



Universidade de Brasília - UnB

Instituto de Geociências - IG

Programa de Pós-Graduação em Geologia

**CARACTERIZAÇÃO DAS ZONAS DE ALTERAÇÃO HIDROTHERMAL
ASSOCIADAS À MINERALIZAÇÃO DE OURO NO *GREENSTONE*
*BELT CRIXÁS - GO***

Dissertação de Mestrado nº 443

Luana Machado Campos

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Catarina Labouré Benfica Toledo

Brasília – DF

2019

LUANA MACHADO CAMPOS

**CARACTERIZAÇÃO DAS ZONAS DE ALTERAÇÃO HIDROTHERMAL
ASSOCIADAS À MINERALIZAÇÃO DE OURO NO *GREENSTONE BELT*
CRIXÁS - GO**

**Dissertação de mestrado elaborada junto ao curso de
Pós-Graduação em Geologia (Área de concentração em
Geologia Econômica e Prospecção), Instituto de
Geociências, Universidade de Brasília, como requisito
parcial para a obtenção do título de Mestre em Geologia.**

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Catarina L.B. Toledo

Banca Examinadora:

Prof^a. Dr^a. Catarina Labouré Benfica Toledo (Orientadora)

Prof. Dr. Claudinei Gouveia de Oliveira (IG – UnB)

Prof. Dr. Wahington de Jesus Sant'anna da Franca Rocha (UEFS)

Prof^a. Dr^a. Tati Almeida (IG – UnB) (Suplente)

Brasília – DF

2019

FICHA CATALOGRÁFICA

Campos, Luana Machado

Caracterização das zonas de alteração hidrotermal associadas à mineralização de ouro no *greenstone belt* Crixás – GO.

Nº de páginas: 165

Área de Concentração: Geologia Econômica e Prospecção

Orientadora: Profa. Dra. Catarina Labouré Benfica Toledo

“O homo se diz sapiens, mas o que mais lhe parece faltar é a sapiência”

Panorama - Forfun

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais Juliana e Eduardo por todo apoio de sempre e declaro aqui meu amor, orgulho e admiração por tudo que vocês fazem pela nossa família, por serem meu suporte e sempre me incentivarem a dar o meu melhor todos os dias.

Aos meus irmãos Louise e João Lucas, à toda a minha família e amigos que me acompanham, agradeço por todo carinho de sempre.

Ao meu grande amigo e companheiro Ruan, só tenho a agradecer por tanta parceria, carinho, cuidado e paciência rsrs, sempre me trazendo calma nos momentos mais difíceis.

Às professoras Catarina Toledo e Adalene Silva, declaro aqui minha eterna gratidão pela oportunidade de trabalho, por cada ensinamento, conselhos e trocas. Tenho uma admiração enorme pelas duas e me sinto honrada em poder trabalhar e crescer ao lado de mulheres e profissionais que me inspiram tanto.

Ao meu amigo e parceiro de trabalho Caio Aguiar, obrigada por todo auxílio nos trabalhos de campo, nas discussões e pelos muitos litros tomados nessa jornada geológica.

Agradeço ao professor Diego Ducart pela recepção na UNICAMP e auxílio na etapa de processamento de dados.

À toda equipe da Mineração Serra Grande Ltda., Anglo Gold Ashanti, meu enorme agradecimento por todo apoio na pesquisa, como auxílio nos trabalhos de campo, fornecimento de material para estudos e análises e por todo suporte necessário fazendo com que a execução deste trabalho fosse possível.

Ao Instituto de Geociências da Universidade de Brasília, minha segunda casa nos últimos 8 anos, agradeço pelo espaço cedido, fornecendo toda infraestrutura necessária para o desenvolvimento do ensino e das pesquisas científicas.

Agradeço à CAPES por conceder a bolsa de estudo.

RESUMO

O *greenstone belt* Crixás constituiu uma das cinco faixas supracrustais do Bloco Arqueano-Paleoproterozóico do Goiás, região central do Brasil, que é uma região reconhecida pelo seu potencial econômico associado à diferentes depósitos minerais. No *greenstone belt* Crixás ocorrem os principais depósitos auríferos do terreno, os quais constituem diversos corpos mineralizados onde a mineralização é controlada preferencialmente por estruturas definidas por falhas de empurrão de baixo a moderado ângulo, com zonas de alteração hidrotermal associadas. O presente estudo tem como objetivo integrar dados de mapeamento mineral realizado pela espectroscopia de reflectância e petrografia, a geoquímica e o estudo das propriedades físicas das rochas para caracterizar as estruturas mineralizadas do *greenstone belt* Crixás e seus respectivos halos de alteração hidrotermal. A pesquisa concentra-se em três estruturas controladoras da mineralização: Estrutura Palmeiras, Estrutura III e Estrutura IV. Na Estrutura Palmeiras, a mineralização está associada a veios de quartzo hospedado em metabasalto hidrotermalizado. O halo distal da alteração hidrotermal da Estrutura Palmeiras é definido por cloritização, biotitização ± carbonatação representado por uma assembleia hidrotermal composta por Fe-Mg clorita + biotita + ankerita ± epidoto. O halo intermediário é definido pelos processos de epidotização, carbonatação ± cloritização, indicados por uma assembleia composta por epidoto + ankerita + Fe-Mg clorita ± biotita. O halo proximal é dominado pela sericitização ± cloritização, com uma assembleia hidrotermal composta por muscovita + Fe-Mg clorita + magnetita ± paragonita ± turmalina. A presença de magnetita na Estrutura Palmeiras resultou em anomalias magnéticas significativas na zona da Estrutura Palmeiras, com valores de susceptibilidade magnética de até 1432×10^{-3} SI. O estudo da mobilidade química na Estrutura Palmeiras destaca o enriquecimento de certos elementos nas zonas de alteração hidrotermal como K₂O, Al₂O₃, Na₂O, Fe₂O₃, TiO₂, BaO, Rb, Cs, Li, Cd, U, W, V, Ta, Th e Zr. Destaca-se a identificação de uma zona mineralizada hospedada no pacote de metabasalto hidrotermalizado que não corresponde à Estrutura Palmeiras, onde foi observado o enriquecimento em As, Tl, Ag, W, Sb, Se e Tl. A Estrutura IV hospeda-se no pacote de filito carbonoso e a mineralização é tipo minério disseminado, onde o ouro ocorre associado à sulfetos como arsenopirita e pirrotita, livre na ganga ou em veio de quartzo. O halo de alteração distal é marcado pela sericitização ± cloritização, pouco penetrativas na rocha, representados pelo aumento nas proporções de muscovita e clorita na

assembleia mineralógica. O halo intermediário é dominado pelo processo de carbonatação ± silicificação ± sericitização, definido por uma assembleia composta por quartzo + ankerita + muscovita ± material carbonoso ± pirrotita ± calcopirita. O halo proximal é definido pelo processo de silicificação, albitização ± carbonatação, sendo representado por uma assembleia hidrotermal composta por quartzo + oligoclásio + turmalina ± carbonato ± turmalina ± biotita ± apatita ± arsenopirita ± pirrotita. A geoquímica evidenciou ganhos em SiO₂, CaO, Na₂O, K₂O, P₂O, BaO nos halos de alteração da Estrutura IV, além do ganho de elementos farejadores como As, W, Sb, Re, Te, Mo e Bi. A Estrutura III é representada por um veio de quartzo aurífero e descontínuo hospedado no filito carbonoso, onde o ouro ocorre preferencialmente de forma livre no veio. O halo de alteração distal da Estrutura III é definido pelo processo de cloritização representado por uma assembleia composta por clorita + quartzo + plagioclásio + material carbonoso ± biotita ± zoizita, associada à zonas de sulfetação definida por pirrotita e calcopirita. O halo intermediário é representado pelo processo de carbonatação ± silicificação definido por uma assembleia composta por ankerita + quartzo ± material carbonoso ± pirrotita ± zoizita. O halo proximal é destacado pelo processo de silicificação ± carbonatação, com uma assembleia semelhante ao halo anterior, porém com maiores concentrações de quartzo e empobrecida em material carbonoso, plagioclásio, biotita e zoizita. Os dados geoquímicos evidenciam o enriquecimento em CaO, SiO, Fe₂O e MgO dentro dos halos de alteração hidrotermal, além de elementos farejadores como As, Hg, Sb, Se, Re, Te, Tl e W. A caracterização química e mineralógica das zonas de alteração hidrotermal associadas às estruturas mineralizantes foi eficaz e essencial para a delimitação das estruturas e definição de guias e vetores de exploração que auxiliem na exploração aurífera no *greenstone belt* Crixás.

