA. A correção de matriz foi realizada online pelo software fornecido pela JEOL, utilizando-se método ZAF. As condições utilizadas para análise são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Condições utilizadas para análise dos sulfetos.

Elemento	Padrão	Distribuidor	Ch1	Ch2	Ch3	Ch4	Ch5	Linha	Bkg (s)	Pico (s)	DL (ppm)
Al	Al ₂ O ₃	P&H	TAP					Ka	100	200	15
As	InAs	P&H		TAP				La	100	200	45
Sb	Sb	P&H			PET			La	35	70	95
Pb	PbS	P&H			PET			Ma	65	130	150
S	FeS ₂	P&H			PET			Ka	10	20	80
Au	Au	Geller			PET			Ma	80	180	80
Au	Au	Geller				PET		Ma	60	120	80
Cr	Cr	Geller				PET		Ka	30	60	35
Ti	Ti	Geller				PET		Ka	30	60	30
Ag	Ag	Geller				PET		La	100	200	30
Zn	ZnS	P&H					LIF	Ka	50	100	110
Cu	CuFeS ₂	P&H					LIF	Ka	60	120	80
Ni	NiO	P&H					LIF	Ka	50	100	65
Co	Co	Geller					LIF	Ka	60	120	50
Fe	FeS ₂	P&H					LIF	Ka	10	20	120

Ch1 a 5 = Número do espectrômetro utilizado (canal)

Bkg = tempo de leitura na posição do background superior e inferior, em segundos

Pico = tempo de leitura na posição do pico, em segundos

DL = Limite mínimo de detecção

3. Geologia Regional

A Província Aurífera de Alta Floresta (PAAF) localiza-se na porção centro-norte do Estado de Mato Grosso, setor meridional do Cráton Amazônico. O Cráton Amazônico corresponde a uma das maiores áreas cratônicas do mundo, visto se estender por toda a porção norte da América do Sul. É uma entidade geotectônica que se mantém estável desde o Neoproterozoico. Está limitado pelas Faixas Móveis neoproterozoicas de Tucavaca na Bolívia, Araguaia-Cuiabá no Brasil Central, e a oeste pelo Sistema Orogênico do Tocantins, (TASSINARI E MACAMBIRA, 1999).

Segundo Hasui (2012), o embasamento do Cráton Amazônico é exposto nas províncias Tapajós e Rio Branco, separadas pela Província do Amazonas. A Província Tapajós corresponde a porção ocidental do Escudo do Brasil Central, segmento onde a PAAF também está localizada, enquanto que a Província Rio Branco coincide com o Escudo das Guianas, sendo ambas de idade Pré-Cambriana. A Província do Amazonas, de idade paleozoica, conta com a Bacia Sedimentar Amazônica, (TASSINARI E MACAMBIRA, 1999).

No Brasil, o cráton tem uma área aproximada de 4,4 milhões de quilômetros quadrados, o que corresponde à cerca de metade do território. Ainda assim, é considerada a porção menos conhecida do país, devido às dificuldades enfrentadas na realização de trabalhos investigativos, em decorrência da densa cobertura vegetal e espesso perfil pedogenético (HASUI, 2012).

Por apresentar ampla extensão espacial, é natural que existam separações e compartimentações geotectônicas para o Cráton Amazônico. A primeira delas foi sugerida por Cordani et al. (1979), o qual separava o cráton em quatro principais províncias geocronológicas, as quais incluíam: uma arqueana (Amazônia Central), margeada por duas faixas móveis de direção NW nos lados nordeste (Maroni-Itacaiunas) e sudeste (Rio Negro-Jururena), e uma faixa mesoproterozoica (Rondoniana), no extremo sudoeste do cráton.

Atualmente, após os avanços tecnológicos na sistemática geocronológica e isotópica, a compartimentação do Cráton Amazônico passou por diversas modificações, de forma a existirem dois modelos principais aceitos, referentes à sua compartimentação geotectônica. O primeiro deles, proposto por Tassinari e Macambira (1999), subdivide o cráton em seis faixas de direção geral NW-SE, enquanto que o segundo modelo, proposto por Santos et al. (2006), separa em sete faixas com direções NW-SE e uma faixa de direção NE-SW.

Dessa forma, segundo o modelo de Tassinari & Macambira (1999), a PAAF está contida entre as províncias geocronológicas Ventuari-Tapajós (1,95-1,8 Ga) e Rio Negro-Juruena (1,8-1,55 Ga), enquanto que o modelo de Santos et al., (2000), Santos (2003) e Santos et al. (2006) defende que a PAAF está inserida entre as províncias tectônicas Tapajós-Parima (2,03-1,88 Ga) e Rondônia-Juruena (1,82-1,54 Ga). Ambos modelos contendo a localização da PAAF podem ser observados na Figura 2.

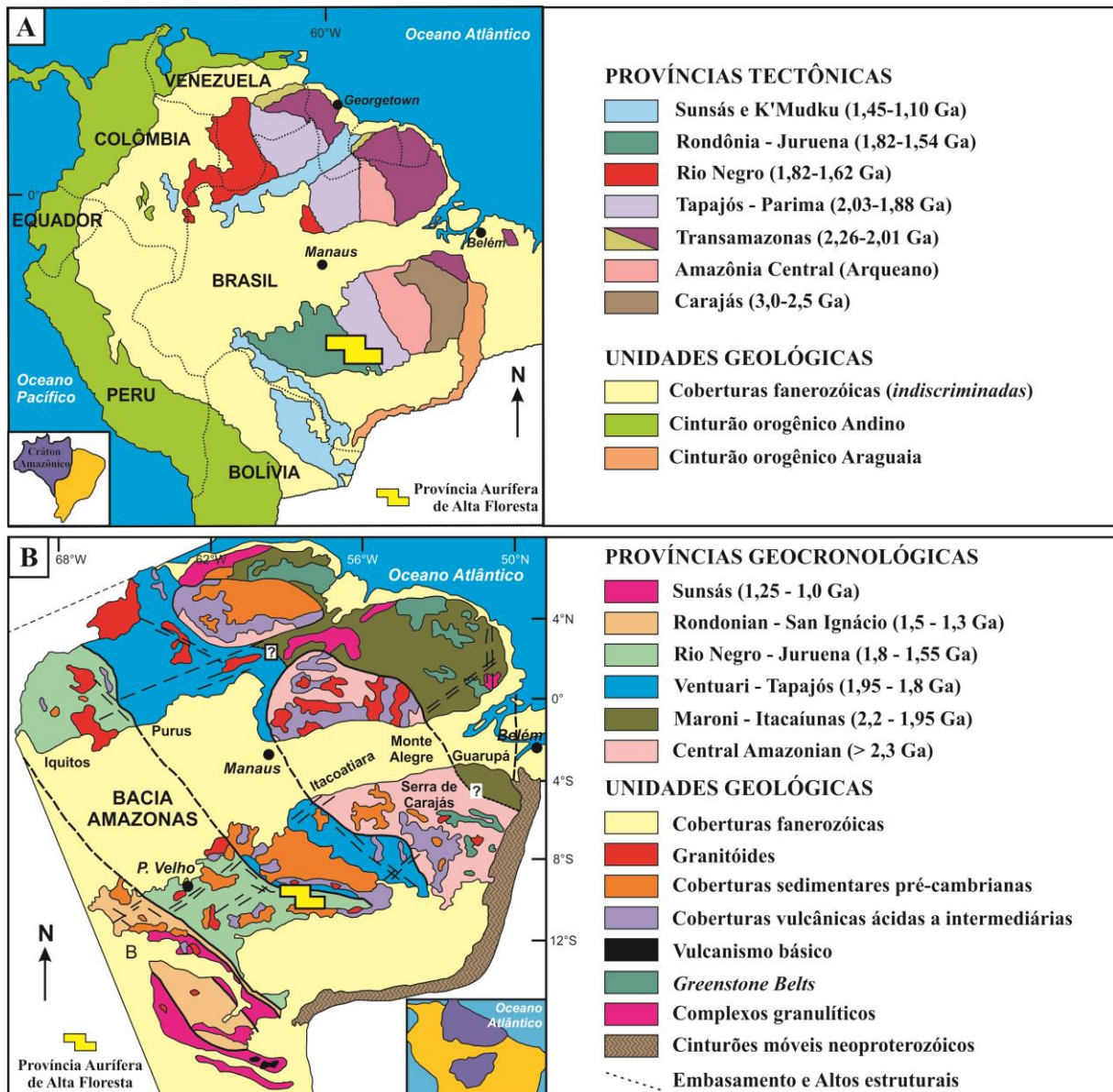


Figura 2 - Localização da Provincia Aurífera de Alta Floresta de acordo com os modelos de (A) Santos et al. (2006) e (B) Tassinari & Macambira (1999). Quadricula referente a PAAF baseada em Souza et al. (2005).

3.1 Geologia do Setor Leste da PAAF

O setor leste da PAAF é composto principalmente por rochas plutônicas e vulcânicas cálcio-alcalinas oxidadas. Essas unidades são ainda truncadas por rochas vulcânicas, sub-vulcânicas e granitóides alcalinos (ASSIS, 2015).

De forma geral, as unidades presentes no setor leste podem ser agrupadas em quatro grandes domínios, sendo eles: (1) embasamento granítico (2,81 a 1,99 Ga), (2) unidades plutono-vulcânicas e vulcano-sedimentares félsicas do tipo I (1,97 a 1,78 Ga), (3) unidades plutono-vulcânicas anorogênicas e pós-orogênicas (1,78 a 1,77 Ga), e (4) sequências sedimentares clásticas (~1,37 Ga), representadas na página seguinte pela Figura 3.

O embasamento granítico do setor leste da PAAF é representado pelo complexo Cuiú-Cuiú (1.992 ± 7 Ma e 1.984 ± 7 Ma; SOUZA et al., 2005; PAES DE BARROS, 2007), aflorante nas proximidades das cidades de Peixoto de Azevedo e Novo Mundo. Este complexo é composto por gnaisses graníticos a tonalíticos, migmatitos intrudidos por granitoides cálcio-alcalinos de composição tonalítica a monzogranítica (PAES DE BARROS, 2007), além de xistos, rochas máficas, ultramáficas e formações ferríferas bandadas (DARDENNE & SCHOBENHAUS, 2001).

A Suíte Intrusiva Pé Quente (ASSIS, 2011), intrudida no Complexo Cuiú-Cuiú, pode ser subdividida em duas suítes: (1) Suíte Pé Quente, datada de 1.979 ± 31 Ma (U-Pb em zircão por LA-ICP-MS; MIGUEL-JR, 2011), composta por leucomonzonito médio, quartzo monzodiorito médio, monzodiorito, albitito fino, diques de granodiorito aplítico e biotita tonalito médio (ASSIS, 2011; ASSIS et al., 2014); e (2) Suíte Monzonítica, de idade ainda desconhecida, mas composta por monzonito grosso, quartzo monzonito e quartzo monzodiorito subordinados.

O Granito Novo Mundo (ABREU, 2014; PAES DE BARROS, 2007) é composto principalmente por sienogranito e monzogranito, com idades Pb-Pb de 1.964 ± 1 Ma e 1.970 ± 3 Ma, respectivamente (U-Pb em zircão por Pb-Pb; PAES DE BARROS, 2007), com granodiorito, quartzo monzonito e monzonito subordinados, todos cortados por diques de gabro e diorito.

O Granito Aragão, que aflora a sudoeste do município de Novo Mundo, é responsável por hospedar vários depósitos auríferos filonares, (MIGUEL-JR, 2011; ASSIS et al., 2014). É composto por sienogranito e monzogranito isotrópico de granulação fina a média, texturas equigranular com fácies porfirítica, fanerítica média e microgranular (VITÓRIO, 2010). Exibe

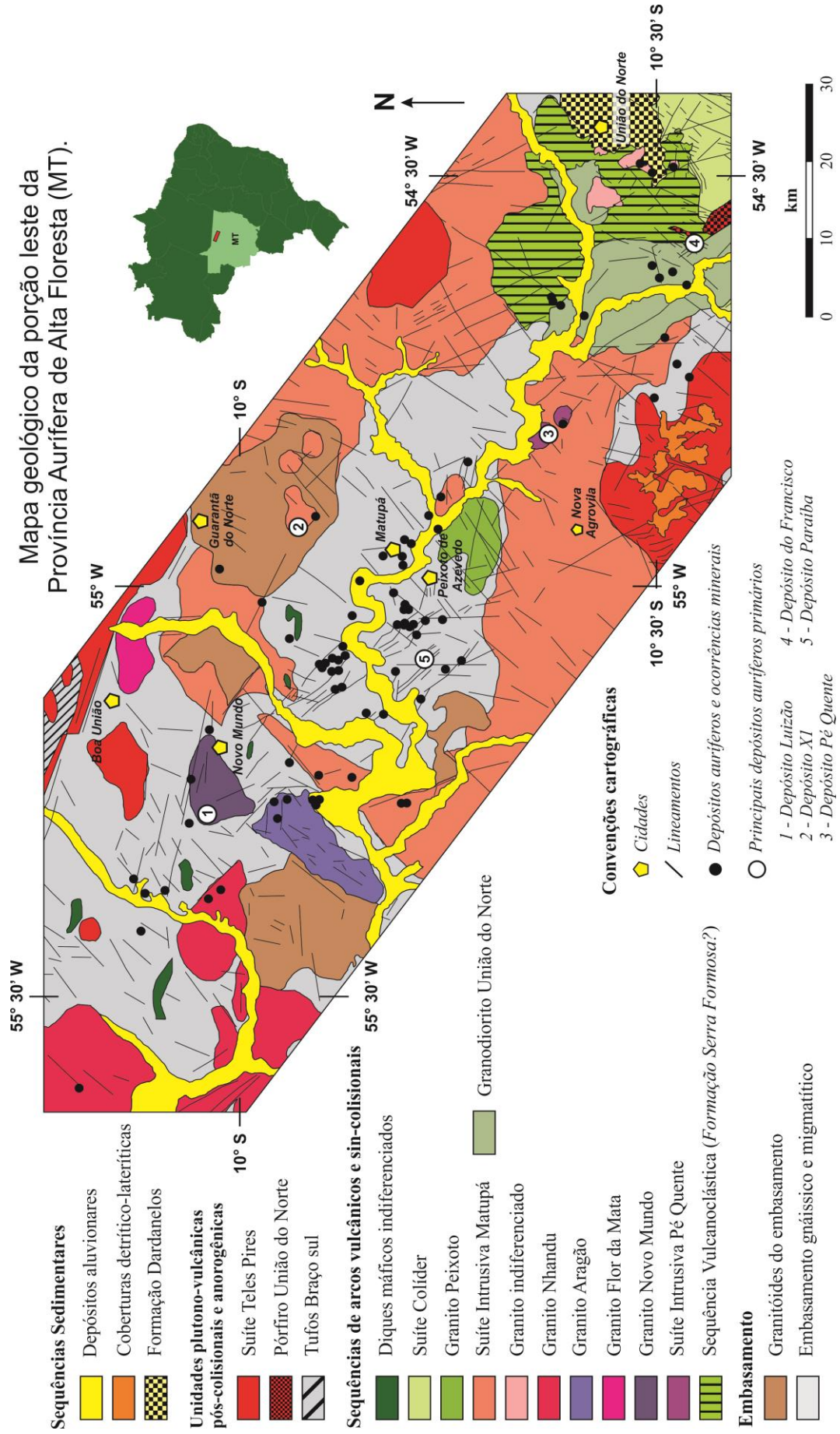


Figura 3 – Mapa geológico do segmento leste da Província Aurífera de Alta Floresta. O depósito Edu localiza-se a sul do depósito Paraíba e a oeste do depósito Pé Quente, fora da área do mapa. Extraído de ASSIS, 2015.

idade de cristalização U-Pb em zircão por LA-ICP-MS de 1.931 ± 12 Ma (MIGUEL-JR, 2011).

Finalizando a série de plútons intrudidos no embasamento Cuiú-Cuiú, ocorre o Granito Flor da Mata, de idade ainda desconhecida. Trata-se, neste conjunto de unidades, da única que não hospeda mineralizações auríferas. É composta por álcali-feldspato granito a monzogranito do tipo I, levemente evoluídos, com cristais de quartzo leve a fortemente orientados (RAMOS, 2011).

Intrusivas nas rochas supracitadas, estão unidades plutono-vulcânicas e vulcano-sedimentares félsicas do tipo I, que correspondem ao maior conjunto litodêmico da província, originadas do estágio de maior crescimento crustal da província.

O Granito Nhandu é formado por magnetita-biotita monzogranito e sienogranito cálcio-alcalinos, com enclaves de diorito a quartzo monzodiorito, além de granitos sub-vulcânicos subordinados, quartzo sienito finos e granófiros, (SOUZA et al., 1979; MORETON & MARTINS, 2005; SOUZA et al., 2005; PAES DE BARROS, 2007). Sua idade de cristalização (U-Pb em zircão por LA-ICP-MS) está entre 1.889 ± 17 Ma e $1.879 \pm 5,5$ Ma (SILVA & ABRAM, 2008).

A Suíte Intrusiva Matupá é formada por quatro litofácies, sendo elas: (1) biotita granito e biotita monzogranito, com idade de cristalização Pb-Pb em zircão de 1.872 ± 12 Ma (MOURA, 1998); (2) hornblenda monzogranito, biotita-hornblenda monzonito e hornblenda monzodiorito; (3) clinopiroxênio-hornblenda monzogranito e clinopiroxênio-hornblenda monzodiorito; e (4) granito, biotita granito e monzogranito (MOURA, 1998; MORETON & MARTINS, 2005). Entretanto, apenas as fácies 1 e 2 hospedam mineralizações auríferas sulfetadas, a exemplo do depósito de Serrinha (MOURA et al., 2006).

O Granito Peixoto (PAES DE BARROS, 2007), constituído por biotita monzogranito, biotita granodiorito e biotita tonalito, aflora nos arredores do município Peixoto de Azevedo. Possui idade de cristalização Pb-Pb em zircão de 1.792 ± 2 Ma (PAES DE BARROS, 2007).

A Suíte Colíder é formada por rochas subvulcânicas, vulcânicas, piroclásticas e epiclásticas de composições intermediária a ácida (SOUZA et al., 2005; SILVA & ABRAM, 2008). De uma forma geral, correspondem a rochas cálcio-alcalinas de alto potássio, que exibem afinidade geoquímica com as séries graníticas orogênicas *sin-* a pós-orogênicas (MORETON & MARTINS, 2005; SOUZA et al., 2005). As idades de cristalização vaziam de 1.786 ± 17 Ma (JICA/MMAJ, 2000) a 1.781 ± 8 Ma (PIMENTEL, 2001).

No conjunto, essas unidades são correlacionadas à construção do Arco Magmático Juruena, de idade entre 1,85 e 1,75 Ga (SOUZA et al., 2005; SILVA & ABRAM, 2008; ASSIS, 2015).

Sobrepondo na forma de derrames, ou truncando todas as anteriormente descritas, estão as suítes plutono-vulcânicas anorogênicas e pós-orogênicas, representantes do último estágio magmático que teria ocorrido na província (ASSIS, 2015).

Neste contexto, tem-se a Suíte Intrusiva Teles Pires, constituída por biotita granitos e álcali-feldspato granito, de colorações avermelhadas, granulação média a grossa, texturas porfírica, granofírica, *rapakivi* e *anti-rapakivi* (SOUZA et al., 1979; SILVA et al., 1980; SOUZA et al., 2005). Ocorre na forma de batólitos e *stocks* intrusivos em todas as unidades supracitadas. Possui idades U-Pb em zircão que variam de 1.757 ± 16 Ma a 1.782 ± 17 Ma, (SANTOS, 2000; PINHO et al., 2003; MORETON & MARTINS, 2005; SILVA & ABRAM, 2008).

Nomeada de Pórfiro de União do Norte (ASSIS, 2011; ASSIS et al., 2012), a unidade composta por álcali-feldspato granito porfírico a monzogranito porfírico é petrográfica e geoquimicamente correlacionada à Suíte Intrusiva Teles Pires. Exibe idade de cristalização em 1.774 ± 7.5 Ma (U-Pb em zircão por LA-ICP-MS; MIGUEL-JR, 2011). Segundo Assis (2011), esta unidade apresenta relações espaciais e genéticas com a gênese de sistemas epitermais de intermediária sulfetação mineralizados a Au + metais de base, a exemplo dos depósitos do Bigode (ASSIS, 2008) e Francisco (ASSIS, 2011).

Por fim, a Formação Dardanelos, pertencente ao Grupo Caiabis, recobre todas as unidades anteriores com sequências areníticas e arcoseanas. Essa unidade apresenta idades U-Pb em cristais de zircão entre 1.987 ± 4 Ma e 1.377 ± 13 Ma (SAES & LEITE, 2003), o que sugere a idade máxima de 1,44 Ga como representativa para o início de sua sedimentação (SOUZA et al., 2005).

3.2 Geologia dos Depósitos Investigados

Os depósitos filonares de Au $\pm$ Cu utilizados como estudos de caso neste trabalho enquadram-se no grupo 2 de depósitos proposto por Assis et al. (2014). Esse grupo, conta com depósitos eminentemente representados por pirita e com concentrações variadas de calcopirita e hematita. Em adicional, os depósitos desse grupo estão hospedados em sistemas graníticos cálcio-alcalinos oxidados, afetados por zonas de cisalhamento responsáveis por cataclasar e/ou milonitizar as hospedeiras (MESQUITA et al., 2015). Visto corresponder a tipologia de depósitos mais recentemente proposta para a província, exibe incertezas quanto ao seu modelo genético, que a depender do autor os considera como pertencentes a sistemas do tipo (1) ouro orogênico/mesothermal (PAES DE BARROS, 1994; SIQUEIRA, 1997; MORETON &

MARTINS, 2005; SILVA & ABRAM, 2008; MESQUITA et al., 2015), (2) sistemas auríferos relacionados a sistemas félsico (*intrusion-related gold systems* – IRGS; PAES DE BARROS, 2007), ou então, (3) pertencentes ao modelo do tipo Au pórfiro (ASSIS et al., 2014; TREVISAN, 2015).

3.2.1 Depósito Paraíba

O Depósito Paraíba, também conhecido como Filão do Paraíba, insere-se na porção leste da PAAF, no município de Peixoto de Azevedo (MT). Corresponde a um sistema filoneano com pelo menos três veios de quartzo, com forma lenticular e ramificada, que se estendem por cerca de 1500 m (ABREU FILHO et al., 1992; PAES DE BARROS, 1994; SIQUEIRA, 1997; SOUZA et al., 2005; MORETON & MARTINS, 2005; SILVA & ABRAM, 2008). A Figura 4 ilustra o mapa geológico do depósito, confeccionado pela empresa P.A. Gold Mineração e Metalurgia Ltda em 2013, e apresentado em 2014 juntamente com as Figuras 5 e 6, que mostram detalhes sobre a geologia da área ao sul do *shaft* e uma seção de sondagem do depósito, respectivamente.

O depósito está hospedado em anfíbolitos da Suíte Intrusiva Flor da Serra, em monzogranitos da Suíte Intrusiva Matupá e gnaisses do embasamento (ABREU FILHO et al., 1992; PAES DE BARROS, 1994; SOUZA et al., 2005; MORETON & MARTINS, 2005; SILVA & ABRAM, 2008). Entretanto, estudos mais recentes descrevem biotita gnaiss e biotita tonalito, além de diques máficos como os principais litotipos do depósito (TREVISAN, 2015). O biotita gnaiss é considerado parte do embasamento da PAAF e não hospeda nenhuma mineralização, enquanto que o biotita tonalito neste embasamento é considerado a hospedeira do depósito. Embora intrusivos nessas unidades, os diques vulcânicos não apresentam mineralização (TREVISAN, 2015).

A mineralização é estruturalmente controlada e confinada a veios de quartzo maciços ou bandados e sulfetados, encaixados concordantemente em uma zona de cisalhamento do tipo transcorrente dextral, com expressiva foliação milonítica (ABREU FILHO et al., 1992; PAES DE BARROS, 1994). Neste contexto, o depósito teria sido formado em nível crustal mais profundo (TREVISAN, 2015).

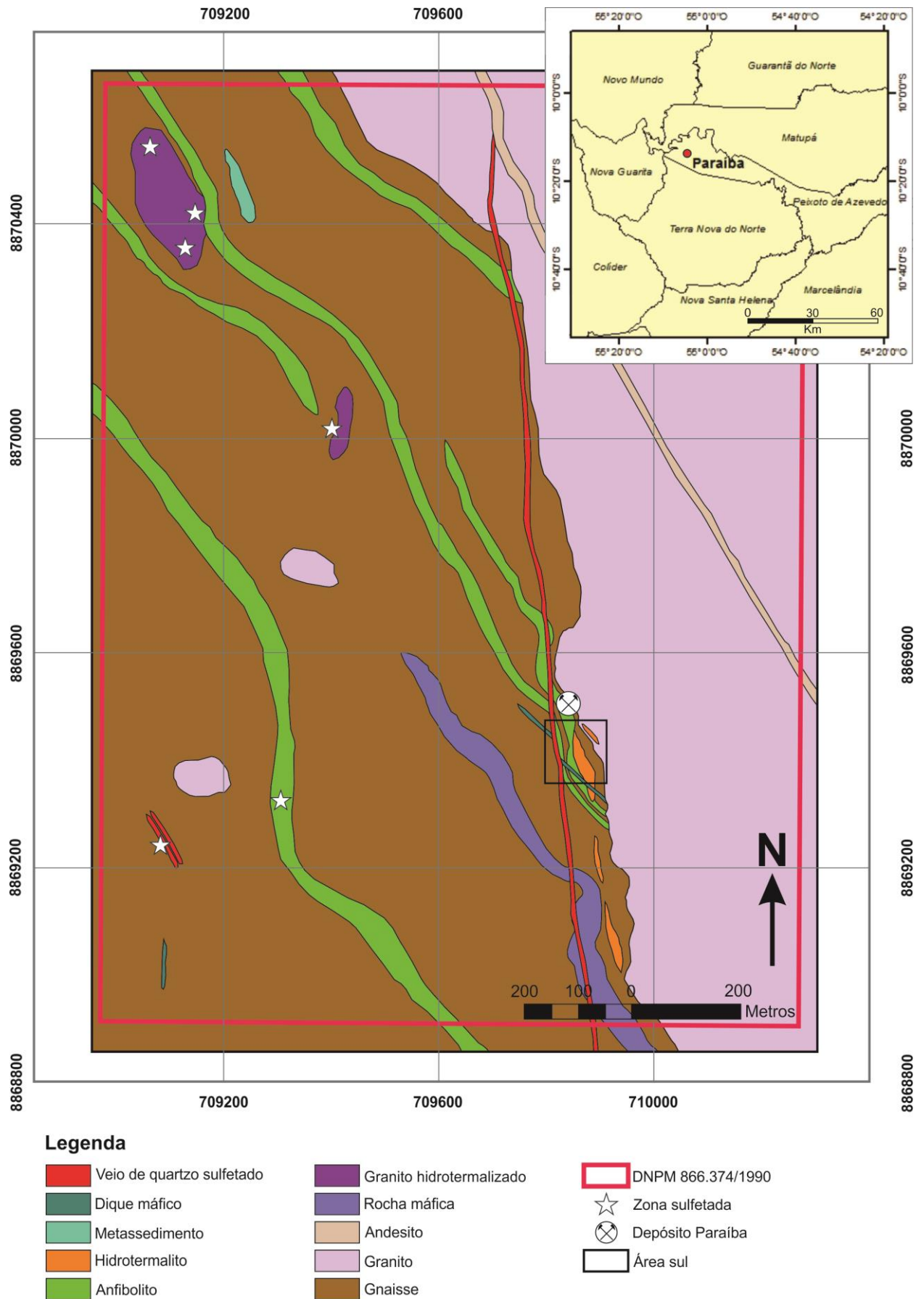


Figura 4 – Mapa geológico do depósito Paraíba. Modificado de VIAL et al., 2014.