PALAVRAS CHAVES: ALTERAÇÃO HIDROTERMAL, MINERALIZAÇÃO AURÍFERA, GREENSTONE BELT, ESPECTROSCOPIA DE REFLECTÂNCIA, PETROFÍSICA, GEOQUÍMICA

ABSTRACT

The Crixás greenstone belt constituted one of the five volcanosedimentary sequences of the Archaean-Paleoproterozoic terrain of Goiás, central Brazil, which is a region recognized for its economic potential associated with different mineral deposits. The main gold deposits of the terrain occur in the Crixás greenstone belt, which constitute several orebodies where the mineralization is controlled preferentially by structures defined by low to moderate thrust faults with associated zones of hydrothermal alteration. The present study aims to integrate data from the mineral mapping performed by reflectance spectroscopy and petrography, geochemistry and the study of physical properties of rocks to characterize the mineralized structures of the Crixás greenstone belt and their respective hydrothermal alteration. The research focuses on three structures that control the mineralization: Palmeiras Structure, Structure III and Structure IV. In the Palmeiras Structure, the mineralization is associated with veins of quartz hosted in hydrothermalized metabasalt. The distal halo of the hydrothermal alteration of the Palmeiras Structure is defined by chloritization, biotitization ± carbonation represented by a hydrothermal assembly composed of Fe-Mg chlorite + biotite + ankerite ± epidote. The intermediate halo is defined by the processes of epidotization, carbonation ± chloritization, indicated by an assembly composed of epidote + ankerite + Fe-Mg chlorite ± biotite. The proximal halo is dominated by the sericitization ± chloritization, with a hydrothermal assembly composed of muscovite + Fe-Mg chlorite + magnetite ± paragonite ± tourmaline. The presence of magnetite in the Palmeiras Structure resulted in significant magnetic anomalies in the Palmeiras Structure zone, with values of magnetic susceptibility up to 1432×10^3 SI. The study of the chemical mobility in the Palmeiras Structure emphasizes the enrichment of certain elements in the zones of hydrothermal alteration as K₂O, Al₂O₃, Na₂O, Fe₂O₃, TiO₂, BaO, Rb, Cs, Li, Cd, U, W, V, Ta, Th and Zr. Hence the importance of the identification of a mineralized zone hosted in the hydrothermalized metabasalt package that does not correspond to the Palmeiras Structure, where it was observed enrichment in As, Tl, Ag, W, Sb, Se and Tl. Structure IV is hosted in the carbonaceous schist unit and the mineralization is a disseminated ore type, where gold occurs associated with sulfides such as arsenopyrite and pyrrhotite, free on the gangue or in a vein of quartz. The distal alteration halo is marked by the sericitization ± chloritization, less penetrative in the rock, represented by the increase in the muscovite and chlorite proportions in the mineralogical assembly. The intermediate halo is

dominated by the process of carbonation ± silicification ± sericitization, defined by an assembly composed of quartz + ankerite + muscovite + carbonaceous material ± pyrrhotite ± chalcopyrite. The proximal halo is defined by the process of silicification, albitization ± carbonation, and is represented by a hydrothermal assembly composed of quartz + oligoclase + tourmaline ± carbonate ± tourmaline ± biotite ± apatite ± arsenopyrite ± pyrrhotite. The geochemistry evidenced gains in SiO₂, CaO, Na₂O, K₂O, P₂O₅, BaO in the alteration halos of Structure IV, besides the gain of pathfinder elements like As, W, Sb, Re, Te, Mo and Bi. Structure III is represented by a discontinuous auriferous quartz vein hosted in the carbonaceous phyllite, where gold occurs preferably freely in the vein. The distal halo of Structure III is defined by the process of chloritization represented by an assembly composed of chlorite + quartz + plagioclase + carbonaceous matter ± biotite ± zoizite, associated to the sulfide zones, defined by pyrrhotite and chalcopyrite. The intermediate halo is represented by the process of carbonation ± silicification defined by an assembly composed of ankerite + quartz ± carbonaceous material ± pyrrhotite ± zoizite. The proximal halo is highlighted by the silicification process ± carbonation, with an assembly similar to the previous halo, but with higher concentrations of quartz and depleted in carbonate material, plagioclase, biotite and zoizite. The geochemical data show the enrichment of CaO, SiO₂, Fe₂O₃ and MgO within the hydrothermal alteration halos, as well as pathfinder elements such as As, Hg, Sb, Se, Re, Te, Tl and W. The chemical and mineralogical characterization of the hydrothermal alteration zones associated with the mineralizing structures was effective and essential for the delineation of the structures and definition of exploration targets that aid in the.

KEYWORDS: HYDROTHERMAL ALTERATION, GOLD MINERALIZATION, GREENSTONE BELT, REFLECTANCE SPECTROSCOPY, PETROPHYSICS, GEOCHEMISTRY

Sumário

AGRADECIMENTOS.....	I
RESUMO	II
ABSTRACT	IV
Índice de Figuras.....	VI
Índice de Tabelas	XI
Capítulo I - Introdução.....	1
I.1 Apresentação e justificativa	1
I.2 Objetivos	2
I.3 Localização e acesso.....	3
I.4 Estrutura da Dissertação.....	4
Capítulo II - Materiais e Métodos	5
II.1 Trabalho de campo e amostragem	5
II.2 Petrografia.....	8
II.3 Espectroscopia de Reflectância.....	8
II.4 Geoquímica.....	13
II.5 Propriedades Físicas das Rochas.....	14
II.5.1 Densidade	14
II.5.2 Susceptibilidade Magnética	17
Capítulo III – Artigo Científico: <i>The Hydrothermal Footprint of Crixas Orogenic Gold Deposit, Central Brazil</i>	21
Abstract.....	21
III.1 Introdução.....	23
III.2 Contexto Geológico Regional	24
III.2.1 O Terreno Arqueano-Paleoproterozóico do Goiás	25
III.2.1.1 Blocos TTG	26
III.2.1.2 Faixas <i>Greenstone Belts</i>	27
III.2.1.2.1 O <i>Greenstone Belt</i> Crixás.....	28
Estratigrafia.....	29
Deformação e Metamorfismo.....	30
Geocronologia.....	31
Mineralizações de Ouro	32
III.3 Materiais e Métodos	34
III.3.1 Trabalho de Campo e Amostragem.....	34
III.3.2 Petrografia e química mineral	35

III.3.3 Espectroscopia de Reflectância.....	36
III.3.4 Geoquímica.....	36
III.3.5 Propriedades Físicas das Rochas	37
III.4 Contexto Geológico das Zonas Mineralizadas.....	38
III.4.1 Estrutura Palmeiras	38
Metabasalto (MBA)	39
Halo Distal	41
Halo Intermediário.....	42
Halo proximal.....	43
III.4.2 Estruturas III e IV	45
Filito Carbonoso	45
III.4.2.1 Estrutura IV.....	46
Halo Distal	46
Halo Intermediário.....	48
Halo Proximal.....	48
III.4.2.1 Estrutura III	51
Halo Distal	51
Halo Intermediário.....	53
Halo Proximal.....	53
Quartzo-muscovita-biotita-clorita- anfibólio-granada-xisto (GNCX).....	56
III.5. Espectroscopia de Reflectância	57
III.5.1 Clorita.....	61
III.5.2 Hornblenda.....	62
III.5.3 Carbonatos	64
III.5.4 Mica Branca	65
III.5.5 Epidoto.....	66
III.5.6 Talco	67
III.6 Geoquímica das Estruturas Mineralizadas	67
III.6.1 Estrutura Palmeiras	71
III.6.2 Estrutura IV	71
III.6.3 Estrutura III.....	72
III.7 Propriedades Físicas das Rochas	78
III.7.1 Densidade	79
III.7.2 Susceptibilidade Magnética	81
III.8.Integração dos dados e discussões.....	83

III.8.1 Estrutura Palmeiras	83
III. 8.2 Estrutura IV	93
III.8.3 Estrutura III	97
III.9. Conclusões	105
Capítulo IV – Considerações Finais	107
VI. Considerações Finais	108
Referências Bibliográficas	110
ANEXOS	118

Índice de Figuras

Figura I.1: Mapa de localização da cidade de Crixás com as principais vias de acesso em destaque.	3
Figura II.1: Seções dos furos de sondagem utilizados para amostragem com as estruturas mineralizadas estudadas em destaque.	7
Figura II.2: Parâmetros espectrais analisados pela espectroscopia de reflectância (extraído de Prado <i>et al.</i> , 2016).	10
Figura II.3: Feições de absorção com o contínuo e com o contínuo removido (Van der Meer, 2004).	12
Figura II.4: Espectrorradiômetro FieldSpec3HiRes® (ASD) utilizado para a aquisição dos dados espectrorradiométricos.	13
Figura II.5: Dados de densidade para diferentes tipos de rocha baseados nos trabalhos de Emerson (1990), Scorn (1996) e Wolemberg (1982) in Dentith & Mudgett & 2014.	16
Figura II.6: Valores de susceptibilidade magnética para diferentes tipos de rocha (Clark, 1997 in Dentith & Mudgett, 2014).	19
Figura II.7: À direita: Balança de pesagem industrial utilizadas para pesagem das amostras. À Esquerda: Susceptibilímetro portátil KT-10 utilizado para a obtenção dos dados de susceptibilidade magnética.	20
Figura III.1: Mapa simplificado da Faixa Brasília com a compartimentação das principais unidades geológicas (Modificado de Pimentel <i>et al.</i> , 2004).	26
Figura III.2: Terreno Arqueano - Paleoproterozóico do Goiás com o greenstone belt Crixás em destaque (modificado de Jost <i>et al.</i> , 2014). B) Mapa geológico do greenstone belt Crixás (modificado de Jost <i>et al.</i> , 2014). C) Coluna estratigráfica do greenstone belt Crixás.	28

- Figura III.3:** Seções dos furos de sondagem utilizados para amostragem com as estruturas mineralizadas estudadas em destaque. 35
- Figura III.4:** Seção esquemática do greenstone belt Crixás exibindo as principais estruturas mineralizadas. Em destaque encontra-se o furo CPIVESD0031 e a zona onde o furo MNE3UD0033 intercepta (modificado de Mineração Serra Grande – Anglo Gold Ashanti). 38
- Figura III.5:** Amostras do testemunho de sondagem CPIVESD0031 correspondentes à Estrutura Palmeiras. A) Metabasalto (MBA) maciço de coloração cinza esverdeado, composto por cristais de anfibólios, quartzo e plagioclásio com granulação muito fina. B) Halo distal da alteração hidrotermal: rocha de coloração cinza esverdeado, foliada, caracterizada pela alternância de níveis milimétricos compostos por quartzo e carbonatos e níveis compostos por hornblendas e minerais micáceos orientados segundo o plano da foliação. Comumente ocorrem vênulas preenchidas por quartzo e carbonato. C) Halo intermediário da alteração hidrotermal: Rocha de coloração cinza esbranquiçado, fortemente foliada, marcada pela alternância de níveis compostos por quartzo e carbonatos e níveis compostos por porfiroblastos de epidoto e minerais micáceos orientados segundo a foliação. Observa-se uma concentração grande de porções carbonatadas de coloração branca. D) Halo intermediário da alteração hidrotermal: Rocha de coloração cinza, foliada e granulação fina, composta por quartzo, carbonato e minerais micáceos alternados. E) Halo proximal da alteração: rocha de coloração cinza, foliada, marcada pela alternância de níveis compostos por quartzo e magnetita níveis compostos por minerais micáceos. 39
- Figura III.6:** Fotomicrografia de metabasalto do greenstone belt Crixás. Agregados de quartzo e plagioclásio recristalizados, ocupam os espaços intersticiais entre cristais subedrais de hornblenda. Em A, foto em nicóis paralelos e em B, nicóis cruzados. 40
- Figura III.7:** Fotomicrografia das rochas hidrotermais associadas à Estrutura Palmeiras. A) Halo distal: lamelas de biotita e clorita em reação orientada segundo a direção da foliação da rocha, acompanhadas de cristais de Mg-hornblenda, quartzo e Fe-Mg carbonato constituindo uma matriz juntamente com o quartzo e lamelas de Fe-Mg cloritas orientadas segundo a direção da foliação. C e D) Halo intermediário: porfiroblastos de epidoto e biotita em meio a uma matriz composta por lamelas de cloritas e muscovitas com inclusões de ilmenitas orientadas. E e F) Halo proximal: porfiroblastos sin a tardi-tectônicos de magnetitas anédricas dispostos em uma matriz composta por muscovita e

paragonita, Fe- clorita e ilmenitas orientadas, juntamente com quartzo, plagioclásio e turmalina de granulação muito fina. 44

Figura III.8: Figura 4: Fotomicrografia do filito carbonoso do greenstone belt Crixás. A rocha apresenta domínios constituídos por material carbonoso e biotita alternados com domínios granoblásticos de quartzo, plagioclásio e granada. 46

Figura III.9: Figura 5: Amostras do testemunho de sondagem CPIVESD0031 referentes à Estrutura IV. A) Filito carbonoso: rocha cinza escura de granulação fina, levemente foliada e composta predominantemente por matéria carbonosa, quartzo e biotita, clorita e muscovita. B) Halo distal: caracterizado por rocha de coloração cinza e granulação fina, fortemente foliada, caracterizada pela alternância de níveis quartzosos e níveis compostos por material carbonoso e minerais micáceos. C) Halo intermediário: rocha de coloração cinza clara, foliada, composta por material carbonoso, quartzo, carbonatos e sulfetos. D) Zona Proximal: rocha esbranquiçada composta por quartzo, carbonato, material carbonoso e sulfetos, com a foliação obliterada pelo intenso processo de silicificação e carbonatação. 47

Figura III.10: Fotomicrografia dos halos de alteração associados à Estrutura IV. A e B) Halo Intermediário: domínios lepidoblásticos definidos pela orientação de lamelas de muscovita, biotita, clorita e material carbonoso alternados com domínios granoblásticos granoblásticos compostos por cristais grossos e irregulares de quartzo e carbonato. C e D) Halo proximal: porfiroblastos de biotita truncado faixas irregulares de aglomerados de turmalina, em meio a uma matriz composta por quartzo, carbonato e plagioclário. E) Halo proximal: matriz fina e recristalizada granoblástica composta por quartzo, plagioclásio, carbonato e rutilo, com lamelas de biotita e muscovita. F) Halo proximal: porfiroblasto de plagioclásio circundado por aglomerado de turmalina e lamelas de biotita em uma matriz recristalizada composta por quartzo, plagioclásio e carbonatos 50

Figura III.11: Amostras do furo de sondagem MNE3UD0033 referentes à Estrutura III. A) Filito carbonoso foliado, de granulação fina e coloração cinza escuro, caracterizado pela alternância de níveis milimétricos compostos por material quartzoso com níveis milimétricos de matéria carbonosa, micas e clorita. B) Halo Distal: Rocha de coloração cinza clara, levemente foliada composta por porfiroblastos de granada e anfibólio em meio a uma matriz fina composta por matéria carbonosa e minerais lamelares. Comumente são observadas venulações preenchidas por quartzo. C). Intermediário: Rocha foliada, de granulação fina caracterizada por domínios de coloração esbranquiçada constituídos por quartzo e carbonato em meio a uma massa escura composta

predominantemente por material carbonoso e minerais lamelares. D) Halo proximal: rocha maciça de coloração clara, composta predominantemente por quartzo e carbonato e níveis irregulares com material carbonoso e minerais micáceos. Localmente observa-se venulações e concentrações de sulfetos. 52

Figura III.12: Fotomicrografia do furo de sondagem MNE3UD0033, das amostras referentes à Estrutura III. A) Halo distal: porfiroblasto de granada subeuédricos em meio a lamelas de clorita e biotita orientada, com pequenos domínios compostos por cristais finos e recristalizados de quartzo e plagioclásio. B) Halo distal: porfiroblastos subeuédricos de anfibólio e granada tardi-tectônicos e foliação tectônica marcada pela orientação das lamelas de clorita e biotita, com domínios compostos por cristais finos e recristalizados de quartzo, plagioclásio e zoizita. C e D) Halo intermediário: cristais de quartzo e carbonato anédricos e de granulação média associados a lamelas de biotita, clorita e material carbonoso. E) Halo proximal: cristais recristalizados de quartzo e carbonato intercalados com domínios constituídos por material carbonoso, uma massa fina de quartzo, plagioclásio e zoizita, associadas a lamelas de biotitas. F) Halo proximal: zona próxima ao veio, composta por cristais irregulares de quartzo e carbonato. 55

Figura III.13: Fotomicrografia do GNCX. A) Porfiroblastos subeuédricos de granada e anfibólio. A granada está contornada pela foliação e apresenta sombras de pressão. O anfibólio está orientado segundo a filiação. B) Porfiroblastos de granadas subeuédricos contornado pela foliação tectônica e com sombras de pressão. A foliação tectônica é marcada pela orientação preferencial de muscovita e biotita. 57

Figura III.14: Espectros de reflectância empilhados dos minerais identificados nas amostras do furo de sondagem CPIVESD0031. Em destaque encontram-se as feições de absorção diagnósticas de cada mineral. 59

Figura III.15: Scatter plots apresentando a variação dos parâmetros de composição e abundância de acordo com a profundidade do furo CPIVESD0031. 63

Figura III.16: Histograma mostrando a correlação entre a composição da clorita e concentração de ouro nas amostras. Ao lado estão apresentados os espectros representativos de cada composição de clorita identificada. 64

Figura III.17: Histograma mostrando a correlação entre a composição dos carbonatos com a concentração de ouro nas amostras. Ao lado, estão exibidos os espectros representativos de cada composição de carbonato identificada. 65