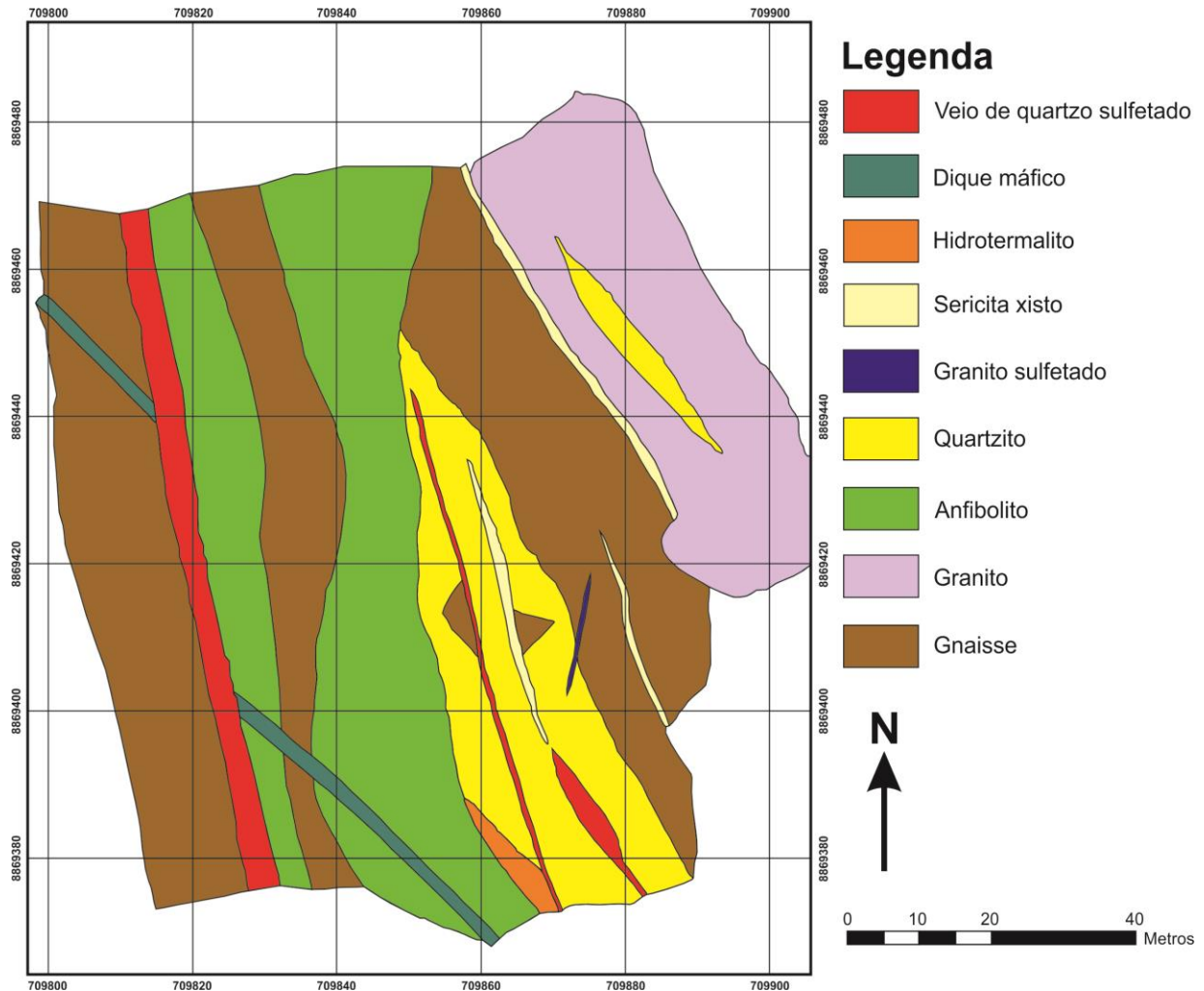


Figura 5 – Detalhe da geologia ao sul do shaft do depósito Paraíba (Área sul da Figura 4). Extraído de VIAL et al., 2014.

Em relação às alterações hidrotermais, as porções distais ao principal veio de quartzo aurífero apresentam alteração potássica com microclínio, enquanto que as porções intermediárias são representadas por alteração propilítica, além de potássica (com biotita), silicificação, sericitização e, em menor escala, alteração clorítica. Por fim, as porções proximais são representadas por alteração propilítica, mas principalmente pela alteração sericítica ($\pm$ muscovítica), com segmentos fortemente silicificados (PAES DE BARROS, 1994; SILVA & ABRAM, 2008; TREVISAN, 2015).

A paragênese mineral do minério é composta principalmente por pirita, além de calcopirita, magnetita, bismutinita, bismuto, pirrotita, esfalerita, molibdenita, galena, tetrahedrita, calcocita, bornita e covelita subordinadas (SILVA & ABRAM, 2008). O ouro ocorre na forma de inclusões sub-arredondadas em cristais de pirita, e restritamente na calcopirita (PAES DE BARROS, 1994).

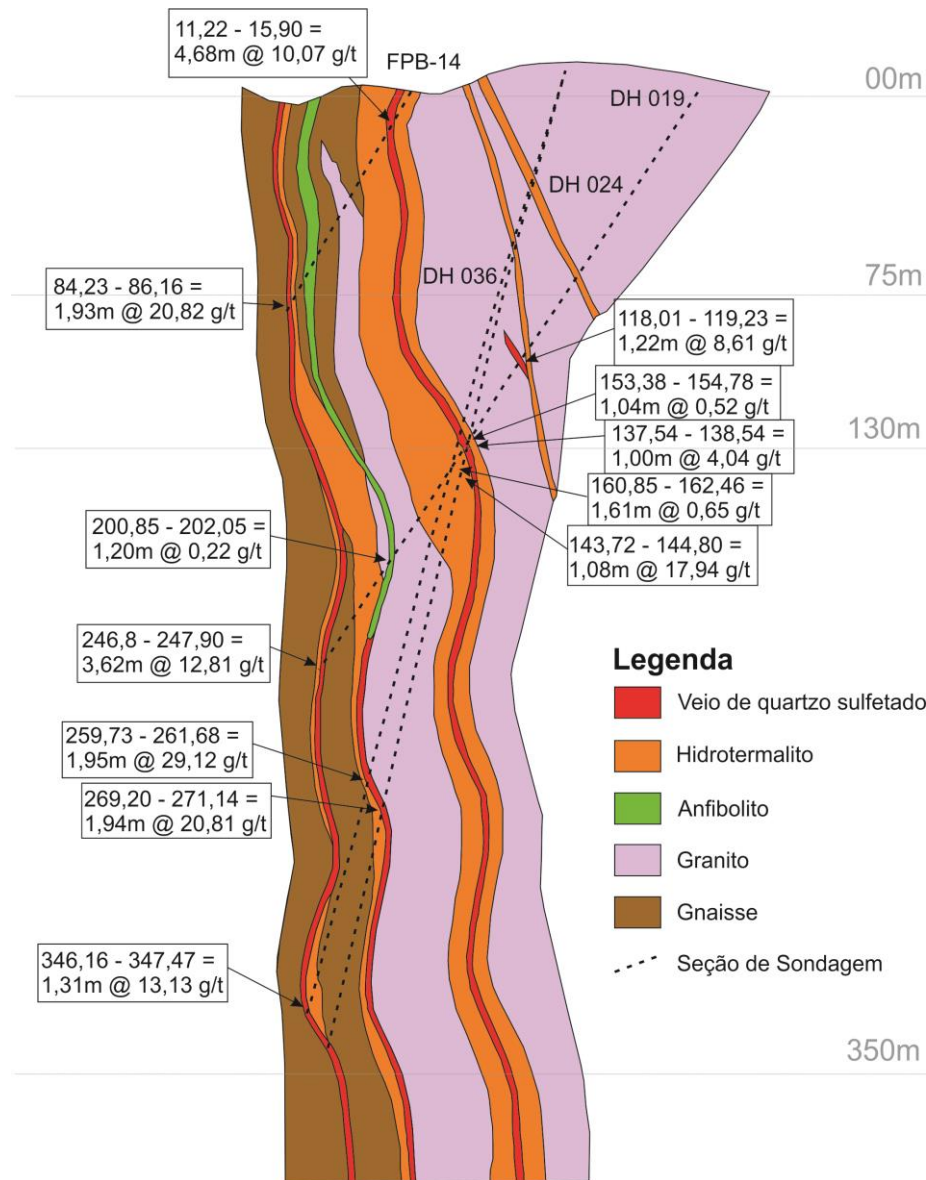


Figura 6 – Seção de sondagem esquemática, com valores referentes a profundidade, comprimento da manobra e teores de Au (g/t). Extraído de VIAL et al., 2014.

Quanto ao mecanismo responsável pela precipitação do minério, estudos de inclusões fluidas sugerem que processos de mistura de fluidos em um sistema em imiscibilidade, a partir da interação entre fluidos magmáticos de mais alta temperatura e fluidos aquosos mais frios e de salinidade moderada a alta (ASSIS, 2006; SILVA & ABRAM, 2008).

Atualmente é difícil enquadrar o depósito Paraíba em um modelo genético. Devido ao fato do depósito apresentar semelhanças e diferenças em relação a depósitos do tipo Au pórfiro, IRGS e ouro orogênico/mesothermal, não é possível enquadrá-lo perfeitamente em nenhuma classe de depósito.

3.2.2 Depósito Edu (anteriormente denominado de depósito Santa Helena)

O depósito Edu, anteriormente designado de depósito Santa Helena, insere-se na cidade de Nova Santa Helena, nas proximidades da borda norte do gráben dos Caiabis, (BIZZOTO, 2004; PAES DE BARROS, 2007).

O depósito possui a forma de um filão e apresenta, em superfície, uma extensão de aproximadamente 400 m (BIZZOTO, 2004). A Figura 7 mostra o mapa geológico do depósito, confeccionado pela empresa RTDM em 2000 e apresentado em relatório final interno (RTDM, 2001). As zonas mineralizadas exibem forte controle estrutural, encontram-se alojadas em uma zona de cisalhamento transcorrente de direção N20-25E, de natureza dúctil-rúptil de extensão regional, que corta rochas graníticas e vulcânicas intermediárias e fêlsicas (BIZZOTO, 2004; PAES DE BARROS, 2007; ASSIS et al., 2014).

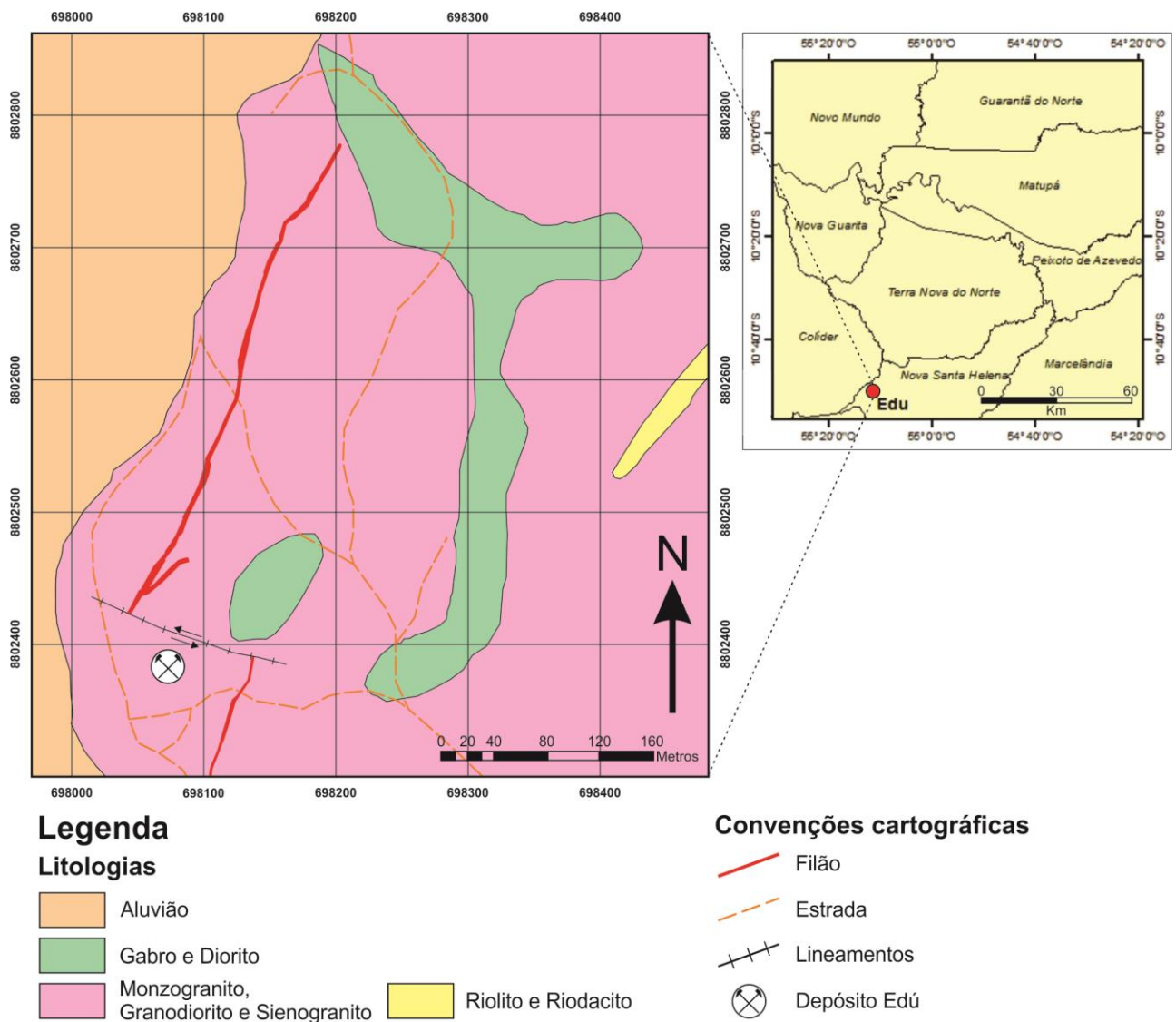


Figura 7 – Mapa geológico do depósito Edu. Modificado de RTDM (2000).

O depósito Edu está hospedado em duas rochas principais, ambas cálcio-alcálicas de médio a alto K, e semelhantes à granitos formados em contexto de arcos vulcânicos, pós-colisionais, definidas como Granito Santa Helena Antigo (GSHA) e Granito Santa Helena Jovem (GSHJ) (PAES DE BARROS, 2007). O GSHA é representado por rochas monzograníticas a granodioríticas, inicialmente denominadas de Granitos Indivisos I (BIZZOTO, 2004), que exibem idades de cristalização U-Pb em zircão de 1.986 ± 6 Ma (PAES DE BARROS, 2007). O GSHJ é composto por monzogranito, inicialmente nomeado de Granitos Indivisos II (BIZZOTO, 2004), e com idade de cristalização U-Pb em zircão de 1.967 ± 3 Ma (PAES DE BARROS, 2007).

A mineralização aurífera ocorre em dois estilos principais. A primeira está confinada a uma estrutura filoniana, hospedada principalmente em quartzo-sericita milonito do GSHA, denominado de minério milonítico, enquanto a segunda, denominada de minério granítico, está confinada a veios e vênulas quartzosas com sulfetos alojados no GSHJ (PAES DE BARROS, 2007).

Dessa forma, entende-se que o depósito se formou em dois estágios, gerados em contextos geológicos diferentes, relativamente diferenciados no tempo e no espaço e, portanto, a partir de distintos fluidos. Primeiramente, a mineralização filonar preencheu as zonas de fratura abertas pelo sistema de cisalhamento, de cinemática transcorrente. O filão teria sido submetido à deformações dúcteis, que resultaram na transformação de rochas graníticas em quartzo-sericita milonito. O minério granítico, no entanto, teria sido formado posteriormente, com a entrada de veios e vênulas quartzosas sulfetadas que se alojaram no quartzo-sericita milonito e, principalmente, em monzogranitos (PAES DE BARROS, 2007).

Quanto às alterações hidrotermais, a porção mais distal do filão apresenta cloritização, albitização precoce e propilitização (clorita $\pm$ epidoto $\pm$ carbonato de cálcio). A porção intermediária é dominada por alteração potássica, enquanto que a porção proximal por intensa sericitização (ASSIS et al., 2014). As zonas de contato entre o GSHA com o GSHJ são marcadas pela presença de alterações propilitica e potássica, além de clorita, sericita e epidoto que representam a principal assembleia mineral hidrotermal, formada a partir da substituição do plagioclásio e biotita (PAES DE BARROS, 2007).

A paragénese do minério é dominada por pirita, com concentrações subordinadas de calcopirita, galena, hematita, pirrotita, cubanita e sulfossais (Bi + S + Cu $\pm$ Ag $\pm$ Te $\pm$ Se $\pm$ Mo $\pm$ Pb) (BIZZOTO, 2004; PAES DE BARROS, 2007). O ouro ocorre principalmente como inclusões e ao longo de fraturas na pirita, incluso em sulfossais de Cu e Bi, além de estar

disperso na ganga silicática (Au livre), frequentemente em conjunto com clorita rica em ferro (PAES DE BARROS, 2007).

Existem dificuldades para enquadrar perfeitamente este depósito em um modelo genético, porém a maior parte das evidências apontam para o modelo *intrusion-related gold systems* (IRGS) (LANG et al., 2000; LOGAN, 2001; BAKER, 2002; BAKER et al., 2005), tal como discutido por Paes de Barros (2007). Por outro lado, os depósitos da região que apresentam características semelhantes às do depósito Edu têm sido interpretados como do tipo *lode* mesotermal ou orogenético (PAES DE BARROS, 1994; SIQUEIRA, 1997; MADRUCI, 2000; SANTOS et al., 2001) e também como do tipo Cu-Au pórfiro (MOURA, 1998; ASSIS et al., 2014).

4. Resultados

4.1 Petrografia do depósito Paraíba

Foram analisadas quatro lâminas representativas da zona mineralizada do principal veio que hospeda a mineralização do Paraíba, uma descrição sucinta das amostras está presente no Apêndice A. No conjunto, os veios são eminentemente constituídos por quartzo + pirita + calcopirita + Au $\pm$ carbonato $\pm$ magnetita $\pm$ sericita $\pm$ monazita $\pm$ apatita $\pm$ bismutinita $\pm$ titanita $\pm$ esfalerita $\pm$ synchysita (carbonato de ETR) $\pm$ pirolusita $\pm$ ligas de Bi-Te $\pm$ ligas de Ag-Te, encaixados em anfibolito e biotita tonalito intensamente hidrotermalizados. As amostras selecionadas são intensamente sulfetadas, com percentuais de sulfetos que variam de 15% até 85% (Figura 8).

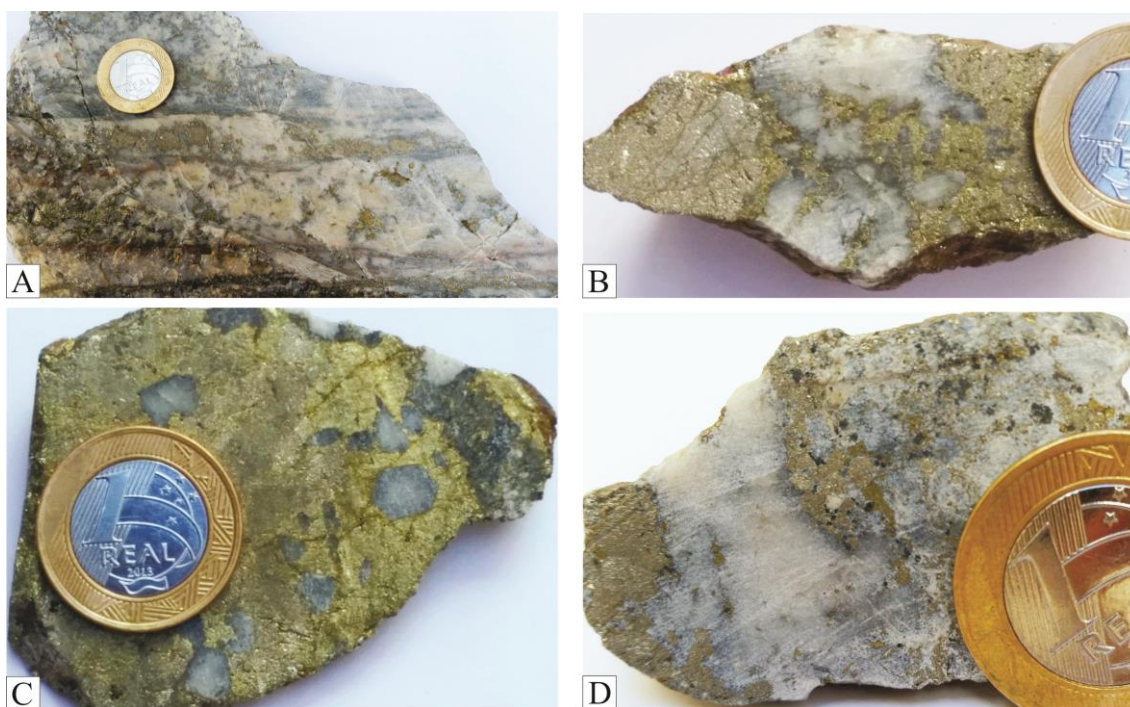


Figura 8 – Amostras representativas dos veios de quartzo sulfetados do depósito Paraíba. A) amostra PB-A2, levemente anisotrópica, com sulfeto disperso em matiz quartzosa decorrente de intensa silicificação. B) amostra PB-02, intensamente sulfetada (~50% de sulfeto) em zona de forte silicificação. C) amostra PB-B intensamente sulfetada (~85% de sulfeto), com formação de minério maciço disperso em massa de quartzo. D) amostra PB-01 proveniente de veio de quartzo com sulfetos de granulação fina a média.

No conjunto, as tipologias e estilos descritos para a alteração hidrotermal são temporalmente representados por: (1) alteração sericítica (Figura 9A), seguida de (2) intensa silicificação; posteriormente obliterada por (3) forte carbonatação mais restrita (Figura 9B). Esse padrão hidrotermal é similar aos descritos por Trevisan (2015) como proximais à zona

mineralizada, ou seja: intensa silicificação que se sobrepõe a uma alteração sericítica com sericita $\pm$ muscovita, além alteração propilitica mais restrita e distal.

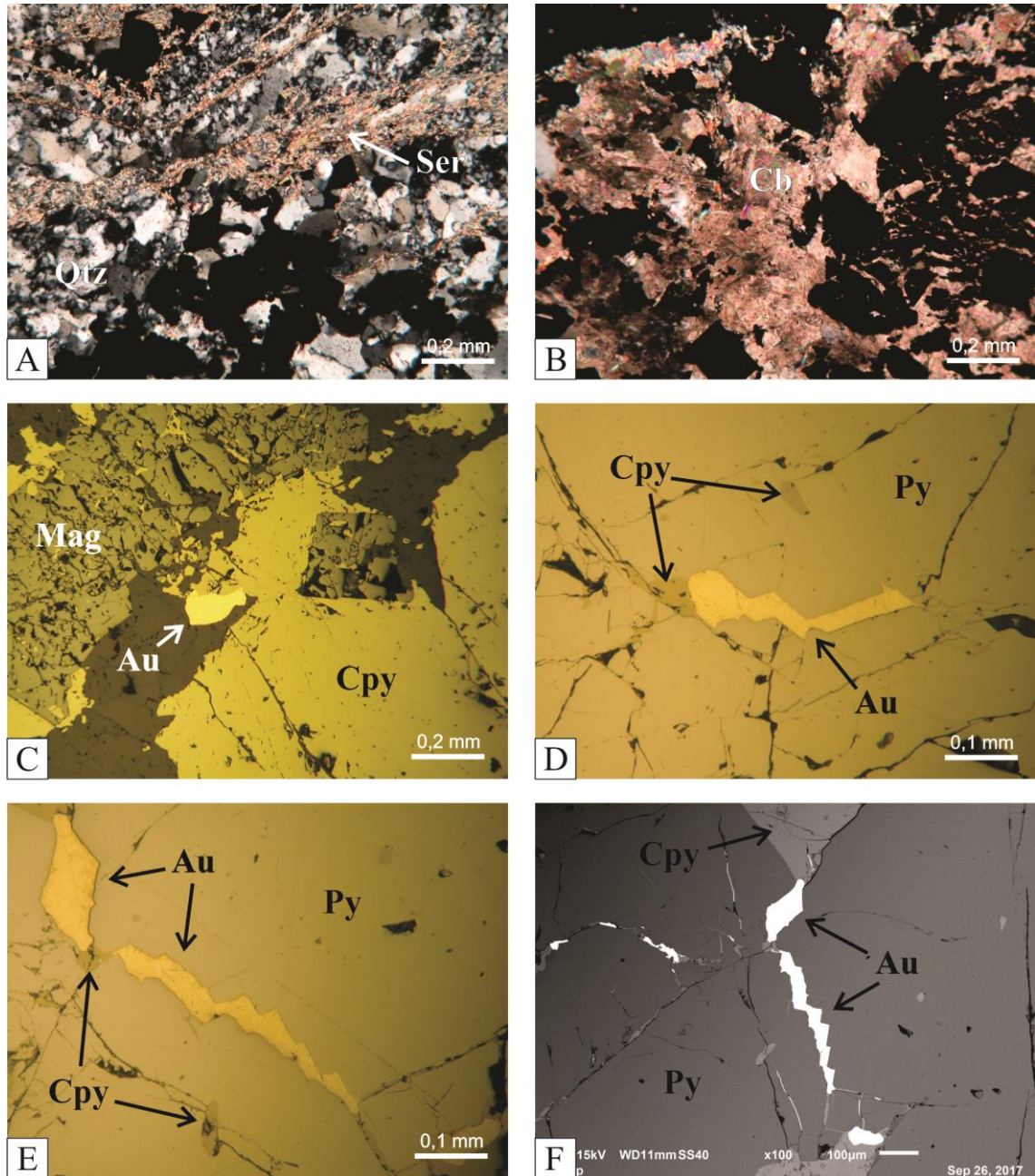


Figura 9 – A) Alteração sericítica confinada a vênulas que se sobrepõem à silicificação do sistema e, portanto, espacialmente relacionada a quartzo fino recristalizado (lâmina PB-A2). B) Forte carbonatação que envolve os cristais finos de pirita, calcopirita, magnetita e ligas de Bi-Te (lâmina PB-01). C) Ouro no limite externo da calcopirita (pirita IV; lâmina PB-01). D e E) Pirita IV com inclusões de calcopirita e fraturas preenchidas por ouro e calcopirita (lâmina PB-01). F) Imagem em MEV da inclusão de Au da figura anterior (lâmina PB-01). Legenda: Au – ouro; Cb – carbonato; Cpy – calcopirita; Mag – magnetita; Py – pirita; Qtz – quartzo; Ser – sericita.

A carbonatação foi observada apenas em uma das lâminas (PB-01), na qual é representada por uma grande quantidade de carbonatos (~40% da lâmina; Figura 9B). Nota-se que nos veios preenchidos por quartzo + carbonato as concentrações de Au são mais elevadas quando comparadas aos demais contextos hidrotermais (Figuras 9C, 9D, 9E, 9F e 10A). Neste caso, o Au ocorre como inclusões tanto na pirita quanto na calcopirita.