Figura III.18: Histograma mostrando a correlação entre a composição da mica branca e a concentração de ouro nas amostras. Ao lado estão apresentados os espectros referentes a cada composição de mica identificada.	67
Figura III.19: Scatter Plots apresentando a resposta geoquímica ao longo do testemunho de sondagem para elementos maiores. Estão destacadas as estruturas mineralizadas: Estrutura Palmeiras, Estrutura IV e Estrutura III.....	69
Figura III.20: Scatter Plots apresentando a resposta geoquímica ao longo do testemunho de sondagem para elementos maiores e menores. Estão destacadas as estruturas mineralizadas: Estrutura Palmeiras, Estrutura IV e Estrutura III.	70
Figura III.21: Diagramas exibindo as dosagens de elementos maiores das amostras de metabasalto e metabasalto hidrotermalizado, com os halos de alteração da Estrutura Palmeiras em destaque.	73
Figura III.22: Diagramas exibindo as dosagens dos elementos menores das amostras de metabasalto e metabasalto hidrotermalizado (CBCX) com os halos de alteração da Estrutura Palmeiras em destaque.	74
Figura III.23: Diagramas exibindo as dosagens dos elementos menores das amostras de metabasalto e metabasalto hidrotermalizado (CBCX) com os halos de alteração da Estrutura Palmeiras em destaque.	75
Figura III.24: Diagramas exibindo as dosagens dos elementos maiores das amostras de filito carbonoso com os halos de alteração das Estruturas III e IV em destaque.	76
Figura III.25: Diagramas exibindo as dosagens de alguns elementos menores das amostras de filito carbonoso com os halos de alteração das Estruturas III e IV em destaque.	77
Figura III.26: Perfil apresentando a variação das medidas de propriedades físicas das rochas de acordo com a profundidade do furo CPIVESD0031. A) Densidade x Profundidade. B) Susceptibilidade Magnética x Profundidade.....	79
Figura III.27: Box Plot exibindo os intervalos das medidas, médias e <i>outliers</i> de densidade e susceptibilidade magnética para cada litologia do furo CPIVESD331. Amostras com medidas de propriedades físicas anômalas associados às estruturas mineralizadas estão destacadas.....	82
Figura III.28: Diagrama exibindo a relação entre as medidas de densidade e susceptibilidade magnética das amostras do greenstone belt Crixás.....	83
Figura III.29: Esquema representando a variação da assembleia mineralógica da Estrutura Palmeiras, Corpo IV, de acordo com as zonas de alteração hidrotermal.....	85

Figura III.30: Diagrama exibindo o comportamento dos elementos maiores e menores nos halos de alteração hidrotermal associados à Estrutura Palmeiras em relação ao metabasalto hospedeiro não hidrotermalizado. Para razões abaixo de 1, tem-se o empobrecimento dos elementos e para razões acima de 1 tem-se o enriquecimento.....	87
Figura III.31: Compilação dos dados espectrais, petrofísicos, e geoquímicos que caracterizam a Estrutura Palmeiras.....	92
Figura III.32: Esquema representando a variação da assembleia mineralógica da Estrutura IV de acordo com as zonas de alteração hidrotermal.	95
Figura III.33: Diagrama exibindo o comportamento dos elementos maiores e menores nos halos de alteração hidrotermal associados à Estrutura IV em relação ao filito carbonoso não hidrotermalizado. Para razões abaixo de 1, tem-se o empobrecimento dos elementos e para razões acima de 1 tem-se o enriquecimento.	96
Figura III.34: Esquema representando a variação da assembleia mineralógica da Estrutura III de acordo com as zonas de alteração hidrotermal.....	99
Figura III.35: Diagrama exibindo o comportamento dos elementos maiores e menores nos halos de alteração hidrotermal associados à Estrutura III em relação ao filito carbonoso não hidrotermalizado. Para razões abaixo de 1, tem-se o empobrecimento dos elementos e para razões acima de 1 tem-se o enriquecimento.	100
Figura III.36: Compilação dos dados espectrais, petrofísicos e geoquímicos que caracterizam o <i>footprint</i> das estruturas III e IV.....	104

Índice de Tabelas

Tabela II.1: Nomenclatura das litologias citadas no presente trabalho e suas respectivas siglas.....	5
Tabela II.2: Classificação das unidades litológicas do greenstone belt Crixás citadas no presente trabalho e suas respectivas siglas para abreviações.	6
Tabela II.3: Principais bandas de absorção relacionadas à presença de íons ou moléculas em minerais (Retirado de Pontual <i>et al.</i> , 1997 in Ducart, 2004).	11
Tabela II.4: Métodos utilizados para as dosagens geoquímicas e os seus respectivos elementos analisados.....	14
Tabela III.1: Algoritmos utilizados para definir os parâmetros espectrais (profundidade da feição de absorção, comprimento de onda mínimo, etc) das feições de absorção individuais (Modificado de Prado <i>et al.</i> , 2016).	60

Tabela III.2: Produtos espectrais utilizados para a extração dos parâmetros abundância e composição mineral referente aos minerais do furo de sondagem CPIVESD0031.....	61
Tabela III.3: Propriedades Físicas das rochas do greenstone belt Crixás (Susceptibilidade Magnética e Densidade).	78

Capítulo I - Introdução

I.1 Apresentação e justificativa

O terreno Arqueano – Paleoproterozóico do Goiás vem sendo alvo da exploração aurífera desde o século XVIII, quando os Bandeirantes iniciaram as atividades na área. A região de Crixás apresenta grande importância econômica no ramo da exploração mineral, possuindo uma das maiores reservas de ouro do Brasil e já tendo sido considerada o maior distrito aurífero do país com 70t de ouro e uma média de 12 g/t (Jost *et al.*, 2010).

As pesquisas científicas nestas áreas iniciaram-se nos primórdios da década de 70, quando Barbosa *et al.*, (1969) realizaram as primeiras descrições das rochas pertencentes ao terreno arqueano do Goiás e interpretaram os xistos provenientes de rochas vulcânicas máficas e ultramáficas como base do Grupo Araxá, teoria que foi contestada por Ribeiro Filho *et al.*, (1978), quando foram diferenciadas as sequências supracrustais de Crixás e Pilar de Goiás dos xistos do Grupo Araxá. Posteriormente, Danni & Ribeiro (1978) definiram as sequências vulcano-sedimentares da região como *greenstone belts*, interpretação que foi consagrada após a descoberta realizada por Sabóia (1979) de rochas vulcânicas ultramáficas com texturas *spinifex* preservadas em Crixás.

As pesquisas prospectivas começaram na década de 70 com a chegada da Mineração Montila Ltda. Na década de 80 a empresa Mineração Serra Grande S.A., atualmente *joint venture* da AngloGold Ashanti Mineração Ltda., iniciou o trabalho de sondagem e a partir destas atividades foram definidos os principais alvos exploratórios do *greenstone belt* de Crixás conhecidos como Mina III e Mina Nova, inicialmente, e Mina Inglesa. Em meados da década de 80, instalou-se a primeira mina subterrânea mecanizada do *greenstone*, a Mina III. Posteriormente foram desenvolvidos diversos programas de exploração para a ampliação das reservas minerais e foram descobertos novos corpos mineralizados denominados de Corpo IV, Corpo V, Corpo Palmeiras, Corpo Pequizão, Corpo Ingá, Corpo Baru, Corpo XI, Corpo Sucupira, Corpo Forquilha e Corpo Urucum. Atualmente a empresa continua com o trabalho exploratório afim de descobrir novos corpos e aumentar o tempo de vida útil da mina.

A mineralização de ouro no *greenstone belt* de Crixás ocorre associada a zonas de transcorrências e falhas de empurrão de baixo a moderado ângulo que são acompanhadas por dobras recumbentes e semi-recumbentes desenhadas pelo amacamento original (S0) paralelo à foliação metamórfica proeminente (Sn) (Jost *et al.*, 2014). Além do controle estrutural evidencia-se forte correlação da mineralização com zonas de alteração

hidrotermal intensa além de um evidente controle litológico. O minério pode ocorrer como de lentes de sulfeto maciço, como minério disseminado ou disseminado em veios de quartzo (Jost *et al.*, 2010).

O presente trabalho foi desenvolvido dentro do Programa de Mestrado em Geologia do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília, sob orientação da Prof^a. Dtr.^a Catarina Labouré Bemfica Toledo e faz parte do Projeto de pesquisa intitulado “A geometria do *Greenstone Belt* de Crixás e o *footprint* da mineralização de ouro: implicações para selecionar *targets* potenciais”, projeto que faz parte de um acordo de cooperação técnico - científico entre a Universidade de Brasília e a empresa AngloGold Ashanti Mineração Ltda. - Mineração Serra Grande.

A proposta central desta pesquisa é a definição do *footprint* da mineralização de ouro do *greenstone belt* Crixás e delimitação dos principais vetores de exploração na região a partir da caracterização das zonas de alteração hidrotermal associadas. Neste sentido, serão integrados dados de petrografia e geoquímica, a espectroradiometria de reflectância e o estudo das propriedades físicas das rochas para a delimitação do sistema mineralizante. Pretende-se com esta pesquisa utilizar ferramentas inovadoras, que auxiliem na definição de áreas favoráveis à exploração de ouro nos *greenstone belts* do Terreno Arqueano-Paleoproterozóico do Goiás.

I.2 Objetivos

O presente trabalho tem como objetivo central gerar a assinatura do *footprint* das mineralizações de ouro do *greenstone belt* Crixás utilizando petrografia, técnicas espectrais para mapeamento mineral, geoquímica e propriedades físicas das rochas.

Os objetivos específicos incluem:

- ✓ Caracterização e identificação das rochas hospedeiras e das zonas de alteração hidrotermal a partir da descrição detalhada de testemunhos de sondagem;
- ✓ Caracterização petrográfica dos halos de alteração hidrotermal e das zonas mineralizadas, visando a análise das variações mineralógicas e texturais associadas ao processo hidrotermal;
- ✓ Identificação das assinaturas espectroradiométricas das zonas de alteração hidrotermal identificadas em testemunhos de sondagem;
- ✓ Análise geoquímica das zonas de alteração que envolvem as porções

mineralizadas, buscando compreender a mobilidade dos elementos no sistema hidrotermal mineralizante da área;

- ✓ Aquisição de dados de propriedades física de rocha (susceptibilidade magnética e densidade) em furos de sondagem e sua correlação com os dados espectrais e geoquímicos;
- ✓ Estabelecer a assinatura das zonas mineralizadas a partir da integração de dados petrográficos, espectrais, geoquímicos e de propriedades físicas das rochas.

I.3 Localização e acesso

A cidade de Crixás localiza-se a aproximadamente 390 km de Brasília e suas principais vias de acesso são as rodovias BR-070, saindo de Brasília em direção ao município de Pirenópolis – GO, seguindo até a BR 153 e posteriormente seguindo a rodovia GO-336 (Figura I.1).

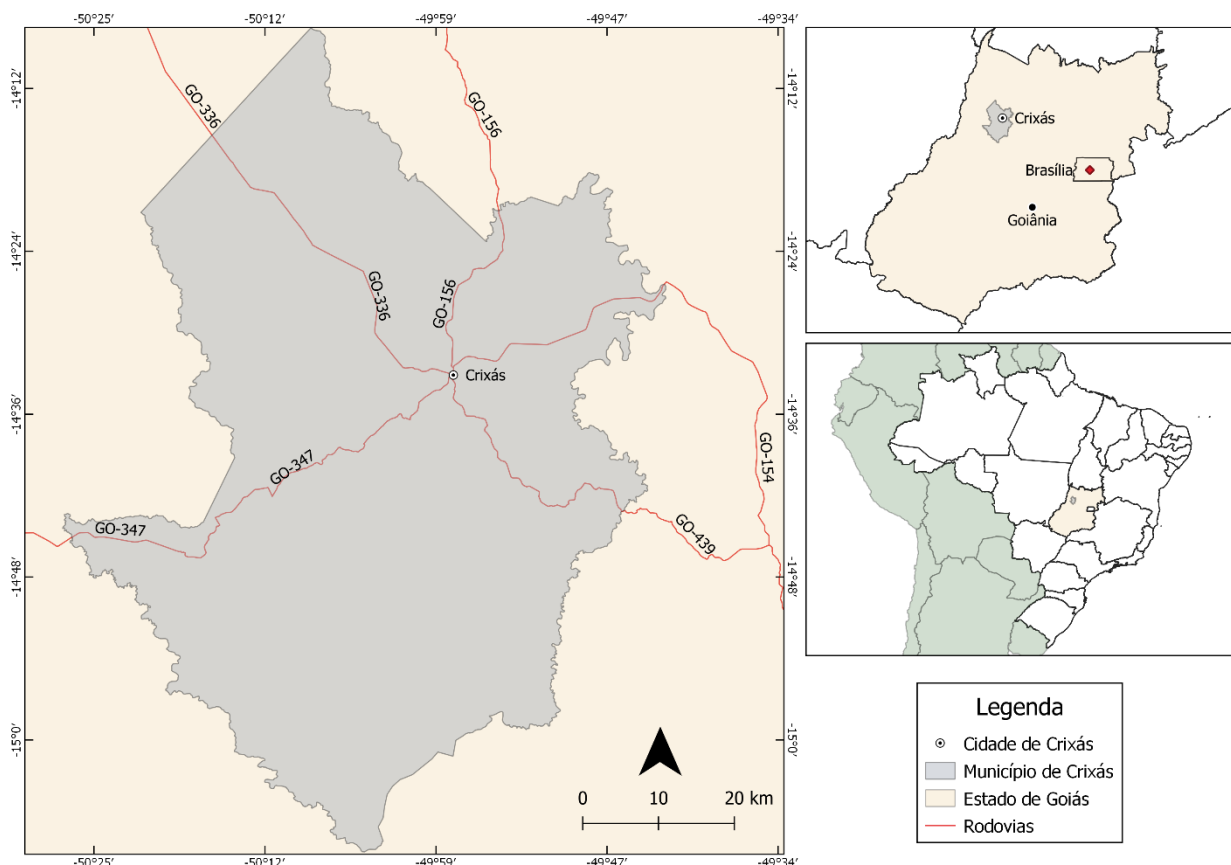


Figura I.1: Mapa de localização da cidade de Crixás com as principais vias de acesso em destaque.

I.4 Estrutura da Dissertação

Esta dissertação de mestrado está segmentada em três partes distintas. A primeira parte (Capítulos I e II), foi elaborada para apresentar o trabalho, destacar seus principais objetivos, a localização da área de estudo e abordar sobre as metodologias utilizadas para o seu desenvolvimento. A segunda parte (Capítulo III) foi elaborada em forma de artigo científico no qual foi intitulado “*The Hydrothermal Footprint of Crixas Orogenic Gold Deposit, Central Brazil* ”. Nesta etapa serão apresentados os principais resultados e discussões do estudo. A terceira parte da dissertação (Capítulo IV) apresenta as discussões e as considerações finais e sugestões desta pesquisa.

Capítulo II - Materiais e Métodos

II.1 Trabalho de campo e amostragem

O trabalho de campo ocorreu em duas etapas. A primeira foi realizada no período de 17 a 25 de julho de 2017 nas instalações da empresa Mineração Serra Grande, localizada na cidade de Crixás, estado de Goiás (GO).

Esta etapa do trabalho consistiu na descrição detalhada do testemunho de sondagem estratigráfico cedido pela empresa, denominado de CPIVESD0031, sendo este o principal objeto de estudo deste trabalho (Figura II.1). O testemunho apresenta cerca de 1200 metros de profundidade e é constituído por rochas das diferentes unidades estratigráficas do *greenstone belt* de Crixás, além de interceptar quatro importantes estruturas mineralizadas: Estrutura Palmeiras e Estruturas III, IV e V, sendo que a última não será abordada neste trabalho.

Foram descritos aspectos mineralógicos e estruturais com o intuito de determinar e caracterizar as principais unidades litológicas e as suas zonas mineralizadas, bem como as zonas de alterações hidrotermais associadas.

Concomitantemente à descrição do testemunho de sondagem realizou-se a amostragem sistemática deste, onde foram coletadas amostras de em média 15cm de comprimento em intervalos de 2 em 2 metros ao longo do testemunho.

A segunda etapa de campo ocorreu no período entre 26 a 31 de agosto de 2018, também nas instalações da Mineração Serra Grande. Nesta etapa realizou-se o adensamento da amostragem nos intervalos das estruturas mineralizadas, onde foram coletadas amostras a cada metro de profundidade dentro das estruturas. Também foram coletadas amostras no intervalo da Estrutura III do furo MN3EUD0033 que intercepta a Mina III para melhor detalhamento da estrutura, tendo em vista que a estrutura não estava mineralizada no furo CPIVESD0031 (Figura II.1).

O trabalho de amostragem resultou em um total de 640 amostras. As amostras obtidas foram encaminhadas para o Laboratório de Petrofísica da Universidade de Brasília e, posteriormente, utilizadas para análises geoquímicas, petrofísicas, espectrais e petrográficas.

A nomenclatura das litologias utilizada neste trabalho corresponde à nomenclatura determinada pela Mineração Serra Grande Ltda. A tabela II.1 abaixo apresenta os nomes dos diferentes litotipos encontrados nos testemunhos de sondagem utilizados no presente estudo bem como as siglas utilizadas para referências

Tabela II.1: Nomenclatura das litologias citadas no presente trabalho e suas respectivas siglas.

Tabela II.2: Classificação das unidades litológicas do *greenstone belt* Crixás citadas no presente trabalho e suas respectivas siglas para abreviações.