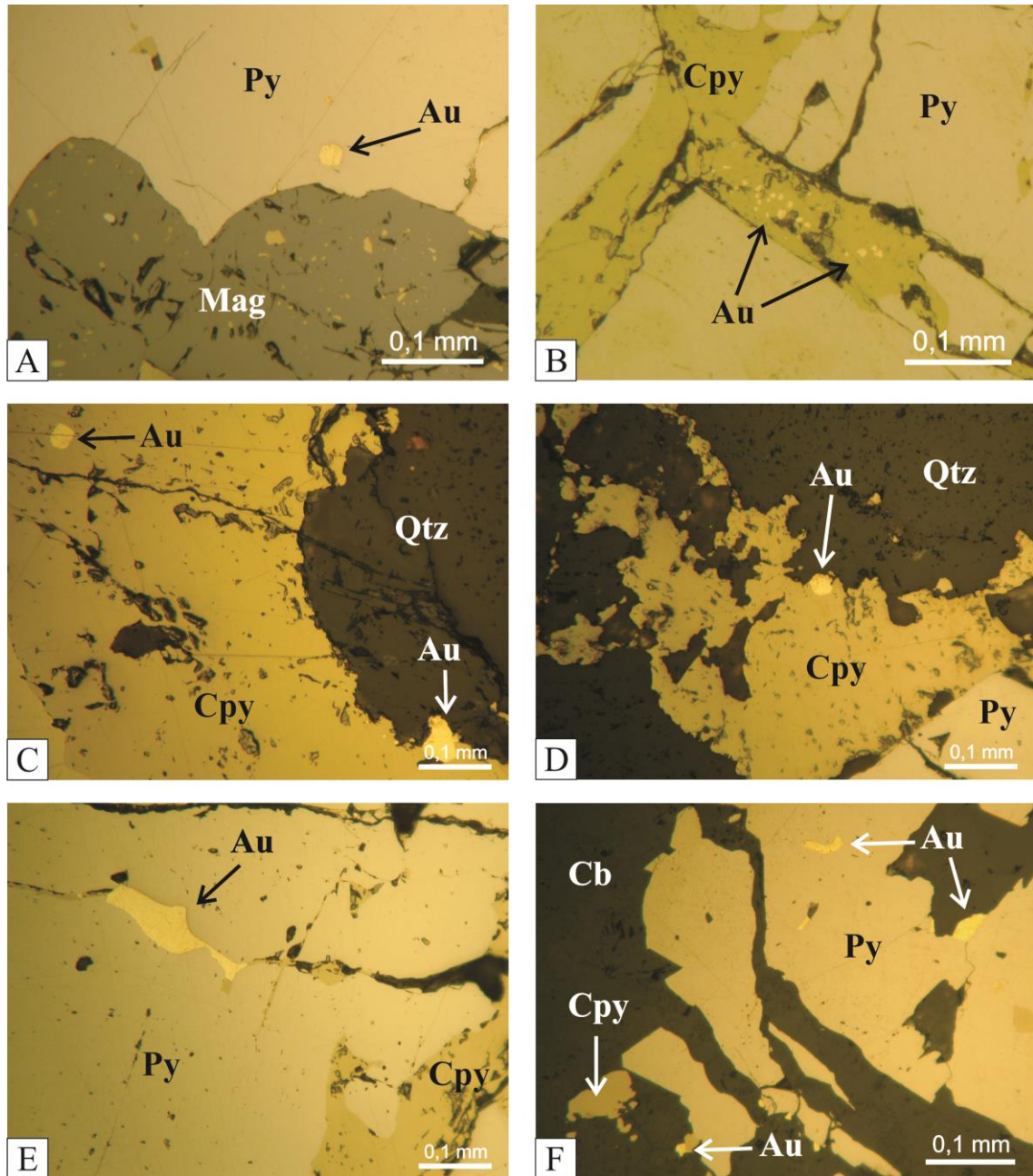


Figura 10 – Ocorrências de ouro em pirita e calcopirita. A) Inclusão de ouro na pirita IV (lâmina PB-01). B) Aglomerado com finas inclusões de ouro em calcopirita que preenche os interstícios da pirita V (lâmina PB-02). C e D) Inclusões de ouro em calcopirita em parágênese com pirita V (lâmina PB-02). E) Pirita V com fraturas preenchidas por ouro e calcopirita (lâmina PB-02). F) Au associado à pirita III: na forma de inclusão; no contato entre pirita e carbonatos; e entre calcopirita e carbonatos (lâmina PB-01). Legenda: Au – ouro; Cb – carbonato; Cpy – calcopirita; Mag – magnetita; Py – pirita; Qtz – quartzo.

A silicificação remete à alteração hidrotermal mais frequente e melhor desenvolvida no depósito Paraíba. É representada pela elevada quantidade de quartzo, frequentemente recristalizado, com extinção ondulante moderada a alta, e com textura em subgrãos e contatos suturados.

A alteração sericítica ocorre de modo mais acentuado apenas na lâmina PB-A2, onde ocorre confinada a pequenas vênulas orientadas que truncam as zonas de forte silicificação, e responsáveis pela anisotropia da rocha, conferindo uma fraca foliação (Figuras 9A e 11A).

Independente do contexto observado, o ouro ocorre como inclusões arredondadas na pirita e calcopirita (Figura 10A, 10B, 10C, 10D, 12B e 12E), ou em fraturas intra- e extra-cristalinas da pirita, usualmente preenchidas por calcopirita (Figuras 9D, 9E, 9F, 10E, 11D, 12B e 12D). Quanto incluso na calcopirita, o Au está temporalmente associado à carbonatação (lâmina PB-01). Em adicional pequenas e raras inclusões de ouro podem ser observadas na magnetita, ou ainda, disperso na ganga silicática na forma de Au livre.

4.1.1 Petrografia da Pirita

A pirita corresponde ao principal mineral de minério que hospeda o Au no depósito Paraíba, perfazendo massas que ocupam até 40% do volume da rocha (Figura 8C). De modo geral, a pirita forma cristais inequigranulares, finos a grossos, subeuédricos a anédricos, com contatos lobulados ou serrilhados, e com inclusões de calcopirita, magnetita e ouro. Ocorre dispersa na matriz silicática, em contanto com quartzo, sericita e/ou carbonato (Figuras 9A e 9B). Nas zonas intensamente mais sulfetadas, ocorre em paragênese com calcopirita, magnetita, quartzo, carbonato (Figuras 9C e 10A), e de forma mais restrita, com sericita, monazita, esfalerita, synchysita, pirosulita e ligas de Bi-Te.

A petrografia revelou cinco variações texturais da pirita: pirita I, pirita II, pirita III, pirita IV e pirita V (Figuras 11 e 12; Tabela 2).

A pirita I, principalmente observada na lâmina PB-A2, exhibe cristais muito finos, em contanto com quartzo fino, sericita e calcopirita (Figuras 11A e 12A). Essa textura está relacionada à alteração sericítica e silicificação. Análises em MEV revelaram fases ricas em Ti, interpretadas como titanita, em contato com a pirita fina (Figura 13A e 13B). Em adicional, não se observou ouro associado a essa textura.

A pirita II, também presente na lâmina PB-A2, forma cristais grossos que ocorrem em contato com pequenos cristais de calcopirita, quartzo grosso e sericita (Figura 11B). Análises em MEV revelaram bismutinita na forma de pequenas inclusões e em fraturas na pirita (Figura

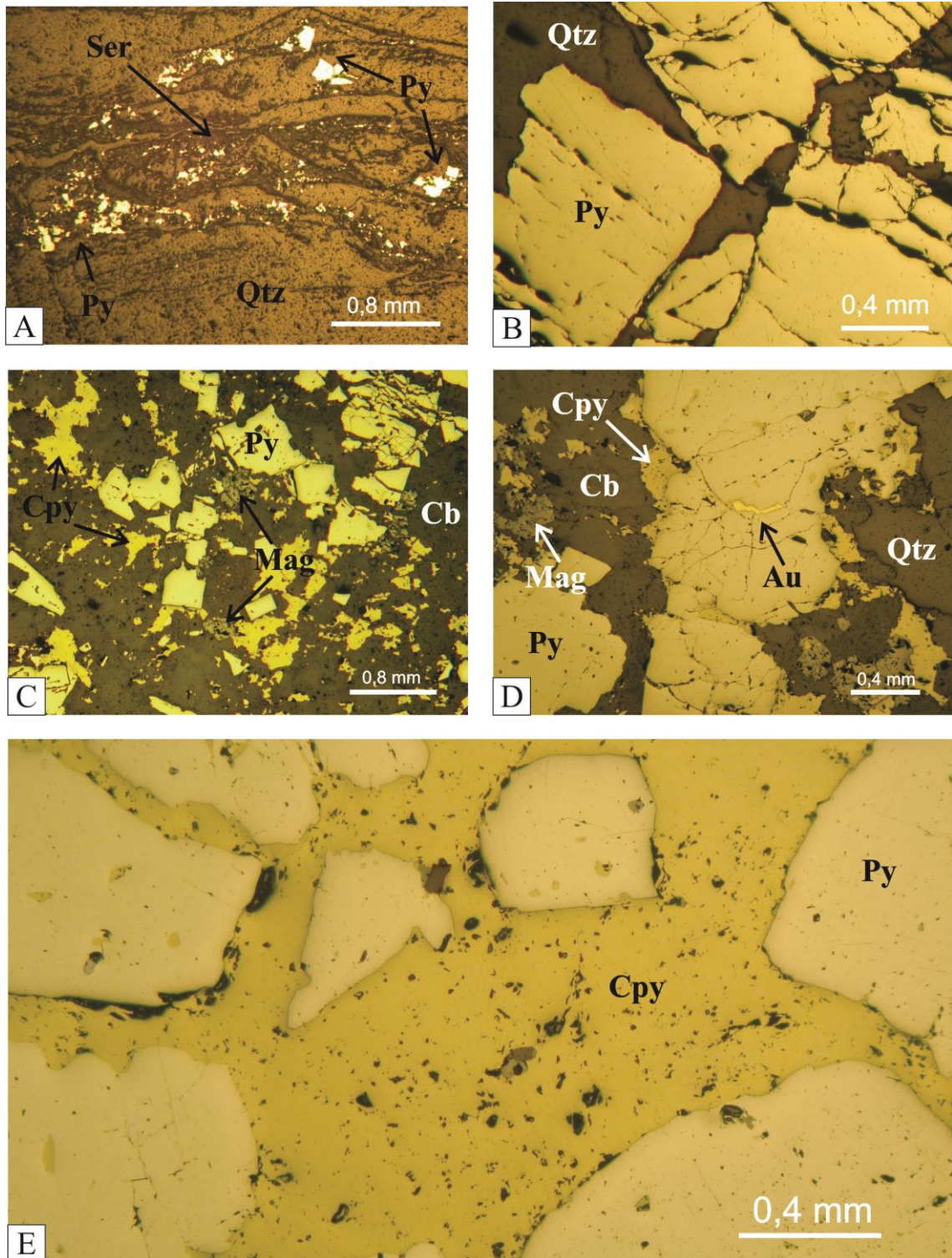


Figura 11 – Variações texturais da pirita do depósito Paraíba. A) Pirita I: cristais muito finos em meio a quartzo fino recristalizado e sericita, a qual é responsável pela foliação da rocha (lâmina PB-A2); B) Pirita II: pirita de granulação grossa imersos em ganga silicática (lâmina PB-A2); C) Pirita III: cristais finos imersos em ganga carbonática (lâmina PB-01); D) Pirita IV: cristais de granulação média a grossa, em contato com quartzo e carbonatos, com frequentes inclusões de Au (lâmina PB-01); E) Pirita V: cristais imersos em massa de calcopirita (lâminas PB-02 e PB-B). Legenda: Au – ouro; Cb – carbonato; Cpy – calcopirita; Mag – magnetita; Py – pirita; Qtz – quartzo; Ser – sericita.

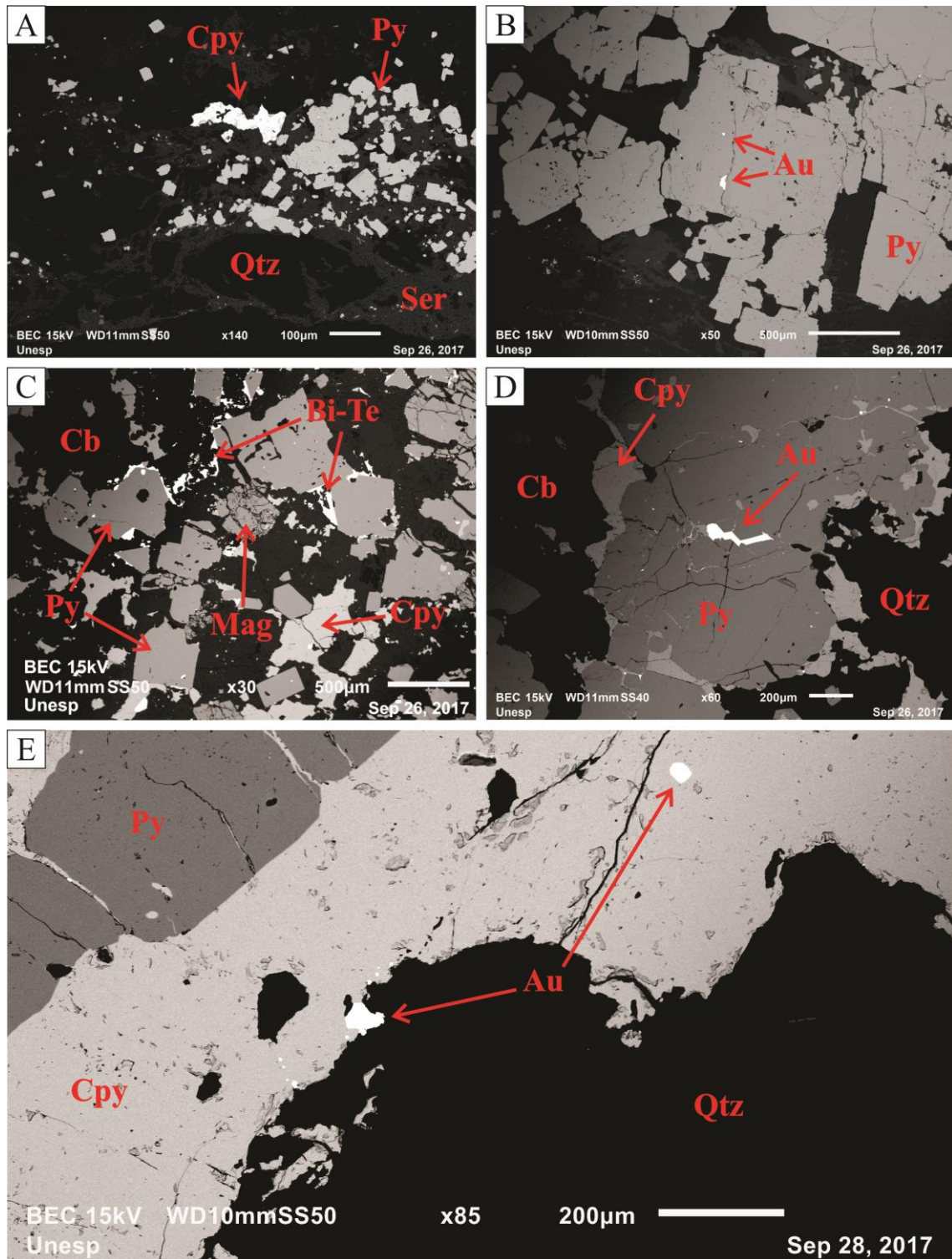


Figura 12 – Fotomicrografias de elétrons retro-espalhados para as variações texturais da pirita do depósito Paraíba em MEV. A) Pirita I: cristais muito finos em contato com quartzo fino e sericita (lâmina PB-A2); B) Pirita II: cristais mais grossos, com inclusões de ouro e calcopirita (lâmina PB-A2); C) Pirita III: cristais finos de pirita em parágênese com calcopirita, magnetita e ligas de Bi-Te, imersos em carbonato (lâmina PB-01); D) Pirita IV: cristais de granulação média a grossa, em contato com quartzo e carbonatos, e com inclusões de calcopirita e ouro (lâmina PB-01); E) Pirita V: cristais grossos envolvidos por massa de calcopirita e quartzo (lâminas PB-02 e PB-B). Legenda: Au – ouro; Bi-Te – liga de bismuto e telúrio; Cb – carbonato; Cpy – calcopirita; Mag – magnetita; Py – pirita; Qtz – quartzo; Ser – sericita.

13C). A exemplo do caso anterior, está relacionada à sericitização e silicificação, além de conter Au na forma de inclusões e/ou em fraturas intracristalinas da pirita (Figura 12B). Análises em MEV indicam que o Au exibe concentrações em Ag na proporção 4:1. Não se observou ouro incluso na calcopirita associada a essa variedade textural da pirita.

Tabela 2 – Principais características das cinco variações texturais da pirita do depósito Paraíba.

	Granulação e forma dos cristais	Associação paragenética	Ocorrência de Au	Alteração hidrotermal	Inclusões
Pirita I	Muito fina e anédrica	Quartzo fino + sericita ± calcopirita	Não foi observado Au	Forte alteração sericítica e silicificação	Ausência de inclusões
Pirita II	Grossa e subeuédrica	Quartzo grosso + sericita ± calcopirita	Au na forma de inclusões e preenchendo fraturas	Forte silicificação, além de alteração sericítica	Inclusões de calcopirita e Au
Pirita III	Fina e subeuédrica	Carbonato ± calcopirita* ± magnetita ± liga Bi-Te	Au na forma de inclusões e entre o contato da pirita com a ganga carbonática	Forte carbonatação	Inclusões de calcopirita e Au
Pirita IV	Média a grossa e anédrica	Quartzo + carbonato + calcopirita* ± magnetita	Au na forma de inclusões e, principalmente, preenchendo fraturas	Carbonatação e silicificação	Inclusões de calcopirita e Au
Pirita V	Grossa e anédrica	Calcopirita* ± magnetita ± quartzo ± sericita	Au na forma de inclusões e preenchendo fraturas	Fraca silicificação	Inclusões de calcopirita, magnetita e Au

*Calcopirita que contém inclusões de Au.

A pirita III (lâmina PB-01), é representada por pirita fina em associação paragenética com o carbonato das zonas de intensa carbonatação. Adicionalmente, magnetita, calcopirita e ligas de Bi-Te de granulação muito fina ocorrem em paragênese com essa variedade textural da pirita (Figuras 11C, 12C e 14A). Embora em menores quantidades, o Au ocorre incluso em pirita e também em contato com calcopirita e a ganga carbonática (Figura 10F).

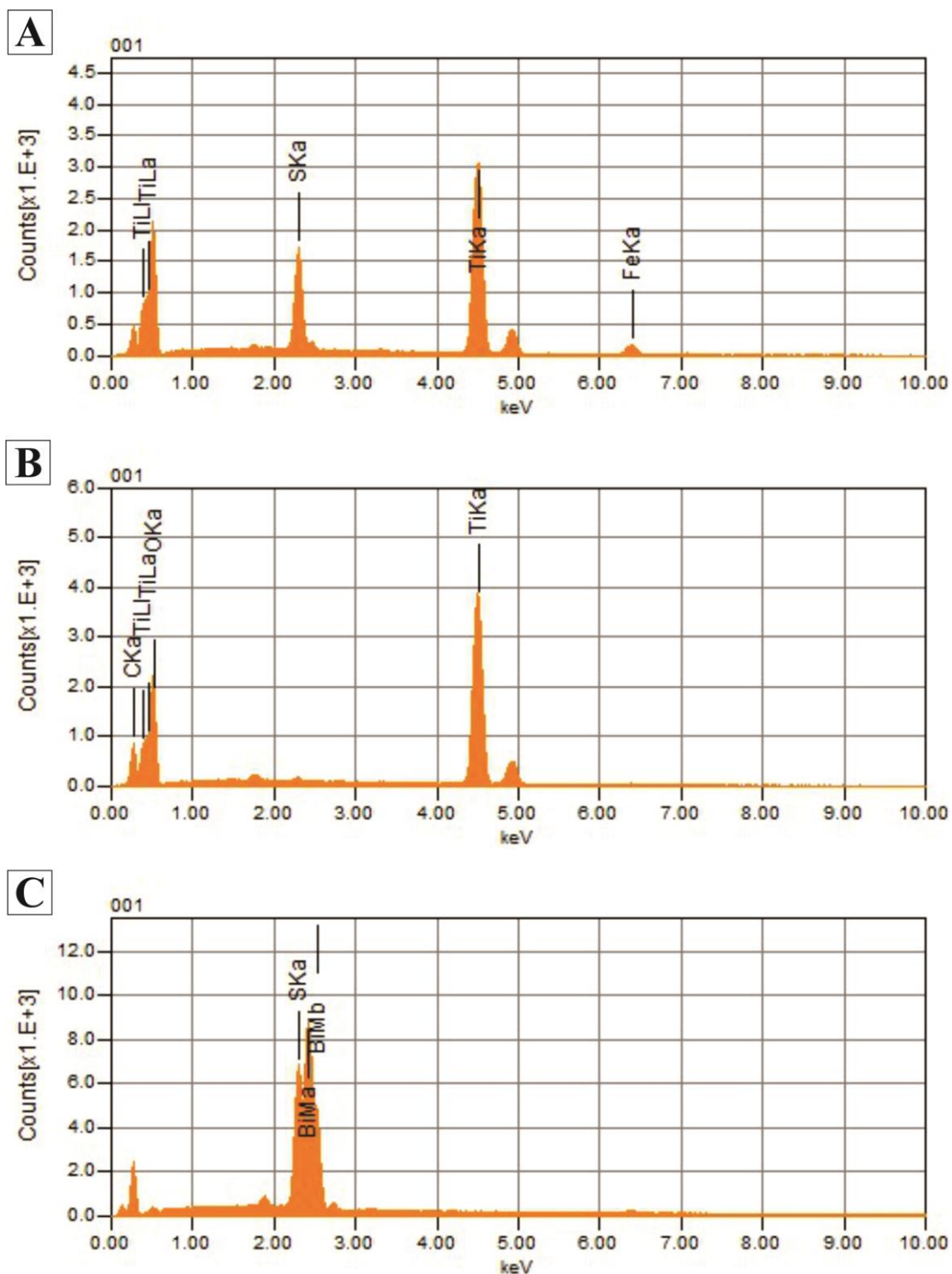


Figura 13 – Espectros (EDS) de fases minerais diagnosticadas em amostras do depósito Paraíba com o auxílio do microscópio eletrônico de varredura (MEV). A e B) Titanita, os valores de S e Fe devem ser desconsiderados, visto serem provenientes de interferência causada devido à proximidade com cristal de pirita; C) Bismutinita. Valores de carbono (C) devem ser desconsiderados, visto serem provenientes da metalização das lâminas.

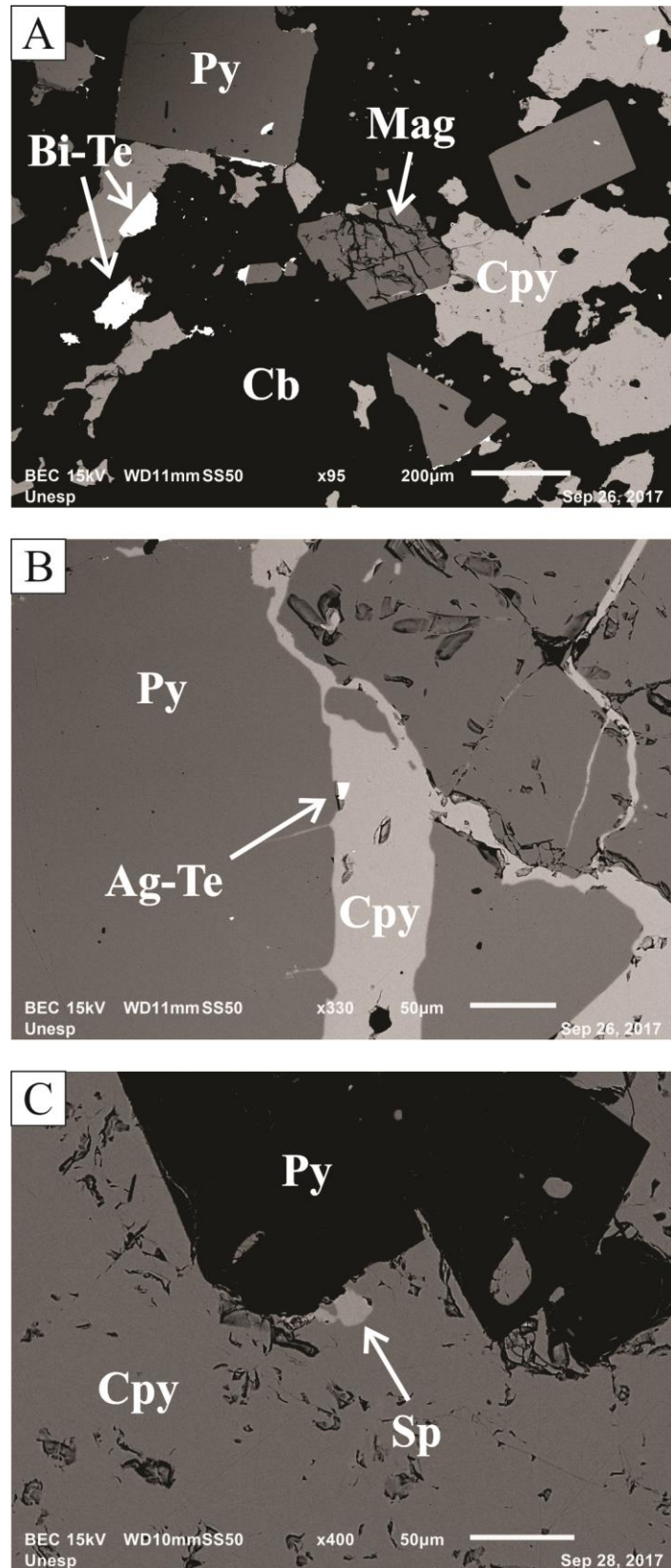


Figura 14 – A) Pirita III na forma de cristais finos, em paragênese com calcopirita, magnetita e fases ricas em Bi-Te, a qual ocorre associada a matriz carbonática (lâmina PB-01); B) Liga de Ag-Te no limite cristalino da pirita V e calcopirita (lâmina PB-B); C) Esfalerita incluída em calcopirita associada à pirita V (lâmina PB-02). Legenda: Ag-Te – liga de prata e telúrio; Bi-Te – liga de bismuto e telúrio; Cb – carbonato; Cpy – calcopirita; Mag – magnetita; Py – pirita; Sp – esfalerita.

A pirita IV (lâmina PB-01), é representada por pirita de granulação média a grossa em contato com calcopirita e magnetita, em matriz de quartzo e carbonato, resultantes do intenso estágio de silicificação e carbonatação, respectivamente (Figuras 11D e 12D). As maiores inclusões de Au estão relacionadas a essa textura da pirita, variando de 0,02mm a até 0,36mm. Ouro ao longo de fraturas intra- e extracristalinas corresponde a um modo de ocorrência frequentemente reportado a pirita IV (Figuras 9D e 9E). As inclusões auríferas relacionada a pirita IV ocorrem tanto na pirita quanto na calcopirita (Figura 10A). A exemplo das texturas II e III, as análises EDS revelam que Au e Ag ocorrem exsolvidos, numa porção Au:Ag de 4:1.

E finalmente, a pirita V (lâminas PB-B e PB-02), ocorre como cristais de granulação grossa, englobados por massas de calcopirita, que no conjunto, ocupam aproximadamente 50-60% do volume da rocha (Figura 11E e 12E). Embora inclusões de Au não tenham sido diagnosticadas na petrografia da lâmina PB-B, a lâmina PB-02 apresenta elevadas concentrações de Au, tanto como frequentes inclusões de granulação fina a grossa na pirita, mas principalmente na calcopirita (Figuras 10B, 10C e 10D), quanto em fraturas na pirita (Figura 10E). Análises EDS em inclusões de Au na pirita V indicam baixas concentrações de Ag (proporções Au:Ag de 9:1). Em adicional, análises ao MEV permitiram a caracterização de pirolusita e ligas de Ag-Te (proporção Ag:Te de 2:1) inclusas em pirita e calcopirita (Figura 14B), além de carbonato de ETR (synchysita?), monazita, esfalerita (Figura 14C) e fases ricas em Bi-Te inclusos na calcopirita.

4.2 Petrografia do depósito Edu

Foram analisadas sete lâminas representativas do depósito Edu, sendo duas referentes ao minério milonítico e as demais cinco provenientes do minério granítico. A descrição sucinta das amostras pode ser consultada no Apêndice A. As amostras do minério milonítico correspondem a veios de quartzo cisalhados representados por quartzo + sericita + pirita $\pm$ Au $\pm$ clorita $\pm$ muscovita $\pm$ carbonato $\pm$ epídoto $\pm$ calcopirita $\pm$ magnetita $\pm$ galena $\pm$ liga de Ag-Bi, hospedados em quartzo-sericita-milonito. As amostras de minério granítico, no entanto, são oriundas de granitóides hidrotermalizados e brechados representadas por quartzo + sericita + microclínio + pirita + clorita $\pm$ plagioclásio $\pm$ muscovita $\pm$ epídoto $\pm$ calcopirita $\pm$ magnetita $\pm$ carbonato $\pm$ liga Bi-Te $\pm$ liga Ag-Te $\pm$ liga Ag-Bi, confinados a veios e vênulas quartzosas sulfetadas. Apesar do maior número de amostras, apenas três exibem consideráveis quantidades de sulfetos que permitiram análises de elementos-traço na pirita (Figuras 15A, 15B e 15C). As amostras restantes possuíam apenas 2% ou menos de sulfetos em sua composição (Figuras 15D,

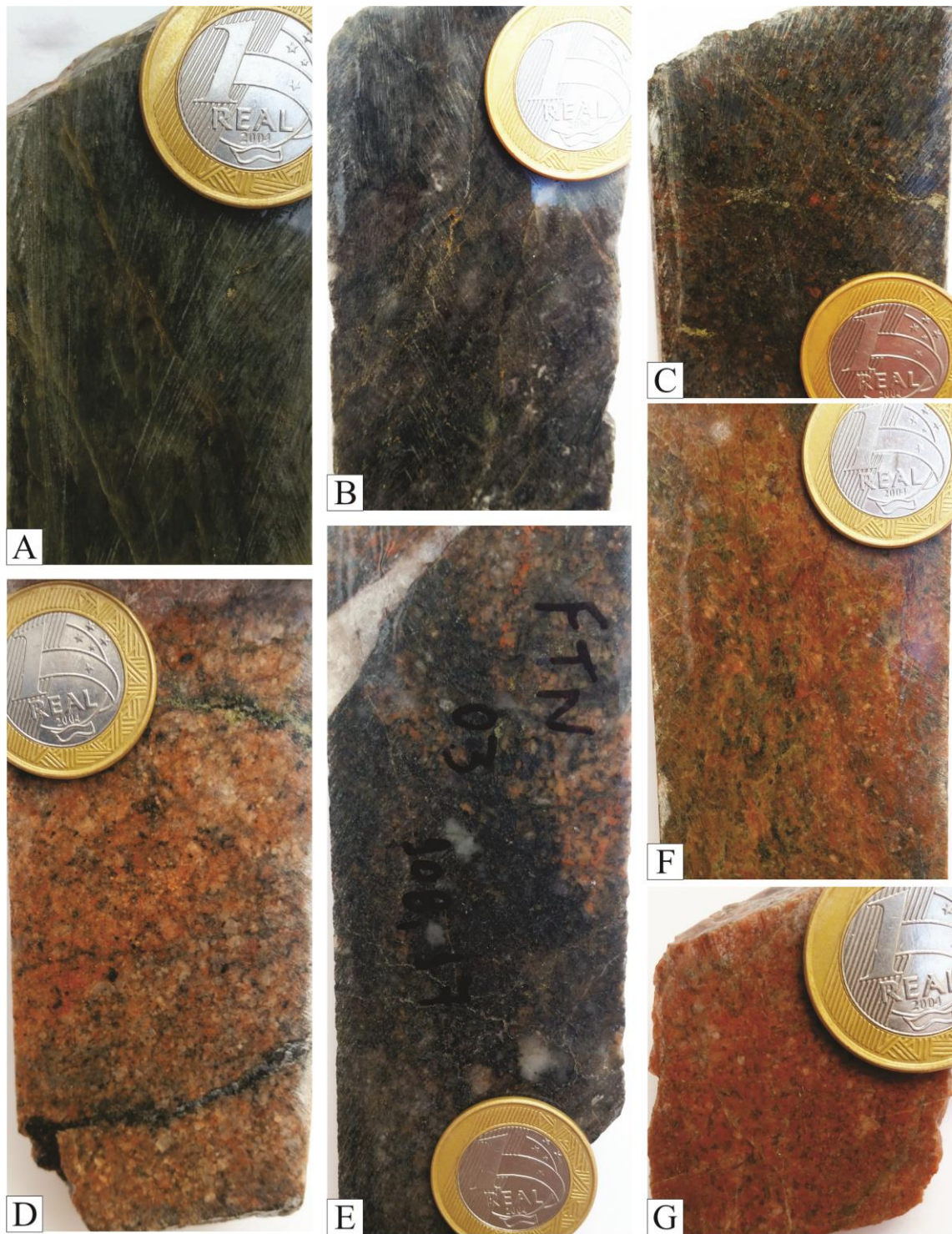


Figura 15 – Amostras representativas da alteração hidrotermal do depósito Edú: A) Veio de quartzo cisalhado proveniente do minério milonítico (amostra FTN03-98,34); B) Vênulas de pirita + quartzo em sericita-quartzo milonito (amostra FTN03-100,90); C) Rocha granítica com alteração potássica a base de K-feldspato sobreposta por fraca cloritização e truncada por vênulas de pirita fina (amostra FTN04-54,43); D) Granitóide potassificado, com fraca epidotização e truncado por vênulas de quartzo + clorita (amostra FTN03-119,20); E) Granitóide intensamente cloritizado, silicificado e truncado por veios de carbonato, representativo de porções proximais do minério granítico (amostra FTN03-108,17); F) Granitóide potassificado com epidotização, truncado por vênulas de carbonato + sericita (amostra FTN03-89,57); G) Rocha granítica intensamente potassificada e com fraca alteração sericítica representada por porções verde sedosas (amostra FTN-60,80).

15E, 15F, 15G), tornando-se pouco representativas para o escopo deste trabalho.

As amostras apresentam alterações hidrotermais desde mais distais até proximais, segundo as descritas na região por Paes de Barros (2007) e Assis et al. (2014): (1) porções mais distais em relação ao minério representadas por cloritização, albitização, além de propilitização com clorita $\pm$ epidoto $\pm$ carbonato; (2) porções intermediárias com acentuada alteração potássica; e (3) porções proximais com intensa sericitização. No conjunto, as seguintes tipologias da alteração hidrotermal foram espacialmente observadas: (1) carbonatação e epidotização restritas, juntamente com cloritização, seguida de (2) alteração potássica com microclínio, obliterada por (3) intensa alteração sericitica $\pm$ muscovita e silicificação, esta resultante da elevada razão fluido/rocha ao longo da zona de cisalhamento local, que baliza o minério e transforma os granitóides hidrotermalizados em muscovita-quartzo milonito (minério milonítico). Esse padrão segue os modelos propostos por Paes de Barros (2007) e Assis et al. (2014).

De modo geral, a carbonatação e epidotização estão mais evidentes no minério granítico. No primeiro caso, a alteração está usualmente representada por carbonato confinado a veios e vênulas (Figuras 16A e 16B), enquanto que o estilo brechado está frequentemente relacionado aos setores de epidotização mais intensa, com epidoto perfazendo $\sim 20\%$ do volume da rocha (Figura 16B).

Embora esteja presente em todas as amostras descritas, a cloritização (clorita $\pm$ quartzo) ocorre de modo mais intenso na hospedeira granítica não afetada pelo cisalhamento (minério granítico), como observado nas Figuras 16B e 16C.

A alteração potássica, essencialmente representada por microclínio, foi observada apenas no minério granítico, geralmente na forma de megacristais de K-feldspato (Figura 16D).

A exemplo da alteração clorítica, que ocorre em intensidades variadas em todas as amostras, a sericitização está melhor desenvolvida na matriz do minério milonítico do quartzo-sericita milonito. É majoritariamente representada por sericita, com quantidades subordinadas de muscovita (Figura 16E). Ocorre tanto em estilo pervasivo (Figura 16D), a partir da substituição do microclínio e quartzo, quanto confinada a veios e vênulas orientados (Figura 16F).

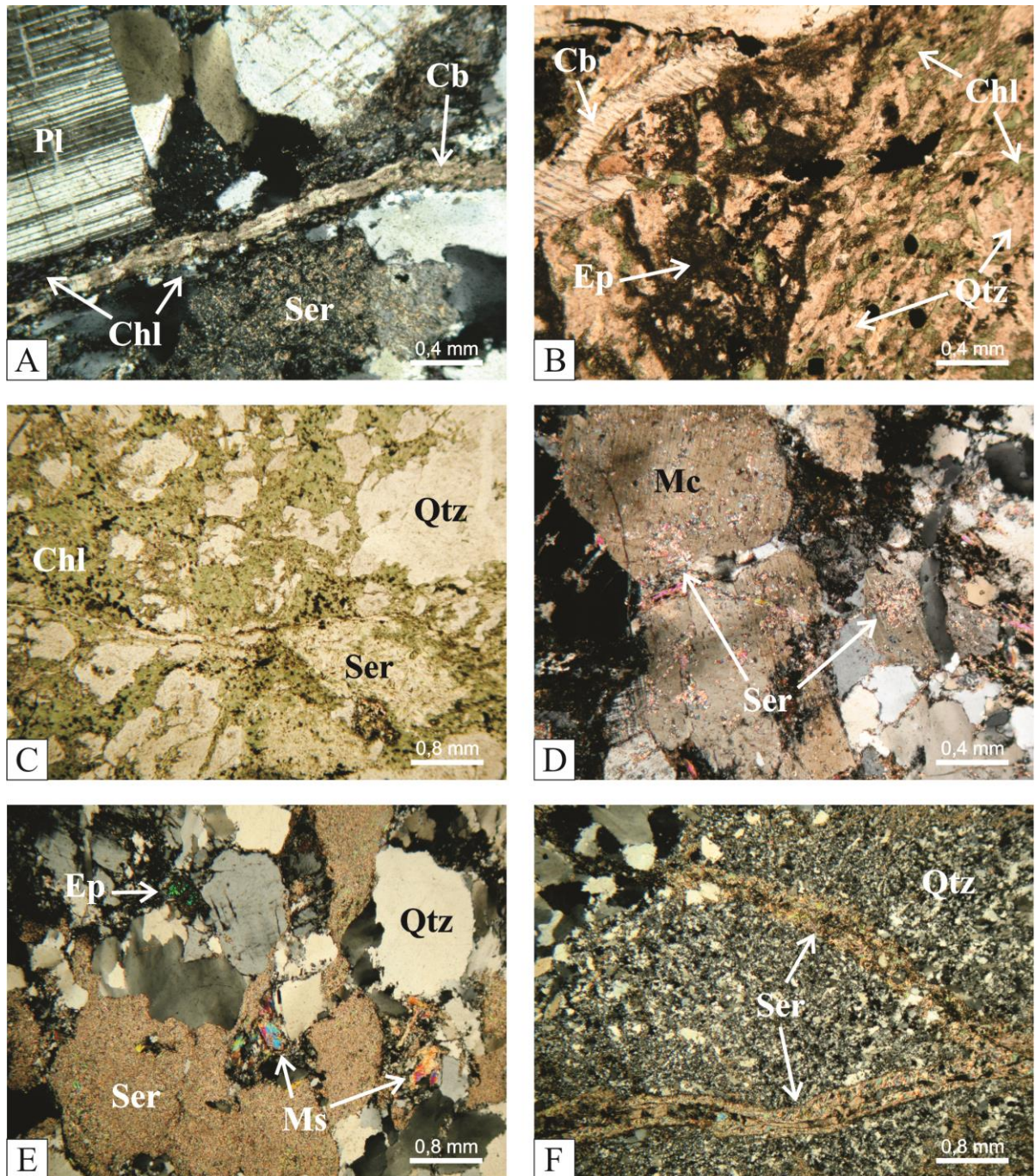


Figura 16 – A) Minério granítico com alteração sericítica sobre microclínio, truncada por alteração carbonática venular (lâmina FTN03-108,17); B) Minério granítico brechado, com matriz eminentemente constituída por epidoto, clorita e quartzo, além de vênulas tardias de carbonato (lâmina FTN03-89,57); C) Alteração clorítica pervasiva sobre minério granítico sericitizado (lâmina FTN03-108,17); D) Alteração sericítica pervasiva, a partir da substituição do microclínio, em hospedeira granítica potassificada (lâmina FTN04-54,43); E) Alteração sericítica com sericita + muscovita em minério granítico (lâmina FTN04-54,43); F) Alteração sericítica confinada a veios de sericita + muscovita em matriz de quartzo fino do minério milonítico (lâmina FTN03-100,90). Legenda: Cb – carbonato; Chl – clorita; Ep – epidoto; Mc – microclínio; Ms – muscovita; Pl – plagioclásio; Qtz – quartzo; Ser – sericita.

Finalmente, a silicificação está melhor desenvolvida no minério milonítico. Evidencia-se pela elevada quantidade de quartzo recristalizado, com cristais que frequentemente apresentam forte a moderada extinção ondulante e textura em subgrãos.

Neste contexto, foram observadas inclusões de Au apenas no minério milonítico (lâmina FTN03-98,34), ocorrendo como inclusões arredondadas na calcopirita e no contato entre pirita e calcopirita (Figuras 17A, 17B e 17C), associado aos setores de intensa sericitização e cloritização (Figura 17D).

4.2.1 Petrografia da Pirita

A exemplo do depósito Paraíba, a pirita corresponde ao principal mineral de minério que hospeda o Au no depósito Edu. Entretanto, se mostra em concentrações muito reduzidas em relação ao depósito Paraíba, visto perfazer no máximo ~5% do volume da rocha (Figuras 15A, 15B e 15C). No depósito Edu, a pirita ocorre na forma de cristais inequigranulares, finos a médios, subeuédricos a anédricos, em aglomerados ou como cristais isolados, com contatos lobulados e/ou serrilhados. Inclusões de calcopirita na pirita são raras (Figura 17E), assim como fraturas por ela preenchidas (Figura 17F e 18E). Ocorre dispersa na matriz silicática, em contato com quartzo, sericita, clorita, além de carbonato, muscovita, epídoto, plagioclásio e microclínio de modo mais restrito (Figuras 17A, 17D, 18C e 18D). Ocorre em paragênese, também, com calcopirita $\pm$ magnetita (Figuras 17A, 17F e 18C).

A petrografia não revelou variações texturais significativas na pirita do depósito Edu. No entanto, foi possível individualizar a pirita dos minérios milonítico e granítico (Figuras 18A, 18B e 18C; Tabela 3).

A pirita referente ao minério milonítico (lâminas FTN03-98,34 e FTN03-100,90) exhibe cristais finos e anédricos relacionados a quartzo fino, sericita, clorita e calcopirita (Figuras 17A, 17D, 18A e 18B), além de ligas de Ag-Bi (proporção 1:5) (Figura 18E). Está essencialmente relacionada à silicificação e sericitização, e subordinadamente à cloritização. No minério milonítico o Au está incluso na calcopirita ou ocorre no contato entre pirita e calcopirita (Figuras 17A, 17B e 17C), embora não tenham sido observadas inclusões na pirita. Análises EDS revelam que o Au ocorre associado à Ag, numa proporção Au:Ag de 3:2. Adicionalmente, a partir do MEV foi possível a individualização de pequenos cristais de galena dispersos na matriz quartzo-sericítica e/ou nas margens de sulfetos da zona mineralizada.

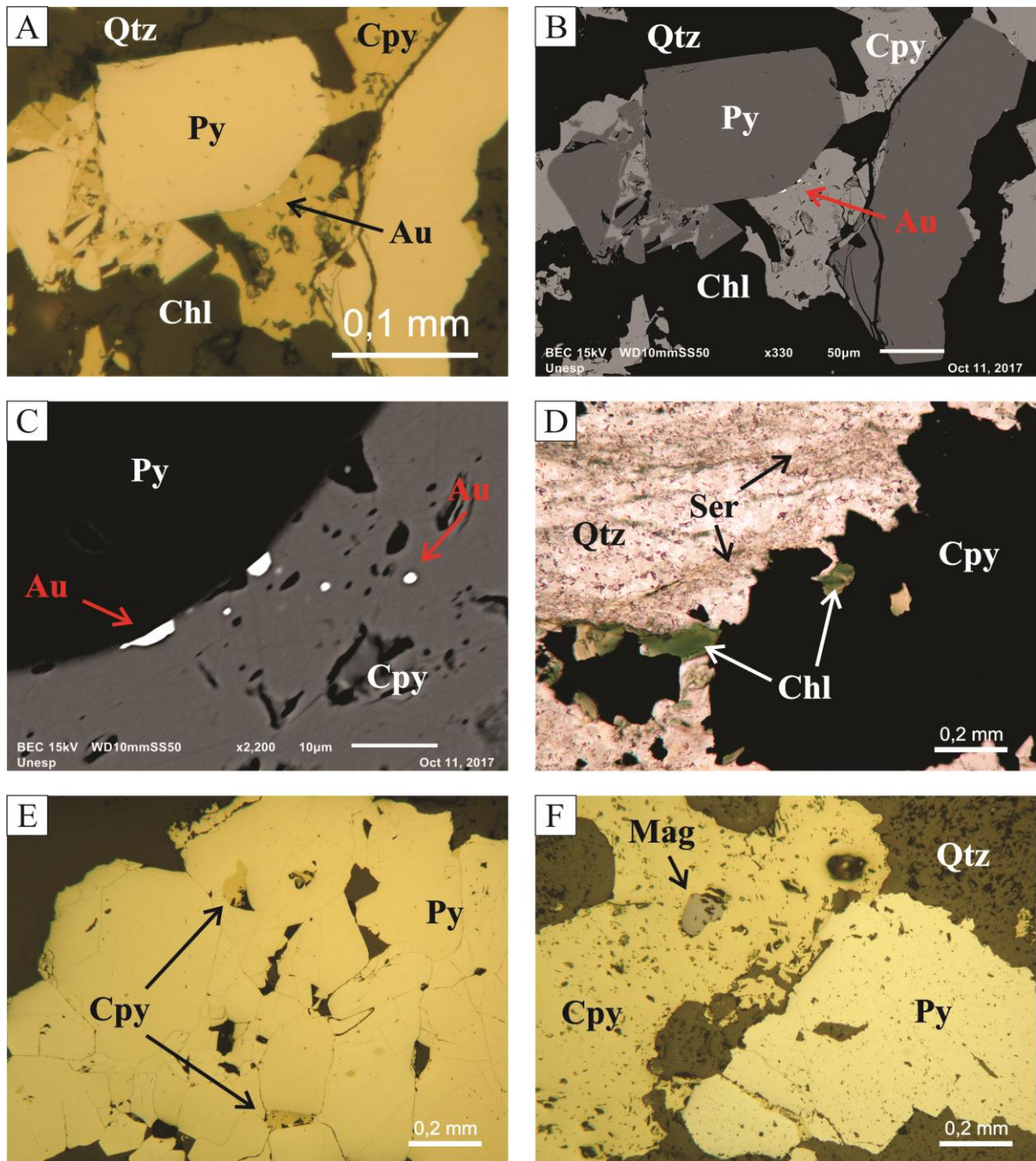


Figura 17 – A e B) Paragênese calcopirita + pirita do minério milonítico ao qual o Au ocorre como pequenas inclusões na borda dos sulfetos (lâmina FTN03-98,34); C) Imagem em elétrons retro-espalhados de inclusões de Au na calcopirita associada à pirita do minério milonítico (detalhe das figuras A e B; lâmina FTN03-98,34); D) Calcopirita em matriz de quartzo fino sericitizada e cloritizada em minério milonítico (lâmina FTN03-98,34); E) Inclusões de calcopirita em cristal de pirita do minério granítico (lâmina FTN04-54,43); F) Inclusão de magnetita em calcopirita cogenética à pirita, e calcopirita em fratura na pirita do minério milonítico (lâmina FTN03-98,34). Legenda: Au – ouro; Chl – clorita; Cpy – calcopirita; Mag – magnetita; Py – pirita; Qtz – quartzo; Ser – sericita.

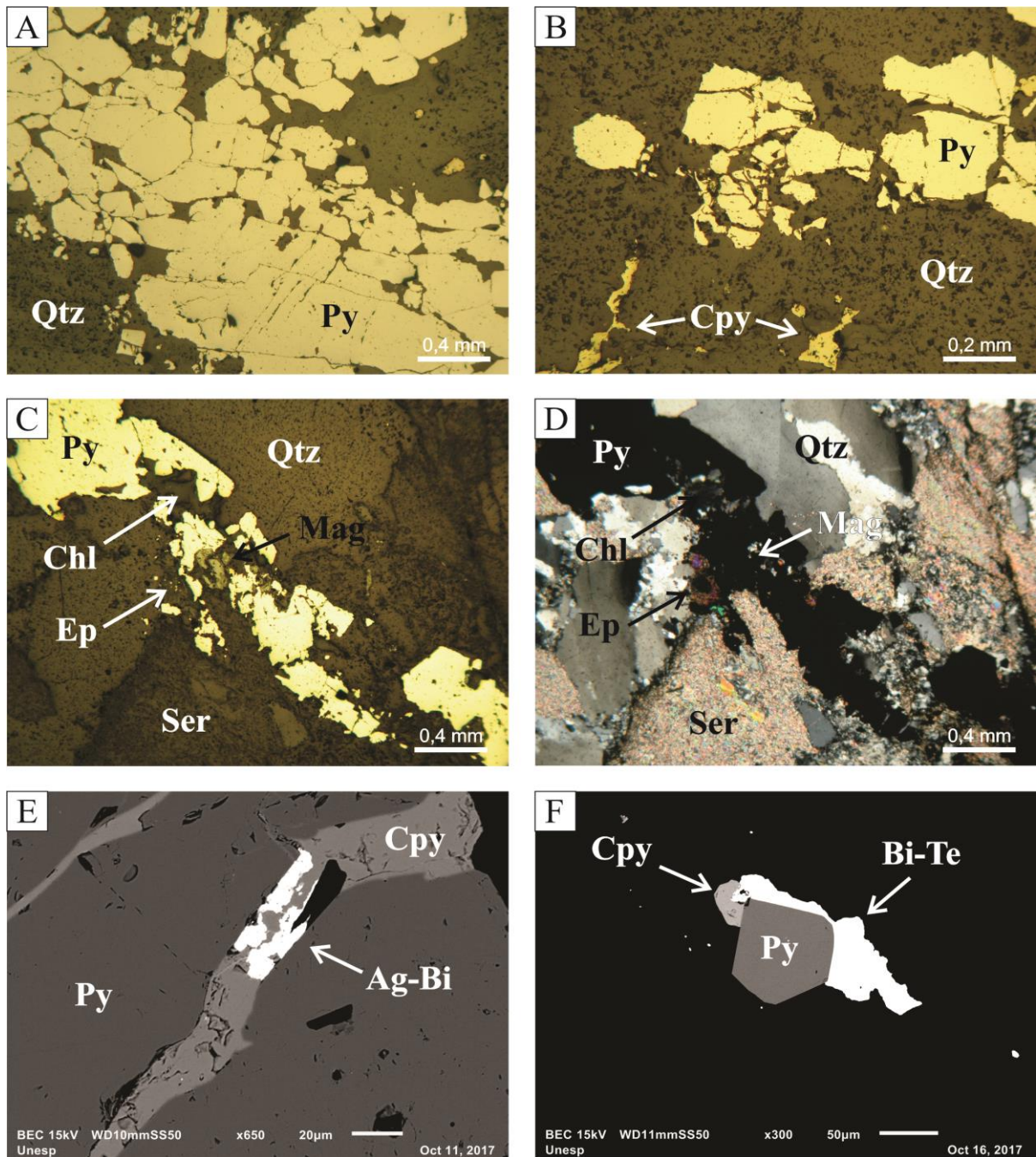


Figura 18 – A e B) Variação textural da pirita referente ao minério milonítico em matriz de quartzo fino (lâmina FTN03-98,34); C e D) Variação textural da pirita referente ao minério granítico em matriz de quartzo com alteração sericítica, além de clorita e epidoto (lâmina FTN04-54,43); E) Detalhe no MEV de fases ricas em Ag-Bi conjuntamente à calcopirita venular em cristal de pirita do minério milonítico (lâmina FTN03-98,34); F) Detalhe em MEV da liga Bi-Te em contato com pirita e calcopirita do minério granítico (lâmina FTN04-54,43). Legenda: Ag-Bi – liga de prata e bismuto; Bi-Te – liga de bismuto e telúrio; Chl – clorita; Cpy – calcopirita; Ep – epidoto; Mag – magnetita; Py – pirita; Qtz – quartzo; Ser – sericita.

O minério granítico (lâmina FTN04-54,43), entretanto, exibe cristais de pirita de granulação fina a média, subeuédricos, espacialmente relacionados ao quartzo, sericita, microclínio, calcopirita, além de muscovita, clorita, plagioclásio, epídoto, fases ricas em Bi-Te, Ag-Te e Ag-Bi, de modo mais restrito (Figuras 18C, 18D e 18F). No entanto, a petrografia não revelou Au associado ao minério granítico.

Tabela 3 – Principais características da pirita dos minérios milonítico (lâmina FTN03-98,34) e granítico (lâmina FTN04-54,43) do depósito Edu.

	Granulação e forma dos cristais	Associação paragenética	Ocorrência de Au	Alteração hidrotermal	Inclusões
Minério milonítico	Fina e anédrica.	Quartzo fino + sericita ± clorita ± calcopirita ± magnetita.	Au incluído em calcopirita e no contato entre pirita e calcopirita	Silicificação, sericitização e fraca cloritização.	Raras inclusões de calcopirita.
Minério granítico	Fina a média e subeuédrica.	Quartzo + sericita + microclínio ± muscovita ± plagioclásio ± epídoto ± clorita ± calcopirita ± magnetita.	Não foi observado.	Silicificação, sericitização, alteração potássica, fraca epidotização e cloritização.	Raras inclusões de calcopirita.

4.3 Elementos-traço por Microsonda Eletrônica

Com o auxílio de Microsonda Eletrônica (ME), foram efetuadas um total de 116 análises de elementos-traço em pirita (n=72) e calcopirita (n=44) provenientes dos depósitos Edu e Paraíba. Entre os elementos analisados podemos citar Al, As, Sb, Cr, Ni, Ti, Zn, Co, Pb, Ag e Au, além de S, Fe e Cu. As tabelas com os resultados coletados constam no Apêndice B. Os limites de detecção (LD) para cada um dos elementos consta na Tabela 1.

O depósito do Paraíba exibe valores inferiores de enxofre (S) para a pirita (39,9% - 54,9%) e calcopirita (27% – 35,4%), quando comparados aos dados obtidos para o depósito do Edu (pirita: 52,9% – 54,6%; calcopirita: 33,3% – 35,3%) (Figuras 19A-19B), para o qual os valores estiveram mais constantes.

Da mesma forma, o Fe também apresentou altos valores em cristais de pirita e calcopirita dos dois depósitos estudados, visto corresponder a um dos principais elementos presentes nesses minerais (Figuras 19C-19D). Observa-se que as concentrações de Fe são

praticamente equivalentes para ambos os depósitos, tanto para pirita quanto para a calcopirita. Entretanto, as concentrações do elemento mostram-se mais amplamente distribuídas na pirita (33,8% – 48,1%) e na calcopirita (23,5% – 32,1%) do depósito Paraíba do que na pirita (47,3% – 48,4%) e calcopirita (30,6 – 31,3%) do depósito Edu.

Apesar da maioria dos cristais de pirita analisados terem apresentado concentrações abaixo do limite de detecção para o Cu (LD=80 ppm), observa-se que o depósito Edu exibe

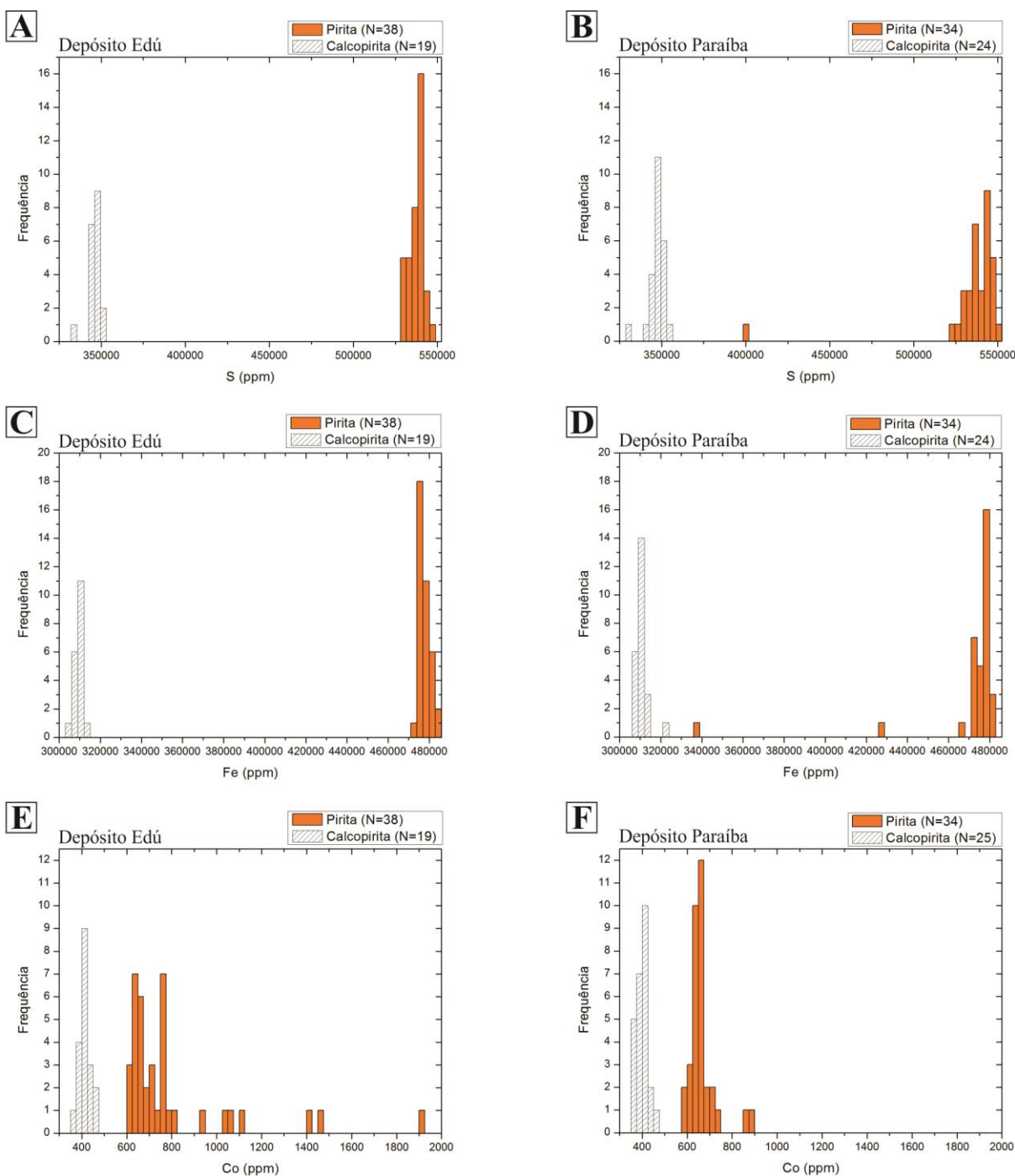


Figura 19 – Gráficos de frequência da concentração (em ppm) de elementos nos depósitos Edu e Paraíba. A e B) Enxofre; C e D) Ferro; E e F) Cobalto. N referente ao número de amostras.

valores superiores ($\text{Cu} \leq 830 \text{ ppm}$) aos reportados para o depósito do Paraíba, cuja maioria dos resultados ($\sim 80\%$) esteve abaixo do LD ($\text{Cu} \leq 530 \text{ ppm}$). Na calcopirita, a variação nos teores é mais ampla no depósito Paraíba ($26,2\% - 34,7\%$), embora seja ligeiramente menor do que no depósito Edu ($33,6\% - 34,8\%$).