Unidade	Classificação da Rocha	Sigla
Ultramáfica	Talco xisto	TX
Máfica	Metabasalto	MBA
Máfica Hidrotermalizada	Quartzo-clorita-carbonato-sericita xisto	CBCX
	Clorita granada xisto	CXV
	Dolomito	DOL
Sedimentar	Filito carbonoso	GXN
	Metagrauvaca	MG
Metagrauvaca Hidrotermalizada	Quartzo-clorita-sericita-granada xisto	GNCX
-	Veio de Quartzo	VQZ

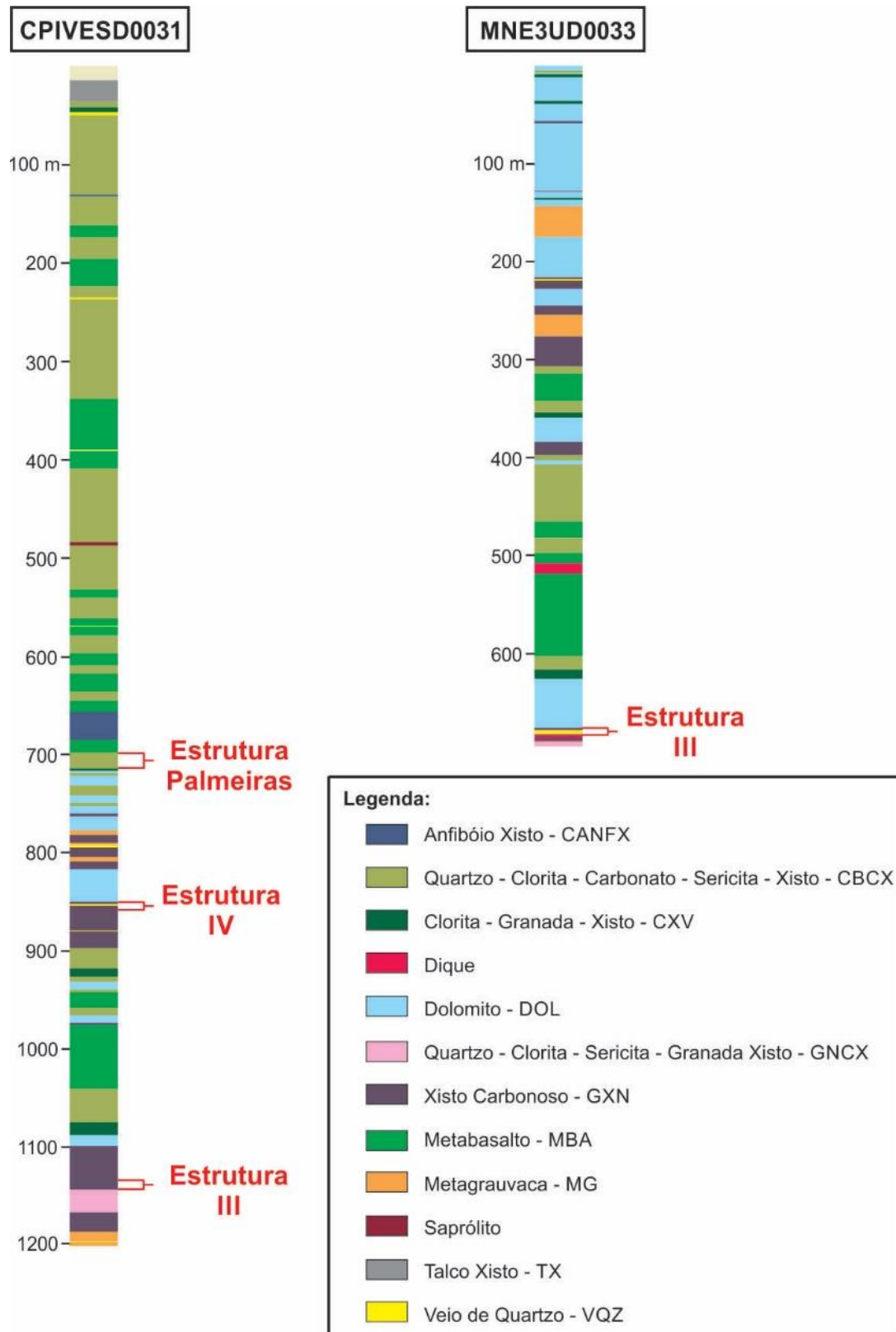


Figura II.1: Seções dos furos de sondagem utilizados para amostragem com as estruturas mineralizadas estudadas em destaque.

II.2 Petrografia

Esta etapa teve como objetivo reconhecer os protólitos das rochas hospedeiras da mineralização e identificar as texturas e assembleias metamórficas diagnósticas de eventos metamórficos regionais/ hidrotermais. Foram selecionadas 36 amostras para as descrições petrográficas (lâminas delgadas e polidas) abrangendo as diferentes litologias do testemunho de sondagem e as zonas mineralizadas.

Para complementar e detalhar o estudo petrográfico, foram realizadas análises de química mineral no laboratório de Microsonda Eletrônica do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília com o objetivo de determinar as composições mineralógicas e possíveis variações destas composições dentro das zonas mineralizadas.

II.3 Espectroscopia de Reflectância

A espectroscopia de reflectância é uma técnica muito conhecida e efetiva para a identificação da mineralogia de depósitos minerais, muito utilizada nas diferentes etapas da exploração mineral (Ducart *et al.* 2006; Harraden *et al.*, 2013). A análise espectral destes depósitos permite o melhor entendimento das zonas mineralizadas, auxiliando na determinação da distribuição espacial do minério. Nesta pesquisa este método será utilizado juntamente com petrografia e geoquímica para caracterizar a mineralogia e distribuição das zonas de alteração hidrotermal.

Ao interagir com os materiais terrestres, a luz pode ser absorvida em certos comprimentos de onda, transmitida ou refletida. Define-se espectroscopia como o estudo da radiação eletromagnética em função do comprimento de onda no qual ela foi emitida, refletida ou espalhada em sólidos, líquidos ou gases (Clark, 1999). Reflectância define-se como a razão entre a intensidade da luz refletida por um material e a intensidade da luz incidente (Van der Meer, 2004). Espectroscopia de reflectância é então denominada como uma técnica analítica na qual tem como função medir em diferentes comprimentos de onda a energia eletromagnética refletida por materiais e representa-la em forma de um gráfico, denominado espectro eletromagnético (Hunt 1977; Hunt & Ashley, 1979; Clark & Roush, 1984; Clark, 1999).

As reflectâncias espectrais ou emitâncias diagnósticas de cada tipo de rocha ou mineral em diferentes comprimentos de onda são respostas às diferenças nas composições químicas e estruturais dos materiais (Goetz *et al.*, 1983; Hunt, 1977; Hunt & Ashley, 1979; Van der Meer, 2004).

As técnicas de sensoriamento remoto são capazes de medir a radiação eletromagnética emitida ou refletida pelos materiais terrestres dentro do intervalo de comprimento de onda de 300 nm a 1m. A técnica de espectroscopia de reflectância é dominada no intervalo do visível ao infravermelho próximo, VNIR, que abrange os comprimentos de onda de 0,4 a 1 nm e infravermelho de ondas curtas, SWIR, que abrange o intervalo de 1,0 a 2,5 nm, dependendo da ausência ou presença de metais de transição (Hunt, 1977; Clark, 1999; Van der Meer, 2004). Trata-se, portanto, de uma técnica adequada para análises de argilas, filossilicatos, sulfatos e carbonatos devido às vibrações ativas das ligações interatômicas destes minerais na região do infravermelho (Ducart, 2004).

As feições presentes no intervalo do visível ao infravermelho próximo (VNIR) decorrem de processos eletrônicos. A região do infravermelho de ondas curtas (SWIR) é dominada por processos vibracionais moleculares que geram fortes feições. A região do infravermelho termal também é caracterizada por processos vibracionais que produzem feições fortes ou fracas (Agar & Coulter, 2007).

As feições de absorção são estabelecidas como respostas a processos eletrônicos e vibracionais associados a metais de transição como Fe, Ti e Cr nas estruturas cristalinas. Estes processos são responsáveis por determinar as posições das feições de absorção nos intervalos do visível ao infravermelho próximo (VNIR) e do infravermelho de ondas curtas (SWIR) respectivamente (Adams, 1974; Hunt, 1977; Clark, 1999).

A posição, forma, profundidade, dentre outros parâmetros espectrais das feições são controladas diretamente pela estrutura cristalina e composição química dos minerais (Van der Meer, 2004). A figura II.2 apresenta uma feição espectral com parâmetros espectrais obtidos por meio da curva polinomial que melhor representa o espectro de reflectância com o contínuo removido (Prado *et al.*, 2016).

A posição da feição de absorção é definida como o mínimo de reflectância da curva de absorção no comprimento de onda e a posição de uma feição de reflectância é definida como o máximo de reflectância da curva de absorção no comprimento de onda.