O Co está mais enriquecido na pirita do que na calcopirita e sua concentração esteve em todos os casos acima do LD (Figuras 19E-19F), sendo ele o elemento-traço com maiores concentrações modais em ambos os depósitos. Nos cristais de pirita o Co aparece em maiores concentrações, além de uma maior dispersão, no depósito Edu ($600 - 1920 \text{ ppm}$), enquanto que no depósito Paraíba, embora essas concentrações sejam ligeiramente inferiores, a variação é consideravelmente menor ($590 - 880 \text{ ppm}$). Em adicional, as concentrações de Co na calcopirita de ambos os depósitos é muito similar, ou seja, de 350 a 450 ppm no depósito Edu, e de 360 a 460 ppm no depósito Paraíba.

Para ambos os depósitos, as maiores concentrações de Pb estão relacionadas à pirita, ao invés da calcopirita (Figuras 20A-20B). Embora a amplitude de distribuição dos teores de Pb seja similar nos depósitos Edu e Paraíba, nota-se que ele está mais concentrado na pirita do depósito Edu (moda = 250-299 ppm) do que nos cristais de pirita provenientes do depósito Paraíba (moda = 200-249 ppm). Quanto à calcopirita, a dispersão e a concentração do Pb são similares para ambos os depósitos, segundo suas modas (200-250 ppm).

Valores acima do limite de detecção para o Ni (LD=65 ppm) foram obtidos apenas na pirita de ambos os depósitos (Figuras 20C-20D). Os resultados mostram que a pirita do depósito Paraíba ($\text{Ni} \leq 780 \text{ ppm}$) contém concentrações de Ni ligeiramente inferiores às encontradas para o depósito Edu ($\text{Ni} \leq 1040 \text{ ppm}$), embora o padrão de dispersão dos dados seja bastante semelhante para ambos os casos.

As análises revelaram que o Au ocorre com maior frequência nos cristais de pirita de ambos os depósitos. Independentemente do depósito, poucos valores para Au na calcopirita estiveram acima do LD (Figuras 20E-20F). Os cristais de pirita do depósito Paraíba exibem concentrações de Au muito mais dispersas ($\leq 80 - 1740 \text{ ppm}$) quando comparados ao do depósito Edu ($\leq 80 - 380 \text{ ppm}$). Contudo, as concentrações que aparecem com maiores frequências na pirita de ambos depósitos estão entre 50 ppm e 200 ppm. A calcopirita do depósito Edu, no entanto, apresenta maior variação nas concentrações de Au ($\leq 80 - 1150 \text{ ppm}$), quando comparado ao depósito Paraíba ($\leq 80 - 190 \text{ ppm}$). Em adicional, as maiores concentrações de Au em calcopirita estão relacionadas ao depósito Edu.

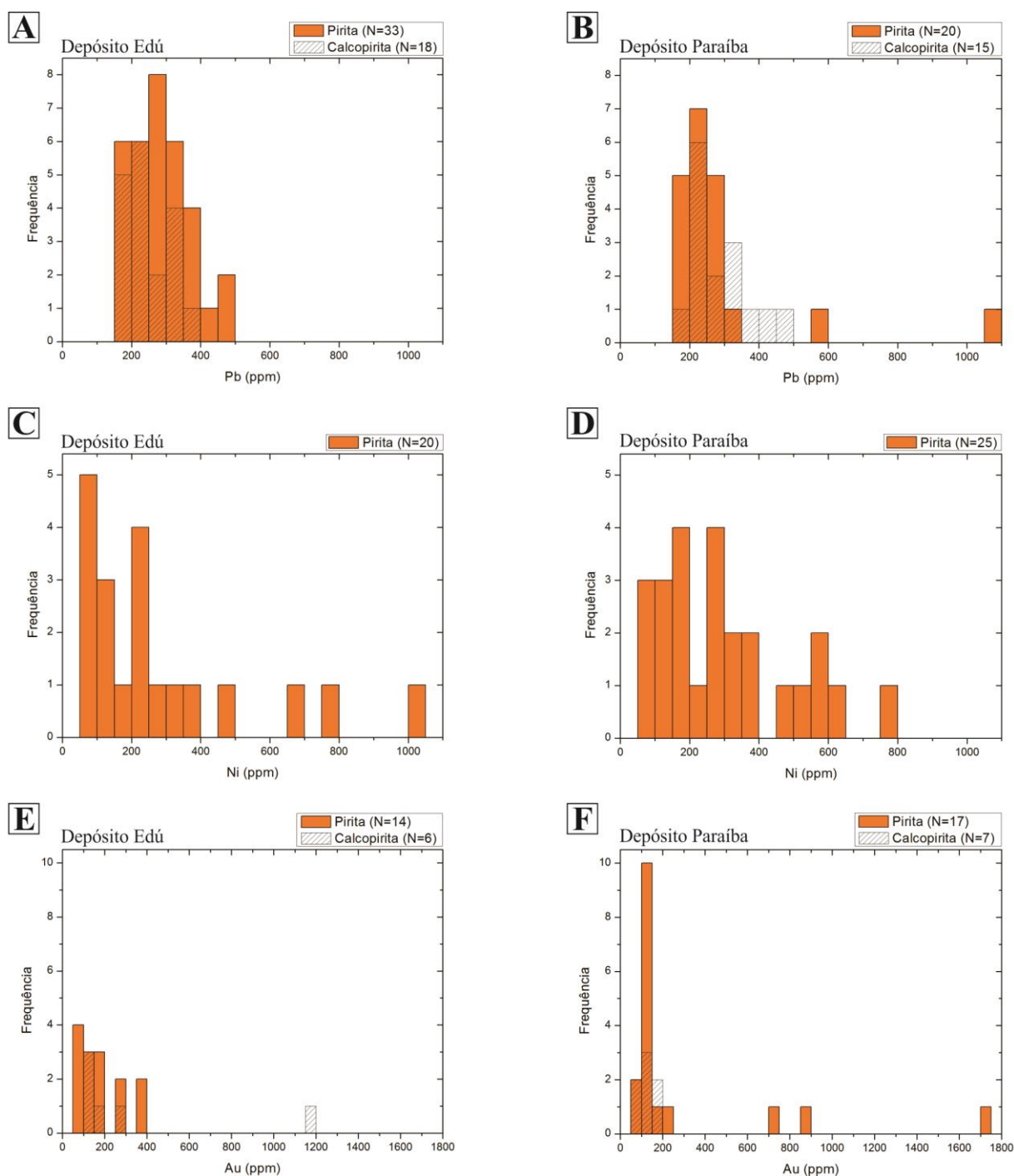


Figura 20 – Gráficos de frequência da concentração (em ppm) de elementos nos depósitos Edu e Paraíba. A e B) Chumbo; C e D) Níquel; E e F) Ouro. N referente ao número de amostras.

O Zn (LD=110 ppm) apresentou valores acima do limite de detecção apenas para cristais de calcopirita (Figuras 21A-21B). Os valores de Zn mostraram-se superiores e amplamente mais dispersos no depósito Paraíba ($\leq 110 - 460$ ppm) quando comparados àqueles encontrados para o depósito do Edu ($\leq 110 - 240$ ppm).

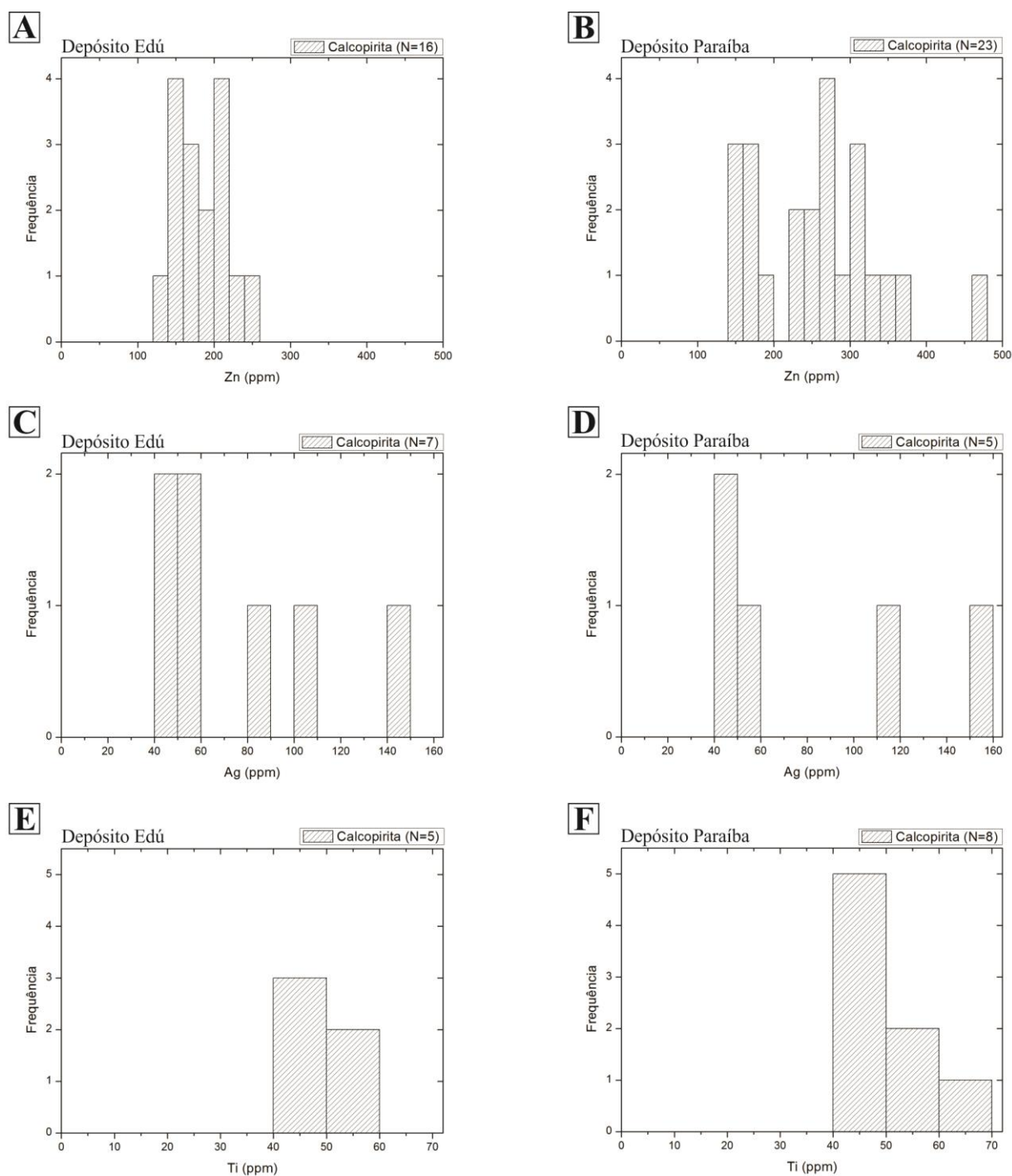


Figura 21 – Gráficos de frequência da concentração (em ppm) de elementos nos depósitos Edu e Paraíba. A e B) Zinco; C e D) Prata; E e F) Titânio. N referente ao número de amostras.

As análises de Ag (LD=30 ppm) foram similares às obtidas para o Ti. Os poucos resultados acima do LD estiveram concentrados na calcopirita de ambos os depósitos (Figuras 21C-21D), com a grande maioria dos valores (~70%) abaixo do LD. Apesar do conjunto reduzido de dados, nota-se que estes são similares nos dois depósitos. A variação na

distribuição das concentrações de Ag na calcopirita do depósito Edu ($\leq 30 - 140$ ppm) é similar às daquelas do depósito Paraíba ($\leq 30 - 150$ ppm).

O Ti (LD=30 ppm) apresentou valores acima do limite de detecção apenas para alguns cristais de calcopirita (Figuras 21E-21F), ainda assim apresentando a grande maioria dos resultados ($\sim 70\%$) abaixo do LD. Em ambos os depósitos, os valores de Ti estiveram no mesmo patamar, ou seja: (1) Paraíba ≤ 60 ppm; e (2) Edu ≤ 50 ppm.

Adicionalmente, todas as análises para Cr (LD=35 ppm) resultaram em valores abaixo do limite de detecção. Elementos como Sb (LD=95 ppm), Al (LD=15 ppm) e As (LD=45 ppm) apresentaram apenas uma pequena, e insuficiente, quantidade de análises com valores acima do limite de detecção ($<1\%$; $\sim 2\%$; e $\sim 8\%$, respectivamente). Dessa forma, não foi possível a confecção de nenhum gráfico ou análise mais detalhada sobre esses quatro elementos.

5. Discussões

5.1 Limitações do método

Pode-se dizer que análises de elementos traço em pirita correspondem a estudos relativamente recentes, até mesmo no âmbito mundial. Novas técnicas analíticas veem surgindo e se aprimorando, embora em alguns casos elas não consigam extrair um conjunto satisfatório ou ideal de dados para o estudo de elementos traço em sulfetos. Neste dado trabalho, as análises foram realizadas com a utilização de microsonda eletrônica e seus resultados estão contidos no Apêndice B.

Como pode-se observar na tabela de dados do Apêndice B e no capítulo de resultados, as concentrações de alguns elementos se mostraram abaixo do limite de detecção em grande parte das análises. Isto pode ocorrer essencialmente por dois motivos, (1) a ausência ou baixa concentração do referido elemento, tornando-o impossível de ser detectado, ou (2) pelo fato do método analítico utilizado neste trabalho (microsonda) apresentar um limite de detecção relativamente elevado para captar as baixas concentrações de certos elementos. Este cenário ocorre muitas vezes mesmo com a utilização do método LA-ICP-MS, comumente mais usado e indicado para estudos dessa finalidade. Independentemente da técnica analítica utilizada, é errado assumir a total ausência de um elemento que não apresentou assinaturas durante as análises, lembrando que estes ainda podem estar presentes, porém, em quantidades inferiores às do limite de detecção do método utilizado.

Em adicional, a falta de padrões internos para a análise de alguns elementos, a exemplo do Bi, Te e Mo, usualmente detectados pelo Microscópio Eletrônico de Varredura como ligas metálicas comuns nos depósitos auríferos da PAAF, acabou limitando, em partes, o conjunto final de dados. A presença de ligas contendo Bi e Te, reveladas através do MEV em ambos os depósitos estudados, e descritos em trabalhos anteriores (PAES DE BARROS, 2007), contribuem para hipótese de que tais elementos possivelmente apresentariam concentrações acima do limite de detecção da microsonda eletrônica.

5.2 Concentrações e relações entre ouro e elementos-traço

Com os dados obtidos foi possível estabelecer relações entre as concentrações de alguns elementos, especialmente com Au. O ouro, além de estar presente como inclusões visíveis na petrografia convencional dos dois depósitos estudados, no caso, incluso nas pirita II, III, IV e V no depósito Paraíba (Figuras 12B, 10F, 11D e 10E) e no minério milonítico no depósito Edu (Figuras 17A, 17B e 17C), também ocorre na estrutura cristalina de cristais de pirita e calcopirita de ambos os depósitos.

Dessa forma, é possível notar sutis correlações negativas do Au com o Pb e Zn na calcopirita do depósito Paraíba (Figuras 22A e 22B), e com o Zn na calcopirita do depósito Edu (Figura 22B), enquanto que correlações lineares positivas do Au com Co e Fe foram observadas na calcopirita de ambos os depósitos (Figuras 22C e 22D). A figura 22 ilustra as correlações lineares obtidas para os cristais de calcopirita dos depósitos estudados.

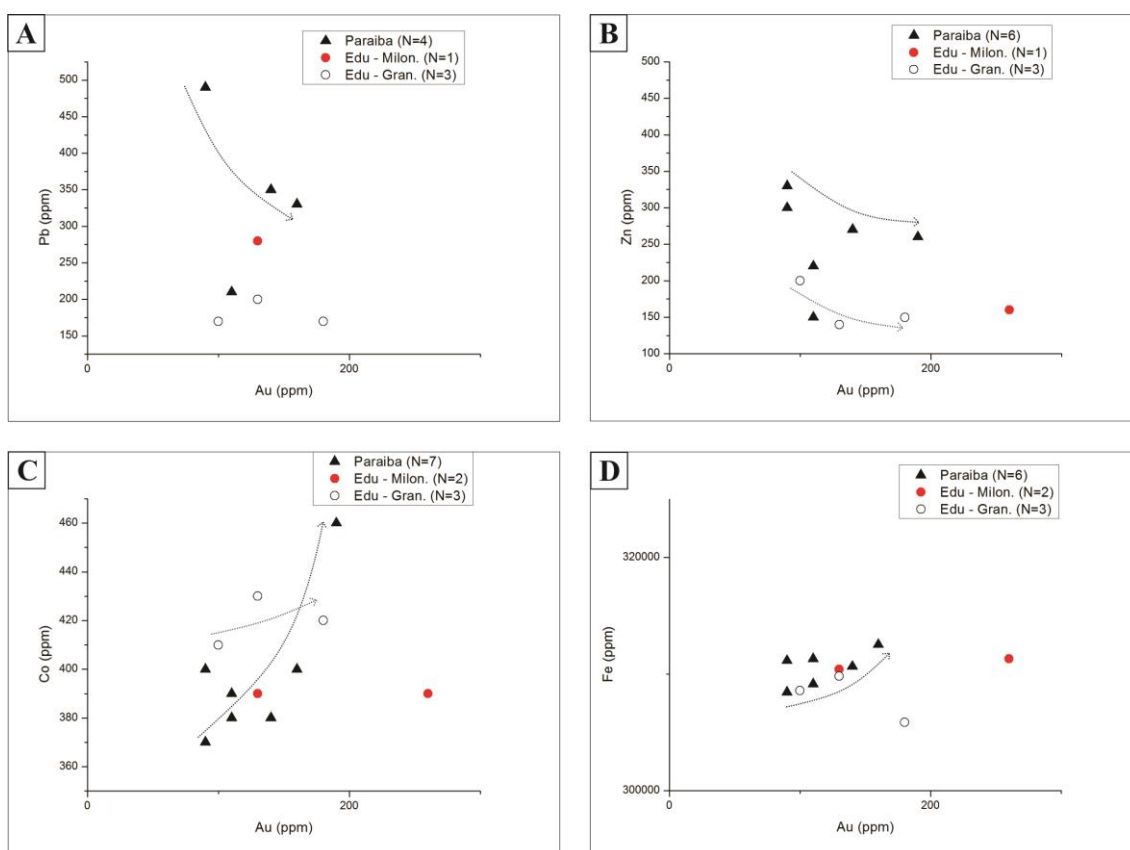


Figura 22 – Diagramas de correlação binária entre Au vs. Pb, Zn, Co e Fe em cristais de calcopirita dos depósitos Paraíba e Edu.

Em adicional, nota-se que o incremento nas concentrações de Au (ppm) na estrutura da pirita é seguido por decréscimos nas concentrações de Co, Cu e Ni (correção linear negativa) e por incrementos nas concentrações de Pb na estrutura da pirita (correlação linear positiva) (Figura 23).

A relação entre Au e Pb em calcopirita é observada apenas para o depósito Paraíba, de forma negativa ($r^2 = -0,33$: moderada correlação inversa) (Figura 22A), segundo o coeficiente de correlação de Pearson. A relação negativa pode indicar que o fluido tenha se tornado gradativamente mais empobrecido em Pb em resposta à precipitação de galena ao longo do seu caminho evolutivo, ou então, de que o ouro tenha substituído o chumbo na estrutura cristalina da calcopirita durante a formação do depósito.

Os cristais de calcopirita de ambos os depósitos mostram relação negativa entre Au e Zn (Figura 22B). Entretanto esta relação é mais pronunciada para o conjunto de amostras do depósito Edu ($r^2 = -0,68$: forte correlação linear negativa), enquanto que para o depósito Paraíba a relação é mais fraca ($r^2 = -0,13$: fraca correlação negativa). A exemplo do caso anterior, relações lineares negativas podem representar indícios de rebaixamento da solubilidade do metal no fluido e, portanto, sua precipitação no decorrer da história evolutiva do sistema hidrotermal, no caso, a partir da formação de esfalerita como inclusões na pirita.

As correlações entre Au e Co nos cristais de calcopirita de ambos os depósitos são positivas e mais evidentes (Figura 22C). No depósito Paraíba a relação é dada como forte ($r^2 = 0,76$), enquanto que para o depósito Edu ($r^2 = 0,37$), indicam correlação positiva moderada. Neste caso a correlação positiva e mais intensa pode ser sugerida como resultado da boa afinidade geoquímica entre Co e Cu, visto ambos serem elementos calcófilos e compatíveis. Como Cu é um elemento majoritário na calcopirita, o Co pode estar na estrutura da calcopirita através da substituição do Cu (visto exibirem forte afinidade geoquímica). Essa substituição, no entanto, causaria uma deformação na estrutura interna da calcopirita, o que favoreceria a entrada de Au. Isso poderia justificar a correlação positiva entre Au e Co, especialmente no depósito Paraíba que conta com amostras intensamente mais sulfetadas (Figura 8).

Ainda na calcopirita, foi possível notar uma forte correlação positiva ($r^2 = 0,63$) do Au com Fe no depósito Paraíba (Figura 22D). O aumento de Fe também pode estar associado ao aumento da atividade do enxofre no fluido, o que permitiria maior precipitação de Au com a intensificação do processo de precipitação de sulfetos.

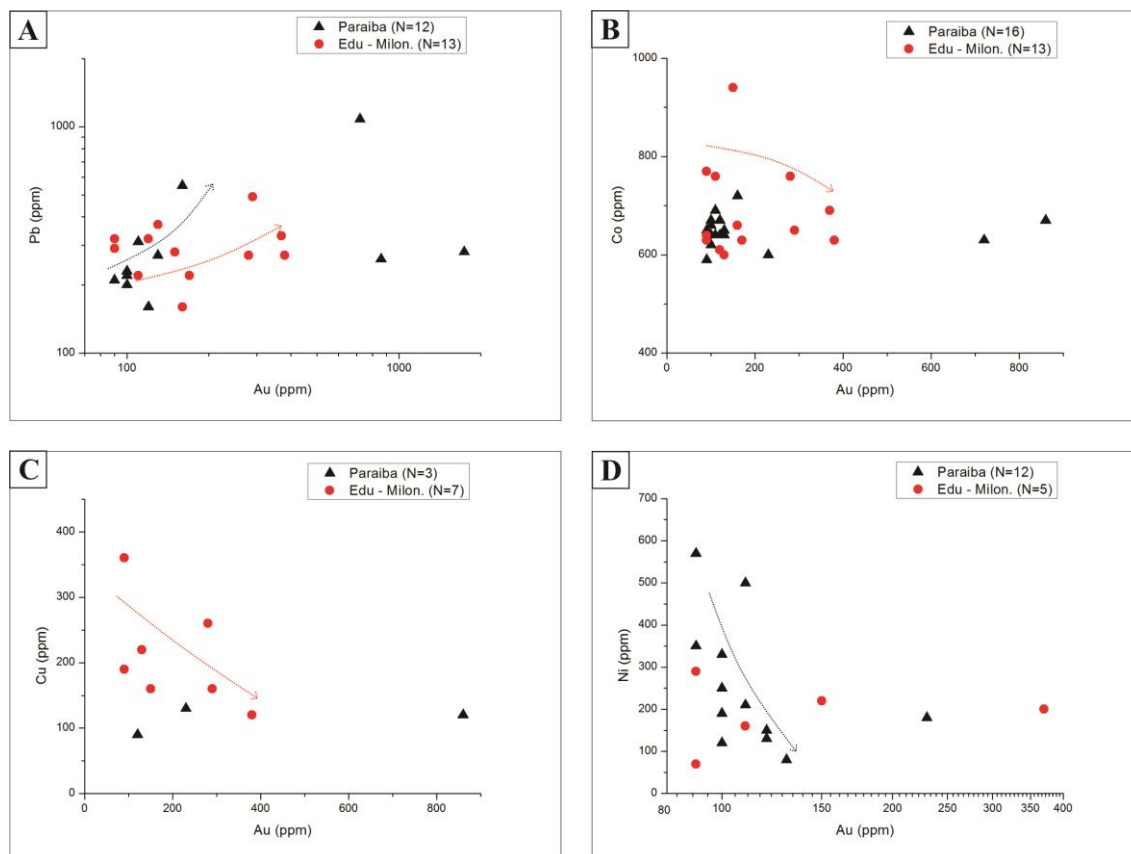


Figura 23 – Diagramas de correlação binária do Au vs. Pb, Co, Cu e Ni em cristais de pirita dos depósitos Paraiba e Edu.

Inversamente do que se foi observado para a calcopirita, nos cristais de pirita o Pb mostra uma correlação positiva, porém fraca em ambos os depósitos ($r^2 = 0,23$ no depósito Paraiba e $r^2 = 0,2$ no depósito Edu) (Figura 23A). Diferentemente do caso anterior, esses resultados poderiam estar relacionados a um ligeiro enriquecimento em Pb por parte do fluido com o aumento da sulfetação do sistema, evidenciado por diminutas inclusões de galena na pirita. Isso se torna mais favorável visto que em alguns depósitos da PAAF, a exemplo do depósito Pé Quente e Francisco (ASSIS, 2011), o Au exibi certa relação com o Pb, a ponto de formar ligas metálicas inclusas na pirita, mas não na calcopirita.

De forma similar, a correlação entre Au e Co em pirita do depósito Edu é inversa, se comparada à observada para a calcopirita (Figura 23B). Fracamente negativa ($r^2 = -0,26$), a relação pode indicar substituição incongruente ou ineficaz de Co por Au na estrutura cristalina da pirita durante a formação do depósito, visto ambos os elementos exibirem particionamento diferenciado na pirita, isto é, o Au se particiona muito mais facilmente na pirita, como resposta à saída do Fe, do que como resposta à saída do Co.

A exemplo do Co, o Cu exibe uma relação negativa, porém, moderada ($r^2 = -0,49$) com o Au presente na estrutura da pirita do depósito Edu (Figura 23C). Visto o Co possuir uma forte

afinidade geoquímica com o Cu, e ambos apresentam tal correlação negativa com Au, é possível que tenham entrado na deformação causada pela saída do Fe da estrutura da pirita, durante o processo evolutivo do fluido. Em adicional, observa-se que com o aumento das concentrações de Fe, o sistema torna-se mais enriquecido em Au e Co.

Por fim, a última relação observada, envolve as concentrações de Au e Ni na pirita (Figura 23D). Neste caso, nota-se moderada correlação linear negativa ($r^2 = -0,34$) com Au em relação ao Ni no depósito Paraíba. O Ni possui uma boa afinidade geoquímica com Fe, e apresente uma relação negativa com o mesmo como será discutido posteriormente. Dessa forma, a diminuição nas quantidades de Ni poderia se relacionar com o aumento de Fe, e consequentemente aumento da sulfetação (como a relação positiva entre Au e Fe em calcopirita). Em adicional, outra possibilidade seria a substituição de Ni por Au, embora a diferença entre os raios atômicos (Ni – 124pm; Au – 174pm) possa dificultar tal processo.

A Ag e, especialmente, o As apresentaram poucas leituras acima do limite de detecção, e por isso foi impossível estabelecer boas correlações desses elementos com o Au. Apesar disso, foi observado que as leituras de As foram exclusivamente de cristais de pirita, enquanto que as leituras de Ag concentraram-se exclusivamente na calcopirita. Tal fato poderia ser resultado de uma boa afinidade geoquímica entre As e Fe, assim como entre Ag e Cu. Dessa forma, o As substituiria com maior facilidade o Fe, concentrando-se em maiores quantidades em cristais de pirita ao ponto de mostrarem assinaturas acima do limite de detecção da microsonda eletrônica. Com o Fe preferencialmente substituído por As, resta o Cu como opção para substituição por Ag, o refletindo em cristais de calcopirita mais enriquecidos em Ag do que os de pirita. Adicionalmente, os teores de Ag acima do limite de detecção podem ser explicados pelo fato da existência de ligas de Ag-Bi e Ag-Te de ambos os depósitos, tal como observado ao MEV, além do mesmo aparecer como “impureza” em análises de ouro em proporções máximas Au:Ag de 4:1.

Os elementos Zn e Ti apresentaram assinaturas apenas em cristais de calcopirita. Este fato pode ser novamente relacionado com uma melhor afinidade geoquímica entre o Cu e estes dois elementos, o que torna mais fácil sua concentração em minerais mais ricos em Cu, a exemplo da calcopirita. Isso se reforça pela presença de rutilo e esfalerita que ocorrem como inclusões e/ou nas margens da calcopirita, tal como descrito por Paes de Barros (2007). Com o auxílio do MEV, este trabalho também observou titanita espacialmente relacionada à calcopirita do depósito Paraíba, o que reforçaria tal hipótese.

O Pb por sua vez é encontrado em quantidades consideráveis nos dois depósitos, tanto em cristais de pirita como na calcopirita. Suas altas concentrações podem ser explicadas, também, por questões mineralógicas, uma vez que frequentemente se diagnosticou inclusões de galena na pirita e calcopirita nos depósitos estudados.

O Co e o Ni apresentaram altas concentrações em ambos os depósitos, porém, o Ni mostra assinaturas apenas em cristais de pirita. Embora ambos os elementos mostrem afinidade geoquímica com o Cu, o Ni é menos compatível se comparado ao Co, além de ser ligeiramente siderófilo e menos calcófilo do que o Cu. Esses fatores implicariam em maior preferência do Ni pelo Fe e, portanto, sugerir o motivo pelo qual o Ni se concentra na estrutura da pirita. Ainda nesse sentido, foram observadas boas correlações entre esses elementos e o Fe nos cristais de pirita (Figura 24). O Co mostra correlações negativas com o Fe em cristais de pirita, sendo elas fraca ($r^2 = -0,27$) no depósito Paraíba e moderada nos minérios milonítico ($r^2 = -0,36$) e granítico ($r^2 = -0,44$) do depósito Edu. Em adicional, o Ni exibe correlações negativas com o Fe em cristais de pirita para os dois depósitos, embora essa seja fraca tanto no depósito Paraíba ($r^2 = -0,15$) quanto no minério milonítico do depósito Edu ($r^2 = -0,17$), além de ser muito forte no minério granítico ($r^2 = -0,85$) do depósito Edu. As relações negativas de Co e Ni com Fe seriam explicadas por uma substituição do Fe por Co e Ni na estrutura cristalina da pirita, tal como sugerido por Zhang *et al.* (2013), Xue-Ming (2006) e Barburena (2009).

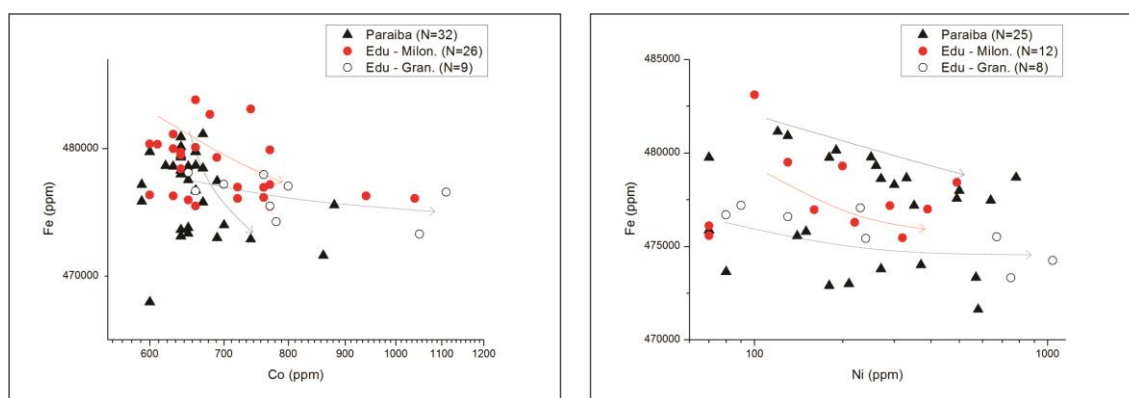


Figura 24 – Diagramas binários que exibem a correlação inversa (moderada a fraca) entre Fe, Co e Ni em cristais de pirita oriundos dos depósitos Paraíba e Edu.

Em oposição aos outros elementos que apresentaram valores acima de seus respectivos limites de detecção, não foram observados minerais que poderiam conter quantidades significativas de Co e Ni, logo, os reais motivos das correlações observadas estariam eminentemente em nível molecular, ao invés de questões paragenéticas. Como elementos

calcófilos e compatíveis com o magma, suas assinaturas seriam algo incomum em um contexto geológico dominado por magmatismo cálcio-alcálico, com consequente geração de sistemas magmáticos-hidrotermais, a exemplo do que se encontra na PAAF. Assim, assume-se que tais elementos tenham sido introduzidos ao fluido através da lixiviação de rochas máficas, ou então, por conta da injeção de magmas máficos ao reservatório granítico responsável pelo evento mineralizante da província. Essas questões, no entanto, serão melhor discutidas nos próximos tópicos.

5.3 Porções mineralizadas nos depósitos estudados

Como já observado, as relações entre o Au e os elementos traço em sulfetos é ligeiramente similar para os dois depósitos. Adicionalmente, diferenças composicionais entre núcleo e borda de cristais não foram observadas para nenhum caso, tampouco zoneamentos minerais que poderiam justificar eventuais variações.

No depósito Edu o ouro visível foi observado apenas no minério milonítico, na forma de inclusão em calcopirita e no contato entre pirita e calcopirita. Os dados obtidos pela análise em microsonda eletrônica foram condizentes com as observações feitas na petrografia e MEV, uma vez que nenhuma das dez análises efetuadas na pirita do minério granítico apresentou valores acima do limite de detecção para o Au. Tendo em vista que a pirita do minério granítico não deve conter quantidades significativas de ouro, é possível sugerir que o principal estágio aurífero do depósito (ao menos os relacionados à altos teores), tenha melhor se concentrado no minério milonítico, como resultado da intensa percolação de fluidos ao longo de estruturas de cisalhamento que truncam o granito Santa Helena, convertendo-o a um quartzo-sericita milonito.

No depósito Paraíba, o ouro visível ocorre incluso tanto na pirita quanto na calcopirita, além de preencher fraturas na pirita, das variações texturais II, III, IV e V. Como observado na petrografia e no MEV, a quantidade de ocorrências de ouro parece aumentar da pirita II até a pirita V, sendo que a pirita IV e V são as que contêm maiores concentrações de inclusões do referido metal. Tal observação coincide com a distribuição espacial das variações texturais sugerida a seguir. Adicionalmente, os dados da microsonda eletrônica mostram que, apesar de todas as cinco texturas da pirita apresentarem valores acima do limite de detecção, a pirita V retém os maiores teores de Au (em ppm). Com essas informações é possível sugerir que os

teores de Au aumentem em direção às porções centrais dos veios sulfetados, o que coincide, inclusive, com uma carbonatação mais proeminente do sistema.

5.3.1. Relação espacial das variedades texturais da Pirita do depósito Paraíba

Foram individualizados cinco diferentes texturas para a pirita (Figuras 11 e 12). Embora o Au ocorra em quatro delas, tanto na forma de inclusões quanto em fraturas que transpassam tais cristais, nota-se um sutil aumento nas ocorrências de ouro na: (1) Pirita IV: espacialmente relacionada aos carbonatos da alteração carbonática (Figuras 9C, 9D, 9E, 9F); e (2) Pirita V: em paragênese com calcopirita, a qual ocorre como massas intersticiais e que englobam os cristais de pirita (Figuras 10B, 10C, 10D e 10E). Essas cinco variedades texturais estariam relacionadas a distintas porções do principal veio de quartzo + sulfeto do depósito (Figura 25).

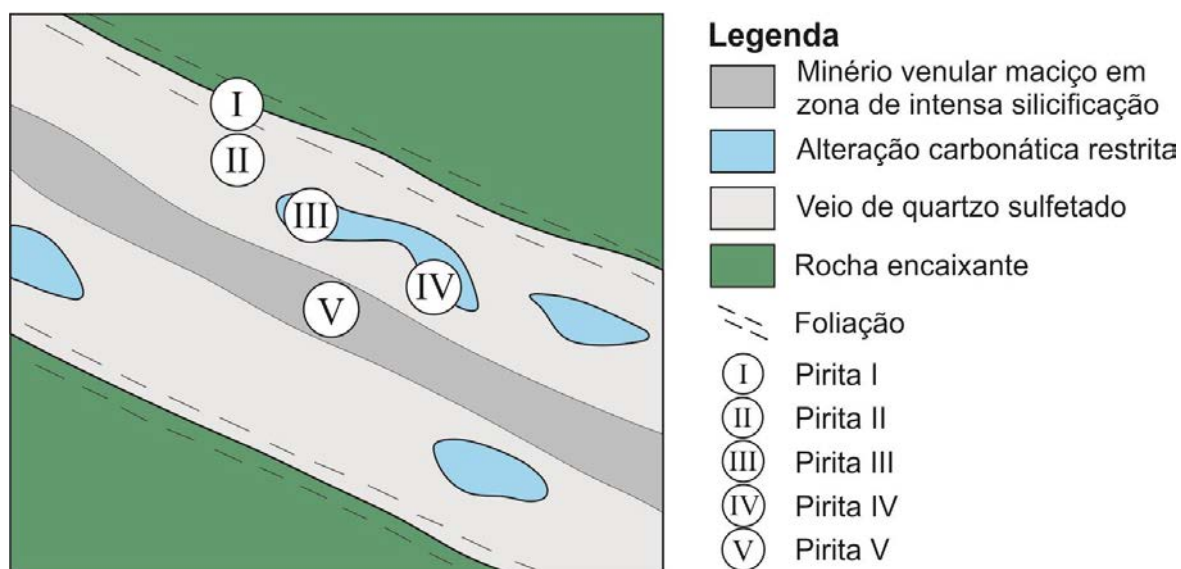


Figura 25 – Esquema exemplificado da distribuição espacial das cinco variedades texturais da pirita do depósito Paraíba.

Neste contexto, a pirita I por corresponder a cristais finos dispersos em matriz sericítica que define uma foliação incipiente à rocha, estaria localizada na porção mais externa do veio, próxima ao seu contato com a rocha hospedeira. Evidências como: (1) estágio de menor intensidade da sulfetação, e (2) ausência de Au na pirita; correspondem a indícios petrográficos adicionais que reforçam esse fato.

Em seguida, a pirita II tomaria uma posição intermediária dentro do veio mineralizado. Essa textura está atrelada a uma alteração sericítica que se sobrepõe à silicificação que, embora com maior concentração de sulfetos do que a textura anterior, ainda representa um fraco estágio de sulfetação dentro do sistema hidrotermal do depósito. Raras ocorrências de Au, tanto como

inclusões na pirita quanto em suas fraturas, correspondem a indícios adicionais dessa posição espacial.

A pirita III estaria relacionada com uma forte alteração carbonática mais restrita, que teria atuado em porções mais restritas do veio mineralizado. Deste modo poderia corresponder a porções proximais/intermediárias, ou então, que balizam o veio principal. É representada por uma quantidade considerável de cristais finos de pirita e calcopirita, evidenciando um sutil aumento na sulfetação, além de contar com ocorrências de ouro na forma de inclusões e no contato entre cristais de pirita, calcopirita e a ganga carbonática (Figura 10F).

Espacialmente próxima à pirita III, a pirita IV se inseriria em porções mais centrais do veio sulfetado. Essa textura também estaria relacionada a uma forte carbonatação, porém, restrita e que marcaria a transição do estágio anterior para a da pirita IV. Mostra aumento na quantidade e dimensão dos sulfetos quando comparada às texturas anteriores, assim como na quantidade e na dimensão das inclusões de Au na pirita e calcopirita.

Por fim, a pirita V ocuparia a porção mais central dos veios de quartzo. Corresponde a uma textura relacionada a uma extrema sulfetação, com cristais grossos englobados por amplas massas de calcopirita, responsáveis pela geração de zonas de minério maciço com resquícios de forte silicificação (Figura 8B, 8C, 11E, 12E). O evidente aumento na sulfetação suporta a hipótese desta variação textural corresponder a porção mais central do veio mineralizado, onde a sulfetação tende a atingir seu ápice. Corresponde ao estágio com a maior concentração de Au, tanto em fraturas na pirita, quanto como inclusões na pirita e, principalmente, na calcopirita.

Coletivamente, as diferentes variedades texturais da pirita estariam contextualizadas em um padrão hidrotermal zonado, compatível com mineralizações filonares, em que os sítios mais externos são caracterizados pelas alterações propilítica, clorítica e/ou sericítica que gradam para zonas mais enriquecidas em carbonato, por sua vez obliteradas por intensa silicificação com forte sulfetação e precipitação de minério aurífero, tal como proposto por Groves et al. (1998) e Goldfarb et al. (2001).

5.4 Contribuições para o sistema magmático-hidrotermal do setor leste da PAAF

O setor leste da PAAF é composto principalmente por rochas plutônicas e vulcânicas eminentemente derivado de magmatismo granítico cálcio-alcalino oxidado. Neste cenário estão hospedados os depósitos filonares de $\text{Au} \pm \text{Cu}$ pertencentes ao grupo (2), ao qual despontam os depósitos Paraíba e Edu como notórios representantes (ASSIS, 2015). Segundo Assis (2015), a província teria passado por três estágios magmáticos principais: (1) 1,99 – 1,93 Ga, com embasamento granítico e metamórfico, composto por rochas metamórficas altamente deformadas e por intrusões félsicas originadas em ambiente de Arco magmático crono-correlato ao Arco Mágmatco Cuiú-Cuiú; (2) sequências plutono-vulcânicas e vulcano-sedimentares félsicas pertencentes à série da magnetita (granitos tipo I; 1,97 a 1,78 Ga) geradas durante o principal estágio de crescimento crustal da província, durante a construção do Arco Mágmatco Juruena; além de (3) unidades plutono-vulcânicas pós-orogênicas e anorogênicas (1,78-1,77 Ga) com sequências vulcânicas máficas subordinadas, derivadas do estágio pós-orogênico do Arco Mágmatco Juruena, em ambiente do tipo *back-arc* (ASSIS, 2015; DUARTE, 2015).

Este último estágio teria gerado sequências plutono-vulcânicas e vulcanossedimentares *sin-* a pós-orogênicas. O desenvolvimento desse estágio teria culminado na instalação de um ambiente tipo *back-arc*, por sua vez, responsável pelo magmatismo do grupo Colíder (1,786 $\pm$ 0,017 Ga a 1,781 $\pm$ 0,008 Ga - JICA/MMAJ, 2000; PIMENTEL, 2001) e Suíte Intrusiva Teles Pires (1,757 $\pm$ 0,016 Ga a 1,782 $\pm$ 0,017 Ga - SANTOS, 2000; PINHO et al., 2003; MORETON & MARTINS, 2005; SILVA & ABRAM, 2008).

A Suíte Colíder corresponde a uma unidade majoritariamente *sin-orogênica*, formada por rochas cálcio-alcalinas de alto potássio, que a depender do pesquisador, estaria relacionada aos estágios mais tardios de construção do Arco Mágmatco Juruena, ou então, já no ambiente *back-arc* deste mesmo arco magmático. A Suíte Intrusiva Teles Pires, entretanto, teria sido gerada por magmatismo derivado do relaxamento crustal em plataforma *back-arc*. Associada a essas unidades, entretanto, ocorrem diversas manifestações de vulcânicas máficas (DUARTE, 2015), o que aponta para um magmatismo eminentemente félsico, porém, com contribuição de magmas máficos derivados do processo de relaxamento crustal em ambiente *back-arc*.

Esse ambiente *back-arc* mostra-se de grande importância no quadro metalogenético regional da província, visto as idades Re-Os em pirita e molibdenita de zonas representativas do setor mineralizado de três importantes depósitos da região (Pé Quente; Luizão e X1)

indicarem idades estaterianas (1,78 Ga) para o evento mineralizante da província (ASSIS, 2015). Essas idades são totalmente concordantes com a instalação deste último estágio tectônico na província, o qual é compreendido como o estágio responsável pela instalação dos sistemas auríferos magmático-hidrotermais da PAAF (ASSIS, 2015). Neste cenário, existe uma boa chance de magmas máficos terem contribuído no evento aurífero da província, disponibilizando calor, metais e vapor ao sistema. As elevadas concentrações de Co e Ni obtidas neste trabalho podem, inclusive, reforçar essa hipótese.

Durante a etapa petrográfica (petrografia convencional e MEV), não foram observados minerais de Co e/ou Ni. Logo, seria pouco provável que essas assinaturas estivessem diretamente relacionadas a paragêneses entre fases minerais. Pelo fato do Ni e Co corresponderem a elementos calcófilos e compatíveis, estão presentes em maiores concentrações em magmas máficos, de origem mantélica. Dessa forma, suas altas concentrações poderiam indicar uma contribuição de magmas máficos durante a gênese dos depósitos estudados. Adicionalmente, a Figura 25 exibe a correção entre as concentrações de Ni e Co (em ppm), no qual os valores obtidos enquadram-se em sua maioria no campo referente a mineralizações hidrotemais. Esses resultados, inclusive, são semelhantes aos obtidos por

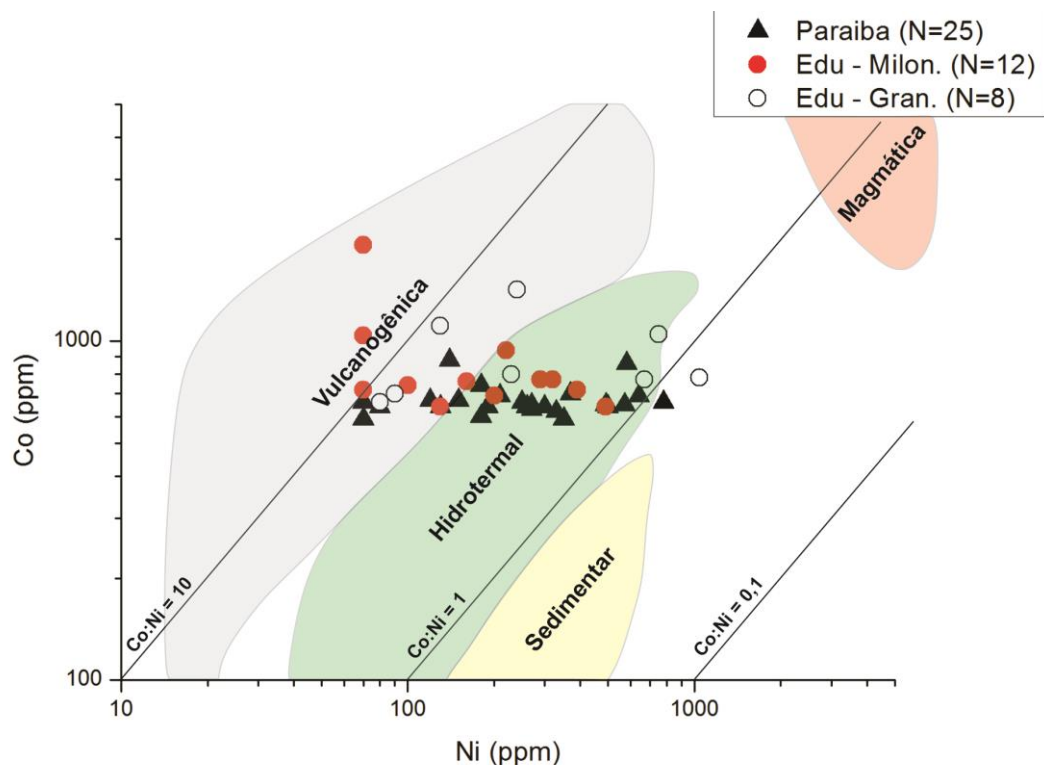


Figura 26 – Correlação das concentrações Ni e Co (em ppm) contidos em cristais de pirita dos depósitos filonares de Au ± cu do Paraíba e Edu. Diagrama proposto por MONTEIRO (2008).

Barbuena (2009) em estudos de elementos traço por LA-ICP-MS a partir da dissolução de cristais de pirita.

Dessa forma, a contribuição de magmas máficos poderia justificar as elevadas concentrações de Co e Ni na estrutura dos sulfetos. Essa contribuição poderia ter ocorrido através de uma contaminação do magma essencialmente félsico e cálcio-alcalino por um magma máfico, o que poderia, inclusive, ter dinamizado o sistema com calor e alguns metais. Contribuição de magmas máficos em sistemas magmático-hidrotermais cupro-auríferos, a exemplo dos pórfiros, têm sido relatadas como importante agente retroalimentador do sistema (SILLITOE, 2010). Uma segunda alternativa, no entanto, poderia ser a extração de Ni e Co de encaixantes máficas no decorrer do processo evolutivo do fluido hidrotermal, o qual se enriqueceria nesses elementos. Isso se tornaria mais claro se considerado o depósito Paraíba, cujas zonas mineralizadas também ocorrem encaixadas em anfibolitos.

6. Conclusões

A partir do objetivo principal do trabalho e dos dados obtidos, as seguintes conclusões podem ser elencadas:

(1) A pirita do depósito Paraíba pode ser individualizada em cinco variações texturais distintas, descritas e organizadas segundo a Tabela 2, enquanto que o depósito Edu conta apenas com duas variações, referentes aos minérios granítico e milonítico, existentes no depósito e representados na Tabela 3.

(2) No depósito Paraíba, a mineralização aurífera se mostrou mais intensa nas porções mais centrais dos veios sulfetados de quartzo, enquanto que menos acentuada nas porções próximas às suas bordas. Assim, parece haver uma relação direta da precipitação do Au com o aumento da sulfetação e carbonatação do sistema.

(3) De acordo com a individualização de cinco diferentes variações texturais da pirita (I, II, III, IV e V) do depósito Paraíba proposta neste trabalho, os resultados mostram maiores quantidades de Au visível, como inclusões e preenchendo fraturas, e na estrutura cristalina dos sulfetos referentes a pirita V, sendo esta a variação textural mais enriquecida em ouro.

(4) No depósito Edu não foram observadas assinaturas de ouro nos cristais de pirita provenientes do minério granítico, ao passo de que o minério milonítico apresentou um número significativo de leituras acima do limite de detecção do Au, assim como ouro visível na forma de inclusões em calcopirita e no contato entre pirita e calcopirita. Conclui-se, portanto, que o minério milonítico conta com uma mineralização aurífera mais intensa do que o minério granítico do respectivo depósito.

(5) Em ambos os depósitos não foram observadas variações composicionais entre borda e centro nos cristais de pirita, assim como não foi observado zoneamento mineral nos mesmos. Tal fato indicaria apenas um evento mineralizante para a província, tal como discutido por Assis (2015) a partir de idades Re-Os do minério.

(6) A ocorrência de certos elementos traço, como Ti, Zn, Pb e Ag, em quantidades significativas na estrutura cristalina de cristais de pirita e calcopirita pode ser explicada através da mineralogia, visto corresponderem a elementos que ocorrem na forma de ligas metálicas (e.g. ligas de Ag-Bi e Ag-Te) e/ou na forma de inclusões na pirita e calcopirita, como titanita, esfalerita e galena, observadas em MEV.

(7) O fato de uma quantidade considerável de análises terem apresentado valores abaixo dos limites de detecção ocorre por: (1) ausência ou baixa concentração do elemento; e (2) pelo método analítico usado apresentar um limite de detecção insuficientemente baixo para captar as concentrações dos elementos. Adicionalmente, a falta de padrões internos de elementos como Bi, Te e Mo limitou, em parte, as análises, visto que esses elementos possivelmente apresentariam concentrações acima do limite de detecção da microsonda eletrônica.

(8) O Au ocorre com maior frequência nos cristais de pirita, onde também apresenta concentração média (em ppm) mais elevada. No depósito Paraíba as concentrações variam entre <80 a 1740 (ppm), com os maiores valores pertencentes à pirita V, enquanto que no depósito Edu elas variam entre <80 a 1150 (ppm), com os maiores valores pertencentes a pirita e calcopirita do minério milonítico.

(9) As análises por microsonda eletrônica revelaram que as correlações existentes entre o Au e certos elementos se equivalem para os dois depósitos estudados. Na calcopirita o Au apresenta uma correlação positiva com Co e Fe, porém, negativa com Pb e Zn. Na pirita, no entanto, o Au apresenta correlação positiva apenas com Pb, e correlação negativa com Co, Cu e Ni.

(10) O fato dos elementos Co e Ni estarem presentes em quantidades significativas na estrutura cristalina dos sulfetos de ambos os depósitos, são indícios da contribuição de fontes máficas ao sistema aurífero magmático-hidrotermal da província. Essa contribuição pode ter ocorrido a partir da contaminação do magma félsico cálcio-alcálico por magmas máficos. Outra alternativa seria a extração de Ni e Co de encaixantes máficas no decorrer do processo evolutivo do fluido (interação fluido-rocha).