O fator de assimetria da feição é definido como a razão entre as áreas à direita e à esquerda do comprimento de onda de mínima reflectância (Van der Meer, 2004). Por meio do coeficiente angular de uma reta tangente é possível determinar a inclinação de uma determinada região do espectro.

Quando a feição de absorção não está presente no espectro analisado, o parâmetro de profundidade é considerado igual ou próximo a zero, indicando a ausência do mineral investigado (Prado *et al.*, 2016).

Os processos vibracionais relacionados a H₂O, OH⁻ e CO₃ responsáveis pelas feições de absorção no intervalo de do infravermelho de ondas curtas (SWIR), ocorrem devido a mudanças no estado estacionário de vibração nas ligações entre as moléculas. Vibrações adicionais de menores intensidades resultam em bandas de absorção que acompanham as vibrações fundamentais denominadas de *overtone* (sobreposição) e *combination tone* (combinação) e ocorrem no SWIR (Hunt, 1977; Clark, 1999).

As moléculas de água são responsáveis por gerar sobreposições como as observadas em minerais que apresentam água em suas estruturas cristalinas. A primeira sobreposição de hidroxila observada ocorre em 1.4 nm e a combinação entre as camadas de H-O-H com OH⁻ são marcadas no comprimento de onda 1.9 nm. A presença das duas feições em um mesmo espectro caracteriza a presença de água. A hidroxila geralmente é relacionada a átomos de Mg e Al e, comumente ocorre em diferentes sítios cristalinos em um mesmo mineral e conseqüentemente, ocorrem feições em diferentes comprimentos de onda (Hunt, 1977; Van der Meer, 2004). A tabela II.2 apresenta os principais comprimentos de onda das bandas de absorção observadas na região do SWIR.

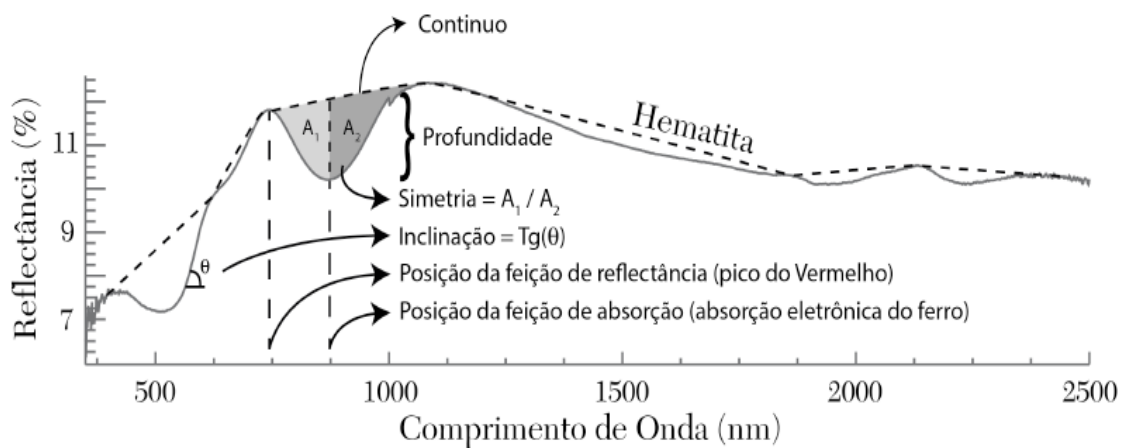


Figura II.2: Parâmetros espectrais analisados pela espectroscopia de reflectância (extraído de Prado *et al.*, 2016).

Tabela II.3: Principais bandas de absorção relacionadas à presença de íons ou moléculas em minerais (Retirado de Pontual *et al.*, 1997 in Ducart, 2004).

Íons/ Moléculas	Principais bandas de absorção (nm)
OH	~1.400 (também a ~1.550 e ~1.750- 1.850 em alguns minerais)
H ₂ O	~1.400 e ~1.900
Al- OH	~2.160 - 2.220
Fe- OH	~2.230 - 2.295
Mg-OH	~2300 – 2.360
CO ₃	~2.300 – 2.350 (e também a 1.870; 1990 e 2.155)

As feições espectrais apresentam dois componentes: o contínuo (o albedo total da curva de reflectância) e as feições individuais (Figura II.3) (Van der Meer, 2004). Efeitos causados nas feições de absorção devido a absorção espectral de diferentes materiais em superfícies multiminerálicas devem ser removidos. O contínuo aparente é definido como uma função matemática usada para que se possa analisar uma feição de absorção isoladamente. Ele representa a absorção de diferentes processos em um mineral específico ou a absorção de um mineral em uma superfície multiminerálica (Clark & Roush, 1984; Clark *et al.*, 2003). A remoção do contínuo é realizada com o objetivo de normalizar os espectros de reflectância para que sejam feitas comparações de feições de absorções individuais a partir de uma linha do contínuo comum (Ducart, 2004). Sua correção é baseada no cálculo de uma linha-base de geometria convexa e que toca o máximo número possível de pontos na curva espectral sem cruzá-la (Pontual *et al.*, 1997 *apud* Ducart, 2004). São conhecidos dois métodos para corrigir o contínuo sendo eles “quociente do contínuo” (*hull quotient*, *continuum removal* ou *continuum reflectance*) e “diferença do contínuo” (*hull difference*). O método por divisão (*hull quotient*) deve ser utilizado quando se está trabalhando com reflectância ou emitância o método por subtração (*hull difference*) quando se está trabalhando apenas com coeficientes de absorção (Clark & Roush, 1984).

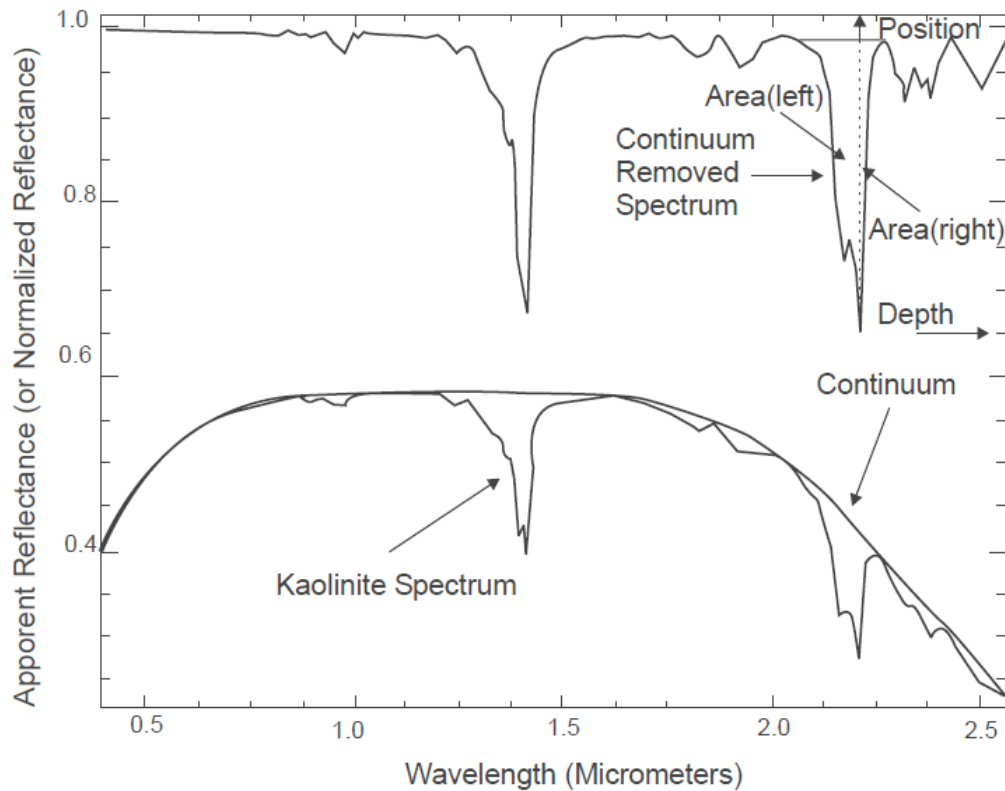


Figura II.3: Feições de absorção com o contínuo e com o contínuo removido (Van der Meer, 2004).

Para esta pesquisa a aquisição dos dados espectrais realizou-se utilizando o espectrorradiômetro de reflectância FieldSpec3HiRes® (ASD), onde os espectros são capturados a partir de uma sonda de contato composta por uma lâmpada de halogênio e com uma janela de aquisição de 1 cm de diâmetro (Figura II.4). Cada espectro salvo representa uma média de 50 espectros coletados em uma mesma área. No total foram realizadas cerca de 4236 medidas em 628 amostras.

O processamento e tratamento dos dados espectrais decorreu pelo software ‘‘The Spectral Geologis’’ TSG CoreTM, versão! 7.1.0.062. A análise dos parâmetros espectrais permite identificar e quantificar a mineralogia presente na rocha. A quantificação pode ser feita através da correlação dos dados espectrais com bibliotecas espectrais, que apresentam espectros de amostras com composição mineralógica conhecida.