Referências

- ABREU, M.C. **Alteração hidrotermal e mineralização aurífera do depósito de Novo Mundo, região de Teles Pires - Peixoto de Azevedo, Província de Alta Floresta (MT)**. 2004. 29f. Trabalho de Conclusão de Curso – Instituto de Geociências/Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2014.
- ABREU-FILHO, W.; PAES de BARROS A.J., BARRETO-FILHO J.A. 1992. Projeto ouro gemas. Relatório anual da área piloto da reserva garimpeira de Peixoto de Azevedo. Relatório anual DNPM, CPRM, Cuiabá, 31p.
- ASSIS R.R. 2006. Estudo de inclusões fluidas nos depósitos auríferos de Novo Mundo e Santa Helena na região de Teles Pires - Peixoto de Azevedo (Mato Grosso), Província de Alta Floresta. Relatório PIBIC/ CNPq, IG/UNICAMP, 18p.
- ASSIS, R.R. **Contexto geológico e associação paragenética das mineralizações auríferas de União do Norte, região de Peixoto de Azevedo, Província de Alta Floresta (MT)**. 2008. 81f. Trabalho de Conclusão de Curso – IG/UNICAMP, Campinas, 2008.
- ASSIS, R.R. **Depósitos auríferos associados ao magmatismo granítico do setor leste da Província de Alta Floresta (MT), Craton Amazônico**: tipologia das mineralizações, modelos genéticos e implicações prospectivas. 2011. 428f. Dissertação de Mestrado – IG/UNICAMP, Campinas, 2011.
- ASSIS, R.R.; XAVIER, R.P.; PAES de BARROS, A.J.; BARBUENA, D.; MIGUEL Jr, E. Contexto geológico e litogeoquímica das unidades plutônicas-vulcânicas da região de União do Norte, setor leste da Província Aurífera de Alta Floresta (MT). **Revista Brasileira de Geociências**. vol. 42(1), p. 130-161. 2012.
- ASSIS, R.R. **Depósitos auríferos associados ao magmatismo félsico da Província de Alta Floresta (MT), Cráton Amazônico**: litogeoquímica, idade das mineralizações e fonte dos fluidos. 2015. 320f. Tese de Doutorado - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2015.
- ASSIS, R. R.; XAVIER, R. P.; PAES de BARROS, A.J; BARBUENA, D.; TREVISAN, V.G.; RAMOS, G.S.; TEIXEIRA, R.V.; MIGUEL-Jr, E.; RODRIGUES, R.M.; STABILE-JR, A.; SANTOS, T.J.S.; MIRANDA, G.M.T.; BARROS, M.A.S.A.; PINHO, F. Depósitos de Au e Au + metais de base associados a sistemas graníticos paleoproterozóicos do setor leste da Província de Alta Floresta (MT), Cráton Amazônico. In: SILVA, M.G.; NETO, M.B.R.; JOST, H.; KUYUMJIAN, R.M (Eds.). **Metalogenia das Províncias Tectônicas Brasileiras**. Belo Horizonte: CPRM, 2014. p. 589.
- BAKER, T. Emplacement depth and CO₂-rich fluid inclusions in intrusion related gold deposits. **Economic Geology**, n. 97, p. 1109-1115, 2002.
- BAKER, T.; POLLARD, P.J.; MUSTARD, R.; MARK, G.; GRAHAM, J.L. A comparison of graniterelated tin, tungsten and gold-bismuth deposits: implications for exploration. **SEG Newsletter**, n. 61, p. 5-17. 2005.
- BARBUENA, D. 2009. Elementos-traço em sulfetos de depósitos auríferos hidrotermais da Província de Alta Floresta (Mato Grosso). In: CONGRESSO INTERNO DE INICIAÇÃO CIENTIFICA DA UNICAMP, 17., 2009. **Resumos...** Campinas: CNPq, 2009.
- BIZOTTO, A.C. **Mineralizações auríferas na região de Teles Pires – Peixoto de Azevedo (Mato Grosso), Província de Alta Floresta**: O Depósito de Santa Helena. 2004. 38f. Trabalho de Conclusão de Curso – IG/UNICAMP, Campinas, 2004.

CORDANI, U.G.; TASSINARI, C.C.G.; TEIXEIRA, W.; BASEI, M.A.S.; KAWASHITA K. Evolução tectônica da Amazônia com base nos dados geocronológicos. In: CONGRESSO GEOLÓGICO CHILENO, 2., 1979, Chile. **Actas...** Chile: 1979. p. 137-148.

DARDENNE, M.A.; SCHOBENHAUS, C. O escudo do Brasil Central. In: _____. **Metalogênese do Brasil**. Ed. Braspília: Univ. Brasília/CPRM, 2001. p. 46-105.

DUARTE, T.B. 2015. **Geologia, geoquímica e geocronologia do domínio vulcânico do arco magmático Juruena, SW do Cráton Amazônico: implicações geotectônicas**. MS Dissertation, Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 104 p.

GOLDFARB, R.J., GROVES, D.I., GARDOLL, S., 2001: Orogenic gold and geologic time: A global synthesis. **Ore Geology Reviews**. v. 18, 1-75P.

GROVES, D.I.; GOLDFARB, R.J.; GEBRE-MARIAM, H.; HAGEMANN, S.G.; ROBERT, F. Orogenic gold deposits: A proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types. **Ore Geology Reviews**, n. 13, p. 7-27, 1998.

HASUI, Y. Cráton Amazônico: Províncias Rio Branco e Tapajós. In: HASUI, Y.; CARNEIRO, C. D. R.; ALMEIDA, F. D. & BARTORELLI, A. **Geologia do Brasil**. São Paulo: Beca, 2012. p. 138-175.

JICA/MMAJ. Metal Mining Agency of Japan / Japan International Cooperation Agency. **Report on the Mineral Exploration in the Alta Floresta Area, Brazil, Final Report, Projeto Alta Floresta – MT**. Japan, 2000. 137p.

LANG, J.R.; BAKER, T.; HART, C.J.R.; MORTENSEN, J.K. An exploration model for intrusion-related gold systems. **Society of Economic Geology Newsletter**, n. 40, p. 6-15, 2000.

LOGAN, J.M. **Intrusion-Related Gold Mineral Occurrences of the Bayonne Magmatic Belt**, 2001. Disponível em: <http://www.em.gov.bc.ca/DL/GSBPubs/GeoFldWk/2001/17-JL-p237-246.pdf>. Acesso em: 23 ago. 2017

MADRUCI, V. **Avaliação dos produtos integrados TM-Landsat, Radarsat e Gamaespectrométricos na caracterização tectônica e mapeamento geológico de área mineralizada em ouro na região de Alta Floresta-MT**. 2000. Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto – INPE.

MESQUITA, M.J.; ASSIS, R.R.; XAVIER, R.P.; MORETTO, M.S.; PAES de BARROS A.J.; MIGUEL Jr, E. Ductile shear zone-hosted gold deposits in the Paleoproterozoic Alta Floresta Province (Brazil). In: BIENNIAL MEETING - MINERAL RESOURCES IN A SUSTAINABLE WORLD, 13., 2015. p. 141.

MIGUEL Jr, E. **Controle estrutural das mineralizações auríferas e idades U-Pb das rochas encaixantes ao longo do Lineamento Peru-Trairão**: Província Aurífera de Alta Floresta, Mato Grosso. 2011. 66 p. Dissertação de Mestrado – IG/UNICAMP, Campinas, 2011.

MORETON; L.C. & MARTINS E.G. 2005. **Geologia e Recursos Minerais de Alta Floresta. Vila Guarita**. Escala 1:250.000. Brasília, Serviço Geológico do Brasil, CPRM, 68 p, 2005.

MOURA, M.A. **O Maciço Granítico Matupá e o Depósito de Ouro Serrinha (MT): Petrologia, Alteração Hidrotermal e Metalogenia**. 1998. 238f. Tese de Doutorado – IG/ UnB, Brasília, 1998.

MOURA, M.A.; BOTELHO, N.F.; OLÍVIO, G.R.; KYSER, T.K. Granite-related Paleoproterozoic, Serrinha gold deposit, Southern Amazonia, Brazil: hydrothermal alteration, fluid inclusion and stable isotope constraints on genesis and evolution. **Economic Geology**, n. 101, p. 585-605, 2006.

PAES de BARROS, A.J. **Contribuição a geologia e controle das mineralizações auríferas de Peixoto de Azevedo - MT**. 1994. 145f. Dissertação de Mestrado – IG/USP, São Paulo, 1994.

PAES de BARROS, A.J. **Granitos da região de Peixoto de Azevedo – Novo Mundo e mineralizações auríferas relacionadas – Província Aurífera Alta Floresta (MT)**. 2007. 154f. Tese de Doutorado – IG/UNICAMP, Campinas, 2007.

PIMENTEL, M.M. **Resultados geocronológicos do Projeto Promin Alta Floresta**. Brasília: UnB, 2001. Relatório Interno.

PINHO, M.A.S.B.; CHEMALE-JR, F.; VAN SCHUMUS, W.R.; PINHO, F.E.C. U-Pb and Sm-Nd evidence for 1.76-1.77 Ga magmatism in the Moriru region, Mato Grosso, Brazil: implications for province boundaries in the SW Amazon Craton. **Precambrian Research**, v. 126, n1, p. 1-25, 2003.

RAMOS, G.S. **Características geoquímicas de plútons graníticos auríferos e estéreis da Província Aurífera de Alta Floresta (MT)**. 2011. 82f. Trabalho de Conclusão de Curso – Instituto de Geociências/ Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011.

RTDM 2001. Prospecto Novo Mundo. Relatório Final.

SAES, G.S. & LEITE, J.A.D. Geocronologia Pb/Pb de zircões detríticos e análise estratigráfica das coberturas sedimentares proterozóicas do Sudoeste do Cráton Amazônico. **Revista Geologia USP - Série Científica**, São Paulo, n. 3, p. 113-127, 2003.

SANTOS, J.O.S. **Os terrenos Paleoproterozóicos da Província do Tapajós e as mineralizações de ouro associadas**. 2000. 208f. Tese de Doutorado – Universidade Federal Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

SANTOS, J.O.S. Geotectônica dos escudos das Guianas e Brasil-central. In: BIZZI, L.A.; SCHOBENHAUS, C.; VIDOTTI, R.M.; GONÇALVES, J.H. (Eds.). **Geologia e Recursos Minerais do Brasil**. Brasília: CPRM, 2003. p. 169-226.

SANTOS, J.O.S.; HARTMANN, L.A.; GAUDETTE, H.E.; GROVES, D.I.; MCNAUGHTON, N.J.; FLETCHER, I.R. New understanding of the Amazon Craton provinces, based on field work and radiogenic isotope data. **Gondwana Research**, v. 3, n. 4, p. 453-486, 2000

SANTOS, J.O.S.; GROVES, D.I.; HARTMANN, A.; MOURA, M.A.; McNAUGHTON, N.J. Gold deposits of the Tapajós and Alta Floresta domains, Tapajós-Parima orogenic belt, Amazon Craton, Brazil. **Mineralium Deposita**, n. 36, p. 278- 299, 2001.

SANTOS, J.O.S.; HARTMANN, L.A.; FARIA, M.S.G.; RIKER, S.R.; SOUZA, M.M.; ALMEIDA, M.E.; McNAUGHTON, N.J. A compartimentação do Cráton Amazonas em províncias: avanços ocorridos no período 2000-2006. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 9., 2006, Belém. **Anais...** Belém: SBG Núcleo Norte, CD-ROM.

SILVA, G.H.; LEAL, J.W.L.; MONTALVÃO, R.M.G. Geologia In: BRASIL DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL PROJETO RADAM BRASIL. *Folha SC.21 – Juruena: Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra*. Rio de Janeiro, 1980. 456 p.

- SILVA, M.G. & ABRAM, M.B. **Projeto metalogenia da Província Aurífera Juruena-Teles Pires, Mato Grosso**. Goiânia: CPRM, 2008. 212p.
- SIQUEIRA, A.J.B. **Geologia da mina de ouro Filão do Paraíba, região de Peixoto de Azevedo, norte de Mato Grosso**. 1997. 98f. Dissertação de Mestrado – Instituto de Geociências-Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1997.
- SILLITOE, R.H. 2010. Porphyry Copper Systems. **Economic Geology**, 105: 3-41.
- SOUZA, A.M.M.; FARIA, C.A.S.; LANDIM, J.P.P.; LEAL, J.W.L. **Projeto Mauel: Relatório de progresso**. Belém: DNPM-CPRM, 1979. 46p.
- SOUZA, J.P.; FRASCA, A.A.S.; OLIVEIRA, C.C. **Geologia e Recursos Minerais da Província Mineral de Alta Floresta**. Brasília: CPRM, 2005. 164f. Relatório Integrado.
- TASSINARI, C.C.G. & MACAMBIRA, M.J.B. Geochronological Provinces of the Amazonian Craton. **Episodes**, n. 22, p. 174-182, 1999.
- TREVISAN, V.G. **Estudo comparativo entre mineralizações filonares de Au ± Cu e Au + metais de base do setor leste da Província de Alta Floresta (MT), Cráton Amazônico**. 2015. 129f. Dissertação de Mestrado – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2015.
- VIAL, D.S.; TOMAZ, A.E.; MELO, T.F.; PINHEIRO, H.M.D.; PASSANELI, G.J.M. **Geologia do Depósito de Ouro do Paraíba: Mineralização, Alterações Hidrotermais e Controle Estrutural**. 3º Seminário de Províncias Metalogenéticas Brasileiras. Província Aurífera Juruena – Teles Pires – Aripuanã. 2014. Apresentação.
- VITÓRIO, J.A. **A suíte granítica Teles Pires da Província Aurífera de Alta Floresta: Características petrográficas, geoquímicas e implicações metalogenéticas**. 2010. 20 p. Relatório PIBIC/CNPq, IG/UNICAMP.
- XAVIER, R. P.; PAES de BARROS, A.J.; ASSIS, R. R.; BARBUENA, D.; MACAMBIRA, M.; SOUZA FILHO, C. R. 2009. Mineralizações auríferas associadas a sistemas graníticos da Província Aurífera de Alta Floresta: Domínios Metalogenéticos e implicações prospectivas. In: XI Simpósio de Geologia do Centro-Oeste, Cuiabá (MT), CD-ROM.
- XUE-MING, Y.; LENTZ, D.R.; SYLVESTER, P.J. Gold contents of sulfide minerals in granitoids from southwestern New Brunswick, Canada. **Mineralium Deposita**, n. 41, p. 369-386, 2006.
- ZHANG, J.; DENG, J.; CHEN, H.; YANG, L.; COOKE, D.; DANYUSHEVSKY, L.; GONG, Q. LA-ICP-MS trace element analysis of pyrite from the Chang'an gold deposit, Sanjiang region, China: Implication for ore-forming process. **Gondwana Research**, v. 26, n. 2, p. 557-575, set. 2013.

APÊNDICE A – Breve descrição das amostras

Depósito Paraíba

PB – A2

Amostra de mão:

Rocha de cor cinza/branco acinzentado, levemente magnética. Apresenta estrutura maciça e anisotropia. Texturalmente a amostra é inequigranular, de granulação média, com cristais anédricos (xenoblásticos).

Mineralogia: Quartzo (90%), Pirita (7%) e Calcopirita (3%)

Nome/Classificação: Veio de quartzo sulfetado

Lâmina:

Quartzo (duas fases) – 75%

Inequigranular, anédrico (xenoblástico), apresenta contatos lobulados e/ou serrilhados e extinção ondulante.

Fase 1: quartzo mais fino, recristalizado, produto de sericitização com estilo confinado. Relacionado com pirita fina e sericita.

Fase 2: quartzo grosso, produto de silicificação. Relacionado com pirita grossa.

Pirita (duas fases) – 15%

Fase 1 (pirita I): pirita muito fina em aglomerados, inequigranular, anédrica, com contatos lobulados e sem inclusões de calcopirita. Relacionada com calcopirita, quartzo fino, sericita e sericitização com estilo confinado. Os aglomerados se mostram orientados segundo os “fluxos” de sericita. Não apresenta inclusões de ouro.

Fase 2 (pirita II): pirita grossa, inequigranular, subeuédrica (mais bem formada quando comparada à pirita fina). Apresenta contatos lobulados e inclusões de calcopirita. Relacionada com sericita, quartzo grosso e (pouca) calcopirita. Alguns cristais contém inclusões de ouro, além de ouro preenchendo suas fraturas.

Filossilicatos/Sericita – 9%

Cristais subeuédricos, produto de sericitização com estilo confinado. Apresenta orientação (anisotrópica), possível foliação. Aparece se formar sobre os grãos de quartzo, estando relacionada com pirita (fina e grossa), quartzo fino e calcopirita.

Calcopirita – 1%

Cristais anédricos (xenoblástico), finos, disformes e normalmente alongados, com contatos serrilhados e lobulados. Ocorrem em contato ou próximos de cristais de pirita (fina e grossa), também em forma de inclusões em cristais de pirita grossa (pirita II). Não foram observadas inclusões de ouro nos cristais de calcopirita.

Ouro - <1% (traço)

Encontrado exclusivamente em grãos de pirita grossa (pirita II). Ocorre, na maioria das vezes, na forma de inclusões mas também preenchendo fraturas em pirita. As inclusões apresentam em geral formas arredondadas, com contorno suavizado.

PB-B**Amostra de mão:**

Rocha de cor amarelo latão, devido à alta sulfetação. Magnética, isotrópica, inequigranular, de granulação fina-média, estrutura maciça, com cristais subeuédricos.

Mineralogia: Calcopirita (45%), Pirita (40%, Quartzo (14%) e Magnetita (1%)

Nome/Classificação: Veio de quartzo (muito) sulfetado

Lâmina:**Calcopirita – 45%**

Anédrica, formando uma matriz que engloba os outros minerais. Também presente em forma de inclusão em cristais de pirita. Apresenta contatos principalmente lobulados, também serrilhados (normalmente com quartzo). Apesar de estar presente em grande quantidade, não foi observada a presença de ouro na calcopirita.

Pirita (uma fase) – 40%

Fase 1 (pirita V): Inequigranular, grossa, anédrica, com contatos lobulados. Englobados pela massa de calcopirita, com frequentes inclusões de calcopirita e, mais raramente, de magnetita. Lembra textura porfiroblástica em meio a grande massa de calcopirita. Não foi observada a presença de ouro.

Quartzo – 13%

Inequigranular, anédrico (xenoblástico), com contatos serrilhados e extinção ondulante.

Magnetita – 2%

Inequigranular, anédrica, com contatos lobulares e serrilhados. Ocorre principalmente em meio à massa de calcopirita. Em menores proporções, ocorre como pequenas inclusões em cristais de pirita.

Filossilicatos/Sericita - <1% (traço)

Presente como alteração dentro de cristais de quartzo e raramente entre cristais de sulfetos, anédrico e com contato lobulado.

PB-02**Amostra de mão:**

Rocha de cor cinza/branco acinzentado, magnética. Apresenta estrutura maciça, isotrópica. Inequigranular, de granulação fina-média, anédrica.

Mineralogia: Quartzo (54%), Pirita (30%), Calcopirita (15%), Magnetita (1%)

Nome/Classificação: Veio de quartzo sulfetado

Lâmina:**Pirita (uma fase) – 42%**

Fase 1 (pirita V): Inequigranular, anédrica, com contato lobulado e serrilhado. Se apresenta sempre em contato com/englobada por calcopirita, e também com frequentes inclusões de calcopirita e magnetita, em menor proporção. Apresenta inclusões de ouro maiores em tamanho, porém em menor quantidade, quando comparado com as inclusões de Au na calcopirita.

Calcopirita – 30%

Anédrica, na forma de uma massa que engloba outros minerais, com contados lobulados e serrilhados. Sempre relacionada à pirita, margeando/englobando/em contato com a mesma ou na forma de pequenas inclusões dentro dos cristais de pirita. Apresenta inclusões de ouro, em maior quantidade, porém menores em tamanho, quando comparado com as inclusões de ouro na pirita.

Quartzo – 25%

Inequigranular, anédrico. Apresenta extinção ondulante e contatos serrilhados e lobulares.

Magnetita – 3%

Anédrica, inequigranular, com contatos lobulares e serrilhados. Ocorre principalmente em meio à calcopirita, e também como pequenas inclusões em cristais de pirita.

Filossilicato/Sericita - <1% (traço)

Anédrica, isotrópica, com contatos lobulados e serrilhados. Normalmente próximos à cristais de magnetita.

Ouro - <1% (traço)

Encontrado na forma de inclusões em cristais de pirita e calcopirita, e mais raramente preenchendo fraturas na pirita. Apresenta contatos em geral arredondados. Normalmente ocorre na forma de aglomerados, raramente se mostrando como um ponto isolado (quando ocorre isolado, normalmente é em calcopirita).

PB-01**Amostra de mão:**

Rocha de cor cinza/branco acinzentado, magnética. Apresenta estrutura maciça, isotrópica. Inequigranular, de granulação fina-média, anédrica.

Mineralogia: Quartzo (80%), Pirita (15%), Calcopirita (4%), Magnetita (1%)

Nome/Classificação: Veio de quartzo sulfetado

Lâmina:**Carbonato – 37%**

Inequigranular e com contato lobular. Evidenciando carbonatação, com a formação de uma liga Bi-Te.

Quartzo – 35%

Inequigranular, fino, anédrico, com contato lobular e extinção ondulante.

Pirita (duas fases) – 17%

Fase 1 (pirita III): Inequigranular, subeuédrica, fina, com contatos lobulares (alguns planares). Relacionado com carbonatos e, em menor frequência, magnetita, calcopirita e a liga Bi-Te. Apresenta inclusões de calcopirita. O ouro ocorre principalmente na forma de inclusões, além de, em alguns casos, estar presente entre o contato da pirita com a ganga carbonática.

Fase 2 (pirita IV): Inequigranular, anédrica, granulação média a grossa, com contato lobular e serrilhado. Relacionada com quartzo, carbonato, calcopirita e poucos cristais de magnetita. Apresenta inclusões de calcopirita e ouro, além de grande quantidade de ouro preenchendo fraturas.

Calcopirita – 8%

Inequigranular, anédrica, com contato serrilhado e lobular, fina (em algumas regiões se mostra como uma massa envolvendo cristais de pirita e magnetita). Também aparece na forma de pequenas inclusões e preenchendo fraturas em cristais de pirita. Relacionada com quartzo, carbonato, pirita e, em menores proporções, magnetita e a liga Bi-Te. Apresenta inclusões de ouro, principalmente quando relacionada com Pirita IV.

Magnetita – 3%

Inequigranular, anédrica, com contatos lobulares e serrilhados. Encontrada com maior frequência em carbonatos, onde está mais fraturada e fragmentada. Raramente faz contato com grãos de ouro.

Liga Bi-Te – <1% (traço)

Inequigranular, fina, anédrica, com contato serrilhado e lobular. Encontrado exclusivamente em meio a carbonato, em contato com pirita, calcopirita e magnetita, formando “franjas” ao redor destes minerais. Não foi observada na forma de inclusão.

Ouro - <1% (traço)

Ocorre principalmente preenchendo fraturas em pirita, além de ocorrer na forma de inclusões arredondadas em pirita e calcopirita. Presente nas duas fases de pirita, mas em maior quantidade na Fase 2 (pirita IV).

Depósito Edu

FTN03-98,34

Amostra de Mão

Rocha de coloração cinza azulada. Não magnética, isotrópica, de estrutura maciça, equigranular, de granulação fina.

Mineralogia: Quartzo – 95%; Pirita – 5%

Nome/Classificação: Veio de quartzo cisalhado (minério milonítico)

Lâmina

Quartzo – 84% (2 fases)

Inequigranular, anédrico, com extinção ondulante e contatos difusos.

Fase 1 – quartzo muito fino, formando uma massa junto à sericita

Fase 2 – quartzo mais grosso, parece estar confinado e ter direção preferencial (orientação) seguindo fraturas, apresenta textura de subgrão.

Sericita – 10%

Equigranular, fina, subeuédrica. Apresenta estilo confinado e orientação. Presente próximo ou não de pirita e calcopirita.

Pirita – 4%

Inequigranular, fina, anédrica, com contatos difusos (principalmente lobulares). Ocorre principalmente em aglomerados orientados, seguindo a fratura principal, mas também na forma de grãos isolados. Não apresenta inclusões.

Calcopirita – 1%

Inequigranular, fina, anédrica, contatos difusos. Ocorre próximo à pirita, no aglomerado orientado central. Apresenta raras inclusões de magnetita e ouro.

Clorita – <1% (traço)

Inequigranular, subeuédrica, granulação mais grossa que quartzo e sericita, com contatos difusos, serrilhados e ondulantes. Apresenta estreita relação com sulfetos, estando presente apenas próximo aos mesmos.

Magnetita – <1% (traço)

Inequigranular, fina, anédrica, com contatos difusos (lobulado e serrilhados). Ocorre inclusa em calcopirita ou solta na ganga. Sem orientação.

Ouro – <1% (traço)

Ocorre como inclusão (muito pequena) em calcopirita, em um formato arredondado, ou entre calcopirita e pirita, em um formato mais alongado.

FTN03-100,90**Amostra de Mão**

Rocha de coloração cinza azulada, com porções esbranquiçadas, não magnética, isotrópica, equigranular, de granulação fina, com textura maciça.

Mineralogia: Quartzo – 97%; Pirita – 2%; Calcopirita – 1%

Nome/Classificação: Veio de quartzo cisalhado (minério milonítico)

Lâmina**Quartzo – 52%**

Inequigranular, granulação variando de muito fina (mais frequente) até grossa, anédrico, com contatos lobulados e serrilhados. Apresenta extinção ondulante e, nos grãos mais grossos, textura de subgrãos, evidenciando recristalização. Os cristais mais finos são resultados de processos cisalhantes, gerando uma textura milonítica. Não orientado.

Sericita – 42%

Inequigranular, muito fina, anédrica, com contatos lobulados e serrilhados. Apresenta orientação. Ocorre de forma confinada, resultado de sericitização, possivelmente posterior a formação de quartzo. Apresenta relação com muscovita, estando sempre próxima da mesma.

Muscovita – 3%

Inequigranular, fina, com contatos difusos. Não orientada. Sempre relacionada com sericita, fazendo contato ou ocorrendo envolta por ela, muitas vezes ocorrendo de forma confinada. Também observada com certa frequência próxima à cristais de pirita. Evidencia processos de sericitização e muscovitização.

Clorita – 1%

Inequigranular, fina, anédrica, com contatos difusos (serrilhados e ondulantes). Apresenta relação com pirita, estando presente em maior quantidade quando próximo à cristais da mesma, e também alguma relação com sericita, presente entre cristais da mesma (alteração?).

Pirita – 1%

Inequigranular, fina, subeuédrica, com contatos difusos. Ocorre na forma de um aglomerado de grãos, sem orientação. Não apresenta inclusões de nenhum tipo e não foi observado ouro nos cristais de pirita.

Carbonato – <1% (traço)

Inequigranular, fino, anédrica, com contatos difusos. Aparece em forma confinada, junto com sericita e muscovita.

Epídoto – <1% (traço)

Inequigranular, fino, anédrico, com contatos difusos. Não orientado. Observado próximo à cristais de pirita.

Calcopirita – <1% (traço)

Inequigranular, muito fina, anédrica, com contatos serrilhados. Não apresenta inclusões e ocorre na forma de grãos isolados, próximos ou não de pirita.

Magnetita – <1% (traço)

Inequigranular, fina, anédrica, com contatos serrilhados. Ocorre na forma de grãos isolados ou pequenos aglomerados, normalmente soltos na ganga de quartzo e sericita. Sem orientação.

FTN04-54,43**Amostra de Mão**

Rocha de coloração cinza, não magnética, isotrópica, inequigranular, com textura granítica.

Mineralogia: Quartzo – 55%; Feldspato – 30%; Clorita – 10%; Pirita – 4%; Calcopirita – 1%

Nome/Classificação: Rocha granítica (minério granítico)

Lâmina

Quartzo – 37%

Inequigranular, granulação fina a grossa, anédrico, com contatos difusos (lobulados e serrilhados) e extinção ondulante, evidenciando recristalização. Apresenta textura de subgrãos. Não orientado. Alguns grãos aparecem sendo alterados para sericita.

Sericita – 37%

Inequigranular, muito fina, anédrica, com contatos lobulados e serrilhados. Não orientada. Resultado de sericitização, é observada substituindo grãos de quartzo, microclínio e epidoto. Apresenta relação com muscovita, estando sempre próxima da mesma.

Feldspato (Microclínio) – 12%

Inequigranular, granulação média-grossa, subeuédrica, com contatos muito difusos. Não orientado, com textura em grade. Alguns grãos estão fortemente sericitizados. Não parece ter relação estreita com sulfetos, ocorrendo próximos ou distantes dos mesmos.

Muscovita – 4%

Inequigranular, fina, com contatos difusos. Não orientada. Sempre relacionada com sericita, fazendo contato ou ocorrendo envolta por ela. Pode evidenciar processos de sericitização e muscovitização(?).

Pirita – 3%

Inequigranular, fina-média, subeuédrica, contatos lobulados e serrilhados. Ocorre principalmente em aglomerados orientados, seguindo o que parecem ser fraturas, mas também ocorre como grãos isolados e não orientados (menor proporção). Alguns poucos cristais maiores apresentam raras inclusões de calcopirita, assim como calcopirita preenchendo suas fraturas. Não parece apresentar estreitas relações com nenhum mineral, ocorrendo próximo de sericita, quartzo, muscovita, clorita, epidoto, microclínio, além de calcopirita e magnetita. Não foi observado ouro nos cristais de pirita.

Epídoto – 3%

Inequigranular, granulação média-grossa, anédrica, com contatos difusos. Não orientado. Alguns grãos parecem estar sericitizados, sendo substituídos por sericita, também por muscovita e clorita. Não parece ter estreita relação com sulfetos, ocorrendo próximo ou distante dos mesmos.

Calcopirita – 2%

Inequigranular, fina, anédrica, contatos difusos (principalmente serrilhados). Ocorre sem inclusões, isolada ou próxima de pirita (em menores proporções), normalmente próxima à cristais de epidoto e clorita. Parece ocorrer preferencialmente seguindo uma fratura, apresentando orientação.

Clorita – 1%

Inequigranular, fina, anédrica, com contatos difusos (serrilhados e ondulantes). Apresenta relação com sulfetos (principalmente calcopirita), estando presente em maior quantidade quando próximo dos mesmos. Dessa forma, segue a mesma orientação dos sulfetos, orientada segundo a provável fratura. Também ocorre em meio a grãos de epidoto (substituição?).

Magnetita – <1% (traço)

Inequigranular, fina, anédrica e com contatos difusos (principalmente serrilhados). Ocorre quase que exclusivamente solto na ganga, isolado ou em pequenos aglomerados. Não apresenta orientação. Normalmente aparece próximo à cristais de epidoto.

FTN03-119,20**Amostra de Mão**

Rocha de coloração rósea, levemente magnética, isotrópica, inequigranular, de granulação fina-média, com textura granítica.

Mineralogia: Fesldspato – 55%; Quartzo – 38%; Epidoto – 5%; Clorita – 2%

Nome/Classificação: Rocha granítica (minério granítico)

Lâmina**Feldspato (microclínio) – 40%**

Inequigranular, granulação média-grossa, subeuédrica, com contatos muito difusos. Não orientado, com textura em grade. Grande parte dos grãos estão sericitizados.

Quartzo – 35%

Inequigranular, granulação média, anédrico, com contatos difusos (lobulados e serrilhados). Alguns grãos apresentam extinção ondulante, evidenciando recristalização. Grande parte dos grãos aparecem sofrendo sericitização.

Sericita – 8%

Inequigranular, muito fina, anédrica, com contatos lobulados e serrilhados. Ocorre como resultado de alteração dentro de cristais de quartzo e feldspato (microclínio) com muita frequência. Apresenta relação com muscovita, estando sempre próxima da mesma.

Muscovita – 5%

Inequigranular, fina, com contatos difusos. Não orientada. Sempre relacionada com sericita, fazendo contato ou ocorrendo próximo à ela. Ocorre dentro de cristais de quartzo e feldspato (microclínio), evidenciando alteração. Aparece também sofrendo cloritização.

Clorita – 5%

Inequigranular, fina, anédrica, com contatos difusos (serrilhados e lobulados). Apresenta relação com magnetita, presente em maior quantidade quando próxima à cristais da mesma. Sem orientação. Aparece também alterando cristais de muscovita.

Plagioclásio – 4%

Inequigranular, granulação média-grossa, subeuédrico, com contatos serrilhados e lobulados. Normalmente sendo alterado para sericita.

Magnetita – 2%

Inequigranular, de granulação fina-média, anédrica, com contatos serrilhados. Ocorre na maior parte das vezes como grãos isolados, soltos na ganga. Apresenta relação com clorita, normalmente em contato ou próxima à mesma.

Carbonato – <1% (traço)

Inequigranular, fino, anédrica, com contatos difusos. Aparece em contato principalmente com quartzo, feldspato (microclínio), sericita e muscovita, as vezes na forma de vênulas ou preenchendo fraturas.

Epídoto – <1% (traço)

Inequigranular, fino, anédrico, com contatos difusos. Observado na forma de grãos isolados, não orientados.

Pirita – <1% (traço)

Inequigranular, fina, subeuédrica, com contatos difusos (lobulados). Ocorre na forma de grãos isolados, sem inclusões. Sem ouro.

FTN-60,80A**Amostra de Mão**

Rocha de coloração rósea, não magnética, isotrópica, inequigranular, de granulação fina-média, com textura granítica.

Mineralogia: Feldspato – 65%; Quartzo – 35%

Nome/Classificação: Rocha granítica (minério granítico)

Lâmina**Feldspato (microclínio) – 46%**

Inequigranular, granulação variando de fina até grossa, subeuédrica, com contatos muito difusos. Não orientado, com textura em grade. Muitos grãos estão alterados, contendo sericita, muscovita e, em menores proporções, clorita.

Quartzo – 42%

Inequigranular, granulação variando de fina até grossa, anédrico, com contatos difusos (lobulados e serrilhados) e extinção ondulante, evidenciando recristalização. Alguns dos cristais maiores apresentam textura de subgrão. Grande parte dos cristais estão sofrendo alterações, contendo principalmente sericita, e também muscovita e clorita no interior dos grãos.

Sericita – 6%

Inequigranular, muito fina, anédrica, com contatos lobulados e serrilhados. Ocorre normalmente como resultado de alteração dentro de cristais de quartzo e feldspato (microclínio). Apresenta relação com muscovita, estando sempre próxima da mesma.

Plagioclásio – 6%

Inequigranular, granulação média-grossa, subeuédrico, com contatos serrilhados e lobulados. Não orientado. Normalmente muito alterado, sendo substituído por sericita e muscovita.

Carbonato – 2%

Inequigranular, fino, anédrico, com contatos difusos. Aparece normalmente de forma confinada, como pequenos veios ou vênulas ou ainda preenchendo pequenas fraturas.

Pirita – 2%

Inequigranular, fina, anédrica, com contatos lobulados e serrilhados. Ocorre na forma de grãos isolados ou de pequenos aglomerados, sem inclusões. Sem ouro.

Muscovita – 1%

Inequigranular, fina, com contatos difusos. Não orientada. Relacionada com sericita, normalmente ocorrendo próximo à ela. Ocorre em contato com cristais de quartzo e feldspato (microclínio), ou ainda como resultado de alteração dentro destes cristais juntamente com sericita.

Clorita – <1% (traço)

Inequigranular, fina, anédrica, com contatos difusos (serrilhados e lobulados). Ocorre preenchendo pequenas veios ao longo da lâmina, e também junto à sericita/muscovita alterando cristais de quartzo e feldspato (microclínio).

Magnetita – <1% (traço)

Inequigranular, fina, anédrica, com contatos serrilhados. Ocorre como grãos isolados, sem orientação.

FTN03-89,57**Amostra de Mão**

Rocha de coloração rósea, com algumas porções esverdeadas. Não magnética, isotrópica, inequigranular, de granulação fina-média. Apresenta textura granítica.

Mineralogia: Feldspato – 55%; Quartzo – 25%; Sericita – 10%; Epidoto – 5%; Carbonato – 5%

Nome/Classificação: Brecha formada a partir de alteração de rocha granítica (minério granítico)

Lâmina**Quartzo – 50%**

Inequigranular, granulação muito fina-fina, anédrico, com contatos difusos (lobulados e serrilhados) e extinção ondulante, evidenciando recristalização. Mantém o contorno de cristais

médios-grossos, mas na verdade o processo de brechação e alteração gerou cristais mais finos. Ocorre próximo de todos os outros minerais, não apresentando estreita relação com nenhum deles. Também ocorre na forma de veios finos que cortam as porções alteradas. Os cristais envoltos pela alteração do epidoto e clorita parecem apresentar feições alongadas, lembrando acículas.

Epídoto – 20%

Inequigranular, fino-médio, anédrico, com contatos difusos. Sua alteração forma uma massa que envolve cristais de quartzo, clorita e carbonatos. Essa massa também contém clorita e sericita. Apresenta relação com clorita, pirita e magnetita. Evidencia epidotização.

Clorita – 10%

Inequigranular, fina-média, anédrica, com contatos difusos (serrilhados e lobulados). Seu aspecto indica uma clorita mais magnesiana, empobrecida em Fe. Apresenta relação com epidoto, quartzo, magnetita e pirita. Ocorre junto ao epidoto, também próxima à quartzo. Por vezes é possível observar a clorita englobando cristais de pirita e magnetita. Evidencia cloritização.

Feldspato (microclínio) – 7%

Inequigranular, granulação fina-média, anédrico, com contatos lobulados e serrilhados. Não orientado. Normalmente ocorre em meio ao quartzo muito fino.

Sericita – 6%

Inequigranular, muito fina, anédrica, com contatos difusos. Ocorre principalmente de forma confinada, como vênulas entre quartzo muito fino-fino ou preenchendo pequenas fraturas junto com carbonato. Também ocorre de forma disseminada, junto com epidoto e clorita. Evidencia sericitização.

Carbonato – 4%

Inequigranular, granulação fina-média, anédrico, com contatos lobulados e serrilhados. Ocorre principalmente de forma confinada, como veios, as vezes contendo cristais finos de magnetita. Ou ainda preenchendo fraturas, as vezes junto com sericita. Evidencia carbonatação.

Pirita – 2%

Inequigranular, muito fina à fina, anédrica, com contatos lobulados e serrilhados. Ocorre de forma disseminada, como grãos isolados dispersos por toda lâmina ou pequenos aglomerados. Está ligada à clorita e epidoto. Sem inclusões. Sem ouro.

Calcopirita – <1% (traço)

Inequigranular, muito fina, anédrica, com contatos serrilhados. Não apresenta inclusões e ocorre na forma de pequenos aglomerados, normalmente próximo à pirita.

Magnetita – <1% (traço)

Inequigranular, muito fina à fina, anédrica, com contatos serrilhados. Ocorre como grãos isolados ou na forma de pequenos aglomerados dispersos em clorita, epidoto e carbonatos.

FTN03-108,17**Amostra de Mão**

Rocha de coloração azulada com porções róseas, não magnética, isotrópica, inequigranular, de granulação fina-média.

Mineralogia: Quartzo – 54% (referente ao quartzo do granito + quartzo hidrotermal); Feldspato – 30%; Clorita – 10%; Carbonato – 5%; Pirita – <1%; Calcopirita – <1%

Nome/Classificação: Rocha granítica (minério granítico)

Lâmina**Feldspato (microclínio) – 28%**

Inequigranular, granulação média-grossa, subeuédrica, com contatos lobulados. Não orientado. Alguns grãos estão alterados, contendo principalmente sericita, e clorita, carbonato e muscovita em menor proporção.

Quartzo – 25%

Inequigranular, granulação fina-média, anédrico, com contatos difusos (lobulados e serrilhados) e extinção ondulante, evidenciando recristalização. Alguns cristais apresentam textura de subgrão. Parte dos cristais estão sofrendo alterações, contendo principalmente sericita, e também muscovita, carbonato e clorita no interior dos grãos.

Clorita – 20%

Inequigranular, fina, anédrica, com contatos difusos (serrilhados e lobulados). Apresenta relação com sericita, magnetita, calcopirita e pirita.

Sericita – 18%

Inequigranular, muito fina, anédrica, com contatos difusos. Ocorre de forma disseminada, resultado de alteração de grãos de quartzo e feldspato. Também ocorre de forma confinada, como pequenas vênulas ou preenchendo fraturas junto com carbonato. Quando

confinada, contém cristais de magnetita fina e parece ter uma leve orientação. Apresenta relação com muscovita.

Carbonato – 4%

Inequigranular, fino, anédrico, com contatos lobulados e serrilhados. Ocorre principalmente de forma confinada, preenchendo fraturas, as vezes junto com sericita.

Plagioclásio – 2%

Inequigranular, granulação média-grossa, subeuédrico, com contatos serrilhados e lobulados. Não orientado. Normalmente muito alterado, sendo substituído por sericita, muscovita, clorita e carbonato.

Magnetita – 1%

Inequigranular, muito fina à fina, anédrica, com contatos serrilhados. Ocorre como grãos isolados ou na forma de pequenos aglomerados dispersos em clorita e sericita.

Muscovita – 1%

Inequigranular, fina, com contatos difusos. Não orientada. Relacionada com sericita, normalmente ocorrendo próximo à ela.

Epídoto – <1% (traço)

Inequigranular, fino-médio, anédrico, com contatos difusos. Observado na forma de grãos isolados, não orientados. Normalmente próximo à clorita.

Pirita – <1% (traço)

Inequigranular, fina, anédrica, com contatos lobulados e serrilhados. Ocorre na forma de grãos isolados, relacionados com clorita e sericita. Sem inclusões. Sem ouro.

Calcopirita – <1% (traço)

Inequigranular, muito fina à fina, anédrica, com contatos serrilhados. Não apresenta inclusões e ocorre na forma de grãos isolados ou pequenos aglomerados. Apresenta relação com clorita, sericita e muscovita.

APÊNDICE B – Análise química de elementos-traço em sulfetos

Tabela 4 – Análise química mineral das amostras do depósito Edu. Valores em ppm, exceto para os elementos S, Cu e Fe, que estão em porcentagem.

	Al	As	Sb	Pb	S (%)	Au	Cr	Ti	Ag	Zn	Cu (%)	Ni	Co	Fe (%)
FTN03_10090_Py_1	<15	<45	<95	<150	52,9	<80	<35	<30	<30	<110	<0,008	100	740	48,3
FTN03_10090_Py_2	<15	<45	<95	360	53,5	<80	<35	<30	<30	<110	<0,008	<65	660	48,4
FTN03_10090_Py_3	<15	<45	<95	320	53,9	120	<35	<30	<30	<110	<0,008	<65	610	48
FTN03_10090_Py_4	<15	<45	<95	270	53,9	380	<35	<30	<30	<110	0,012	<65	630	48,1
FTN03_10090_Py_5	<15	<45	<95	320	53,9	90	<35	<30	<30	<110	<0,008	<65	640	48
FTN03_10090_Py_6	<15	<45	<95	310	53,7	<80	<35	<30	<30	<110	<0,008	<65	770	48
FTN03_10090_Py_7	<15	<45	<95	440	53,5	<80	<35	<30	<30	<110	<0,008	<65	640	47,9
FTN03_10090_Py_8	<15	<45	<95	290	53,2	<80	<35	<30	<30	<110	<0,008	<65	680	48,3
FTN03_10090_Py_9	<15	<45	<95	320	54	<80	<35	<30	<30	<110	<0,008	<65	600	48
FTN03_10090_Py_10	<15	<45	<95	220	53	170	<35	<30	<30	<110	<0,008	<65	630	48
FTN03_10090_Py_11	<15	<45	<95	160	53,7	160	<35	<30	<30	<110	<0,008	<65	660	48
FTN03_10090_Py_12	<15	<45	<95	330	53,7	370	<35	<30	<30	<110	<0,008	200	690	47,9
FTN03_10090_Py_13	<15	<45	<95	180	52,9	<80	<35	<30	<30	<110	<0,008	130	640	47,9
FTN03_10090_Py_14	<15	<45	<95	180	53,1	<80	<35	<30	<30	<110	<0,008	490	640	47,8
FTN03_9834_Py_1	<15	<45	<95	490	53,3	290	<35	<30	<30	<110	0,016	<65	650	47,6
FTN03_9834_Py_2	<15	<45	<95	200	54,1	<80	<35	<30	<30	<110	<0,008	<65	1460	47,6
FTN03_9834_Py_3	<15	<45	<95	280	53,7	150	<35	<30	<30	<110	0,016	220	940	47,6
FTN03_9834_Py_4	<15	90	<95	270	54,1	280	<35	<30	<30	<110	0,026	<65	760	47,6
FTN03_9834_Py_5	<15	110	<95	370	53,2	<80	<35	<30	<30	<110	0,027	<65	660	47,5
FTN03_9834_Py_7	<15	<45	<95	370	53,9	130	<35	<30	<30	<110	0,022	<65	600	47,6
FTN03_9834_Chaco_1	<15	<45	<95	190	34,4	<80	<35	<30	<30	160	34,6	<65	400	30,9
FTN03_9834_Chaco_2	<15	<45	<95	220	34,9	<80	<35	<30	<30	190	34,7	<65	350	31
FTN03_9834_Chaco_3	<15	<45	<95	280	34,5	<80	<35	<30	<30	150	34,7	<65	420	30,8
FTN03_9834_Chaco_4	<15	<45	<95	240	34,3	<80	<35	50	<30	240	34,6	<65	450	30,9
FTN03_9834_Chaco_5	<15	<45	<95	310	34,5	1150	<35	<30	140	220	34,7	<65	380	31,1
FTN03_9834_Chaco_6	<15	<45	<95	200	34,5	<80	<35	<30	<30	<110	34,7	<65	430	31
FTN03_9834_Chaco_7	<15	<45	<95	170	34,7	<80	<35	40	50	140	34,8	<65	400	31
FTN03_9834_Py_8	<15	<45	<95	270	54,3	<80	<35	<30	<30	<110	<0,008	70	1040	47,6
FTN03_9834_Py_9	<15	<45	<95	220	54,4	110	<35	<30	<30	<110	<0,008	160	760	47,7

Tabela 4 (Cont.) – Análise química mineral das amostras do depósito Edu. Valores em ppm, exceto para os elementos S, Cu e Fe, que estão em porcentagem.

	Al	As	Sb	Pb	S (%)	Au	Cr	Ti	Ag	Zn	Cu (%)	Ni	Co	Fe (%)
FTN03_9834_Py_10	<15	<45	<95	<150	54,2	<80	<35	<30	<30	<110	<0,008	390	720	47,7
FTN03_9834_Chalko_8	<15	<45	<95	320	34,8	<80	<35	<30	100	120	34,5	<65	400	31,1
FTN03_9834_Chalko_9	360	<45	<95	330	33,3	<80	<35	<30	80	160	33,6	<65	410	30,7
FTN03_9834_Chalko_10	<15	<45	<95	360	34,3	<80	<35	40	40	180	34,8	<65	450	31,2
FTN03_9834_Chalko_11	<15	<45	<95	280	34,7	130	<35	<30	<30	<110	34,6	<65	390	31
FTN03_9834_Chalko_12	<15	<45	<95	190	34,7	<80	<35	<30	50	210	34,6	<65	400	31,3
FTN03_9834_Chalko_13	<15	<45	<95	<150	35,1	260	<35	<30	<30	160	34,8	<65	390	31,1
FTN03_9834_Py_11	<15	<45	<95	160	53,2	<80	<35	<30	<30	<110	0,019	320	770	47,5
FTN03_9834_Py_12	<15	<45	<95	320	53,1	90	<35	<30	<30	<110	0,083	290	770	47,7
FTN03_9834_Py_13	<15	130	<95	<150	53,7	90	<35	<30	<30	<110	0,019	<65	630	47,6
FTN03_9834_Py_14	<15	<45	<95	380	54,6	<80	<35	<30	<30	<110	0,074	70	720	47,6
FTN03_9834_Py_15	<15	<45	<95	290	54	90	<35	<30	<30	<110	0,036	70	1920	47,6
FTN04_5443_Py_1	<15	<45	<95	450	54,4	<80	<35	<30	<30	<110	<0,008	750	1050	47,3
FTN04_5443_Py_2	<15	<45	<95	210	54	<80	<35	<30	<30	<110	<0,008	1040	780	47,4
FTN04_5443_Py_3	<15	<45	<95	250	54	<80	<35	40	<30	<110	<0,008	80	660	47,7
FTN04_5443_Py_4	<15	<45	<95	230	53,7	<80	<35	<30	<30	<110	<0,008	670	770	47,5
FTN04_5443_Py_5	<15	<45	<95	<150	54	<80	<35	<30	<30	<110	<0,008	240	1420	47,5
FTN04_5443_Py_6	<15	<45	<95	230	54,2	<80	<35	<30	<30	<110	<0,008	230	800	47,7
FTN04_5443_Chalko_1	60	<45	<95	170	34,8	180	<35	50	<30	150	34,4	<65	420	30,6
FTN04_5443_Chalko_2	<15	<45	<95	210	34,8	<80	<35	40	<30	<110	34,5	<65	380	30,8
FTN04_5443_Chalko_3	<15	<45	<95	320	34,3	<80	<35	<30	<30	210	34,5	<65	400	30,7
FTN04_5443_Chalko_4	<15	<45	<95	200	34,7	130	<35	<30	<30	140	34,7	<65	430	31
FTN04_5443_Chalko_5	<15	<45	<95	170	34,7	100	<35	<30	<30	200	34,7	<65	410	30,9
FTN04_5443_Chalko_6	<15	<45	<95	210	35,3	<80	<35	<30	40	210	34,1	<65	440	31,2
FTN04_5443_Py_7	<15	<45	<95	170	54,1	<80	<35	<30	<30	<110	0,037	130	1110	47,7
FTN04_5443_Py_8	<15	<45	<95	<150	54,1	<80	<35	<30	<30	<110	<0,008	<65	760	47,8
FTN04_5443_Py_9	<15	<45	<95	260	54,1	<80	<35	<30	<30	<110	<0,008	<65	650	47,8
FTN04_5443_Py_10	<15	<45	<95	160	53,7	<80	<35	<30	<30	<110	<0,008	90	700	47,7

Tabela 5 – Análise química mineral das amostras do depósito Paraíba. Valores em ppm, exceto para os elementos S, Cu e Fe, que estão em porcentagem.

	Al	As	Sb	Pb	S (%)	Au	Cr	Ti	Ag	Zn	Cu (%)	Ni	Co	Fe (%)
PBB-1-Chalco-1	<15	<45	<95	<150	34,8	<80	<35	<30	<30	280	34,5	<65	410	31,2
PBB-1-Chalco-2	<15	<45	<95	<150	34,7	<80	<35	<30	<30	240	34,6	<65	360	31,2
PBB-1-Chalco-3	<15	<45	<95	440	34,9	<80	<35	40	<30	230	34,6	<65	380	31,2
PBB-1-Py-1	<15	<45	<95	220	53,8	100	<35	<30	<30	<110	<0,008	250	660	48
PBB-1-Py-2	<15	<45	<95	160	54,7	120	<35	<30	<30	<110	0,009	130	640	48,1
PBB-1-Py-3	<15	<45	<95	270	53,9	130	<35	<30	<30	<110	<0,008	<65	650	47,8
PBB-1-Py-4	<15	<45	<95	220	54,4	100	<35	<30	<30	<110	<0,008	120	670	48,1
PBB-1-Chalco-incl-1	<15	<45	<95	240	34,7	<80	<35	<30	<30	170	34,6	<65	400	31,2
PBB-1-Chalco-incl-2	<15	<45	<95	330	34,8	160	<35	50	<30	<110	34,4	<65	400	31,3
PBB-1-Chalco-incl-3	<15	<45	130	340	35,4	<80	<35	<30	<30	150	34,5	<65	370	31,4
PBB-2-Chalco-1	<15	<45	<95	270	34,2	<80	<35	<30	40	150	34,7	<65	400	31,2
PBB-2-Chalco-2	<15	<45	<95	210	35,1	110	<35	<30	<30	150	34,6	<65	380	31,1
PBB-2-Chalco-3	<15	<45	<95	490	34,6	90	<35	40	110	300	34,7	<65	400	31,1
PBB-2-Chalco-4	<15	<45	<95	330	35,1	<80	<35	50	<30	180	34,6	<65	440	31,1
PBB-2-Chalco-6	<15	<45	<95	220	34,8	<80	<35	<30	<30	260	34,6	<65	390	30,9
PBB-2-Chalco-7	<15	<45	<95	350	35	140	<35	<30	<30	270	34,6	<65	380	31,1
PBB-2-Py-1	<15	<45	<95	230	54,6	<80	<35	<30	<30	<110	<0,008	300	640	47,8
PBB-2-Py-2	<15	<45	<95	280	54,9	<80	<35	<30	<30	<110	<0,008	260	640	47,9
PBB-2-Py-3	<15	<45	<95	200	54,7	100	<35	<30	<30	<110	<0,008	190	640	48
PBB-2-Py-4	<15	<45	<95	<150	54,4	<80	<35	<30	<30	<110	<0,008	490	650	47,8
PBB-2-Py-5	<15	<45	<95	<150	54	<80	<35	<30	<30	<110	<0,008	270	630	47,9
PB1-1-Chalco-1	<15	<45	<95	<150	34,9	90	<35	40	<30	330	34,4	<65	370	30,8
PB1-1-Chalco-2	<15	<45	<95	170	34,7	<80	<35	<30	40	340	34,5	<65	410	31
PB1-1-Chalco-3	<15	<45	<95	<150	35,2	<80	<35	<30	<30	<110	34,5	<65	360	30,9
PB1-1-Chalco-4	<15	<45	<95	290	35,2	<80	<35	60	<30	360	34,4	<65	420	30,9
PB1-1-Chalco-5	<15	<45	<95	<150	35	110	<35	<30	<30	220	34,3	<65	390	30,9
PB1-1-Py-1	<15	<45	<95	<150	53,8	<80	<35	<30	<30	<110	<0,008	640	690	47,7
PB1-1-Py-2	<15	<45	<95	310	54,3	110	<35	<30	<30	<110	<0,008	500	640	47,8
PB1-1-Py-3	<15	<45	<95	160	54,3	<80	<35	<30	<30	<110	<0,008	780	660	47,9

Tabela 5 (Cont.) – Análise química mineral das amostras do depósito Paraíba. Valores em ppm, exceto para os elementos S, Cu e Fe, que estão em porcentagem.

	Al	As	Sb	Pb	S (%)	Au	Cr	Ti	Ag	Zn	Cu (%)	Ni	Co	Fe (%)
PB1-1-Py-4	<15	<45	<95	190	54,3	<80	<35	<30	<30	<110	<0,008	<65	640	47,9
PB1-1-Py-5	<15	<45	<95	230	54,5	100	<35	<30	<30	<110	<0,008	330	620	47,9
PB1-2-Chalco-1	<15	<45	<95	210	34,6	<80	<35	<30	<30	300	34,4	<65	440	30,9
PB1-2-Chalco-2	<15	<45	<95	<150	33	<80	<35	<30	150	460	33,3	<65	400	32,1
PB1-2-Chalco-3	<15	<45	<95	220	34,5	<80	<35	40	<30	250	34,5	<65	400	30,9
PB1-2-Chalco-4	<15	<45	<95	<150	34,5	<80	<35	<30	<30	300	34,4	<65	390	30,9
PB1-2-Chalco-5	<15	<45	<95	<150	34,7	<80	<35	40	<30	160	34,4	<65	390	30,8
PB1-2-Py-1	<15	<45	<95	<150	54,7	230	<35	<30	<30	<110	0,013	180	600	48
PB1-2-Py-2	<15	<45	<95	<150	54,2	<80	<35	<30	<30	<110	<0,008	70	590	47,6
PB1-2-Py-3	<15	<45	<95	<150	53,5	<80	<35	<30	<30	<110	0,009	<65	650	47,9
PB1-2-Py-4	<15	<45	<95	<150	53,1	130	<35	<30	<30	<110	<0,008	80	640	47,4
PB1-2-Py-5	<15	<45	<95	<150	53,8	120	<35	<30	<30	<110	<0,008	150	670	47,6
PB2-Chalco-1	<15	<45	<95	210	34,6	<80	<35	<30	50	160	34,1	<65	410	30,8
PB2-Chalco-2	<15	<45	<95	<150	34,3	<80	<35	<30	<30	270	34,1	<65	370	30,8
PB2-Chalco-3	<15	<45	<95	<150	27	190	<35	<30	<30	260	26,2	<65	460	23,5
PB2-Py-1	<15	<45	<95	260	53,8	860	<35	<30	<30	<110	0,012	<65	670	47,8
PB2-Py-2	<15	<45	<95	280	53,9	1740	<35	<30	<30	<110	<0,008	<65	660	47,7
PB2-Py-3	<15	<45	<95	<150	54,4	<80	<35	<30	<30	<110	0,011	70	660	48
PBA2-1-Py-1	<15	<45	<95	1080	39,9	720	<35	<30	<30	<110	<0,008	<65	630	33,8
PBA2-1-Py-2	<15	230	<95	260	54,9	<80	<35	<30	<30	<110	<0,008	<65	600	46,8
PBA2-1-Py-3	<15	180	<95	550	53,5	160	<35	<30	<30	<110	<0,008	<65	720	42,6
PBA2-1-Py-4	<15	190	<95	200	53,4	<80	<35	<30	<30	<110	<0,008	140	880	47,6
PBA2-1-Py-5	<15	90	<95	180	53,8	<80	<35	<30	<30	<110	<0,008	<65	640	47,3
PBA2-2-Py-1	<15	<45	<95	<150	52,8	90	<35	<30	<30	<110	<0,008	570	650	47,3
PBA2-2-Py-2	<15	<45	<95	<150	53,3	<80	<35	<30	<30	<110	<0,008	180	740	47,3
PBA2-2-Py-3	<15	<45	<95	<150	52,4	110	<35	<30	<30	<110	<0,008	210	690	47,3
PBA2-2-Py-4	<15	100	<95	<150	52,8	<80	<35	<30	<30	<110	0,053	580	860	47,2
PBA2-2-Py-5	<15	<45	<95	170	53,2	<80	<35	<30	<30	<110	<0,008	270	650	47,4
PBA2-2-Py-6	<15	<45	<95	210	54,2	90	<35	<30	<30	<110	<0,008	350	590	47,7
PBA2-2-Py-7	<15	60	<95	<150	52,7	<80	<35	<30	<30	<110	<0,008	370	700	47,4