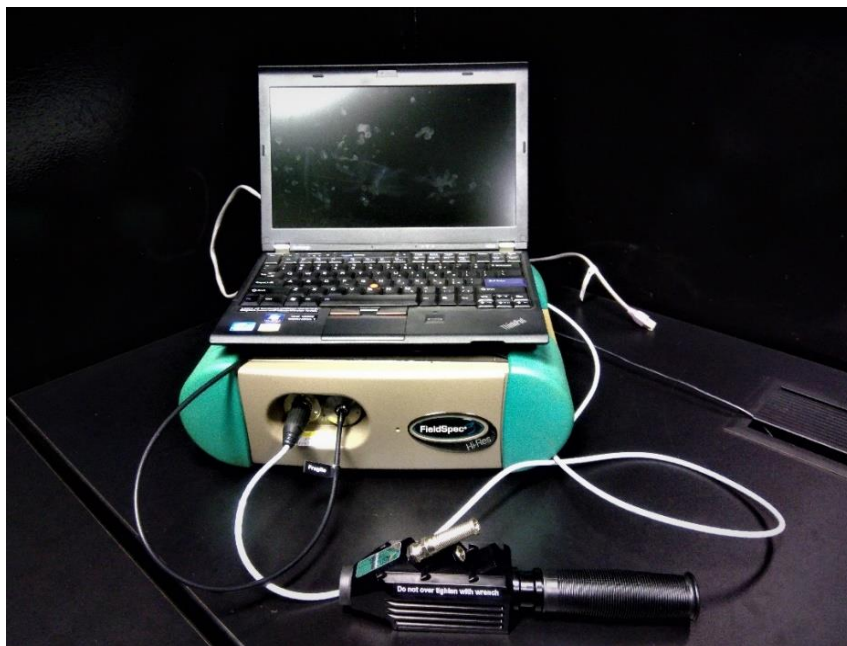


Figura II.4: Espectrorradiômetro FieldSpec3HiRes® (ASD) utilizado para a aquisição dos dados espectrorradiométricos.

II.4 Geoquímica

As dosagens geoquímicas foram realizadas no Laboratório Comercial de Geoquímica ALS Minerals, onde foram feitas análise de rocha total para a obtenção das dosagens de elementos maiores, menores e traços nas 640 amostras.

Para as dosagens dos elementos maiores foi utilizado o método ME-ICP06 (ICP – AES). Elementos traços, incluindo os elementos terras raras foram analisadas a partir de três digestões com finalização em ICP-AES ou ICP-MS, sendo: fusão de borato de lítio para os elementos resistivos (ME-MS81- ICP-MS), análise em forno de combustão para dosagens de C e S (ME-IROS), digestão de quatro ácidos para os metais de base (ME – 4ACD81) e uma solução em água régia para oligoelementos voláteis associados a ouro (ME-MS42 - *ALS Geochemistry*, 2017). A tabela II.3 abaixo indica quais elementos foram analisados e seus respectivos métodos.

As análises de ouro utilizadas neste trabalho foram cedidas pela Mineração Serra Grande Ltda.

Os dados geoquímicos foram tratados e processados utilizando o *software* Oasis Montaj (versão 8.5) da Geosoft Inc, extensão Target para a elaboração de perfis *strip logs*. Também foram realizados diagramas para estudos de balanço de massa e mobilidade de álcalis utilizando o programa Microsoft Excel.

Tabela II.4: Métodos utilizados para as dosagens geoquímicas e os seus respectivos elementos analisados.

ICP - AES	ICP - MS	ME-4ACD81	ME-MS42	ME-IROS
SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃ , CaO, MgO, TiO ₂ , Na ₂ O, K ₂ O, Cr ₂ O ₃ , MnO, SrO, P ₂ O ₅ , BaO	Ba, Ce, Cr, Cs, Dy, Er, Eu, Ga, Gd, Ge, Hf, Ho, La, Lu, Nb, Nd, Pr, Rb, Sm, Sn, Sr, Ta, Tb, Th, Tm, U, V, W, Y, Yb e Zr	Ag, Cd, Co, Cu, Li, Mo, Ni, Pb, Sc, Zn	As, Bi, Hg, In, Re, Sb, Se, Te, Tl	C e S

II.5 Propriedades Físicas das Rochas

O estudo das propriedades físicas das rochas e minerais é fundamental para interpretações e correlações geofísicas e geológicas. Diferentes assembleias mineralógicas, texturas e química nos diferentes tipos de rochas refletem em propriedades físicas distintas para cada tipo de material (Dentih & Mudge, 2014).

No presente projeto de pesquisa foram estudadas duas propriedades físicas: densidade e susceptibilidade magnética. O intuito foi caracterizar a assinatura petrofísica das rochas do *greenstone belt* de Crixás e integrá-las aos dados geoquímicos, petrográficos e espectrais para melhor caracterização e delimitação das zonas mineralizadas e zonas de alteração hidrotermal associadas.

A aquisição de dados de propriedades física de rocha (susceptibilidade magnética e densidade) foi realizada nos testemunhos de sondagem utilizando as instalações dos Laboratórios de Geofísica do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília.

O tratamento destes dados consistiu na geração de histogramas de distribuição para cada propriedade física nas diferentes litologias estudadas utilizando o programa Microsoft Excel. Também foi realizada a geração de perfis *strip logs* com o *software* Oasis Montaj (versão 8.5) da Geosoft Inc, extensão Target.

II.5.1 Densidade

A densidade dos materiais rochosos possui influência direta no campo gravimétrico da terra. Portanto, o entendimento do seu comportamento em rochas de diferentes ambientes geológicos e as causas para suas variações é fundamental para uma boa interpretação dos dados gravimétricos.

Assim como outras propriedades físicas, a densidade de uma rocha está diretamente relacionada com sua assembleia mineralógica constituinte e, conseqüentemente com sua composição química. O empacotamento dos componentes químicos nos retículos cristalinos dos minerais também interfere na densidade do material (Dentith & Mudge, 2014).

Grande parte dos minerais constituintes das rochas são compostos por elementos de massas relativamente leves como Al, Mg, Fe, Ca, K, Na, C, O e Si por exemplo. Destes, o Fe é o que apresenta maior densidade. Minerais das classes dos óxidos e sulfetos são compostos por elementos mais densos como Nn, Zi, Cu e Pb. Diferentemente de outras propriedades físicas, a densidade varia em um pequeno intervalo de ordem de magnitude, predominando densidades entre 2,5 a 3,5 g/cm³ para grande parte das rochas/minerais (Figura II.5) (Dentith & Mudge, 2014).

Para rochas não alteradas e/ou metamorfozadas, rochas félsicas tendem a ser menos densas que as rochas intermediárias, que se apresentam menos densas que as rochas máficas, sendo as rochas ultramáficas as mais densas. Isto deve-se ao fato de elementos mais pesados como Fe e Mg predominarem em suas composições enquanto que em rochas félsicas predominam elementos mais leves. Porosidade e presença de amígdalas e vesículas tendem a diminuir a densidade das rochas. Rochas sedimentares por exemplo se mostram significativamente menos densas que outros litotipos devido à grande influência da porosidade (Dentith & Mudge, 2014).

Processos geológicos secundários como metamorfismo e hidrotermalismo são responsáveis por mudanças composicionais e estruturais nas rochas e, conseqüentemente, a densidade também sofre alterações após esses processos. Rochas metamórficas comumente apresentam densidades maiores quando comparadas aos seus protólitos, visto que o metamorfismo além de gerar uma mudança composicional tende a aumentar o empacotamento dos átomos, reduzindo assim a porosidade da rocha. Minerais metamórficos como granada por exemplo costumam ser mais pesados, corroborando para o aumento da densidade posteriormente ao metamorfismo (Dentith & Mudge, 2014).

A variação da densidade das rochas em sistemas mineralizados é relativamente complexa. Minerais comuns da ganga como quartzo e carbonato apresentam densidades baixas, enquanto óxidos e sulfetos, que estão comumente associados às mineralizações mostram densidade elevada. De maneira geral, a resposta gravimétrica de uma zona mineralizada vai corresponder a todo o pacote de ganga e mineralização e, geralmente, os minerais mais densos

tendem a dominar, fazendo com que a assembleia mineralógica se apresente mais densa quando comparada às rochas hospedeiras. (Dentith & Mudge, 2014).

Processos hidrotermais podem gerar anomalias gravimétricas positivas ou negativas. Isto se dá devido ao fato de que o produto da alteração hidrotermal em minerais instáveis como sulfetos e feldspatos por exemplo tendem a diminuir a densidade, enquanto processos de propilitização por exemplo tendem a aumentar a densidade da zona hidrotermalizada (Dentith & Mudge, 2014).

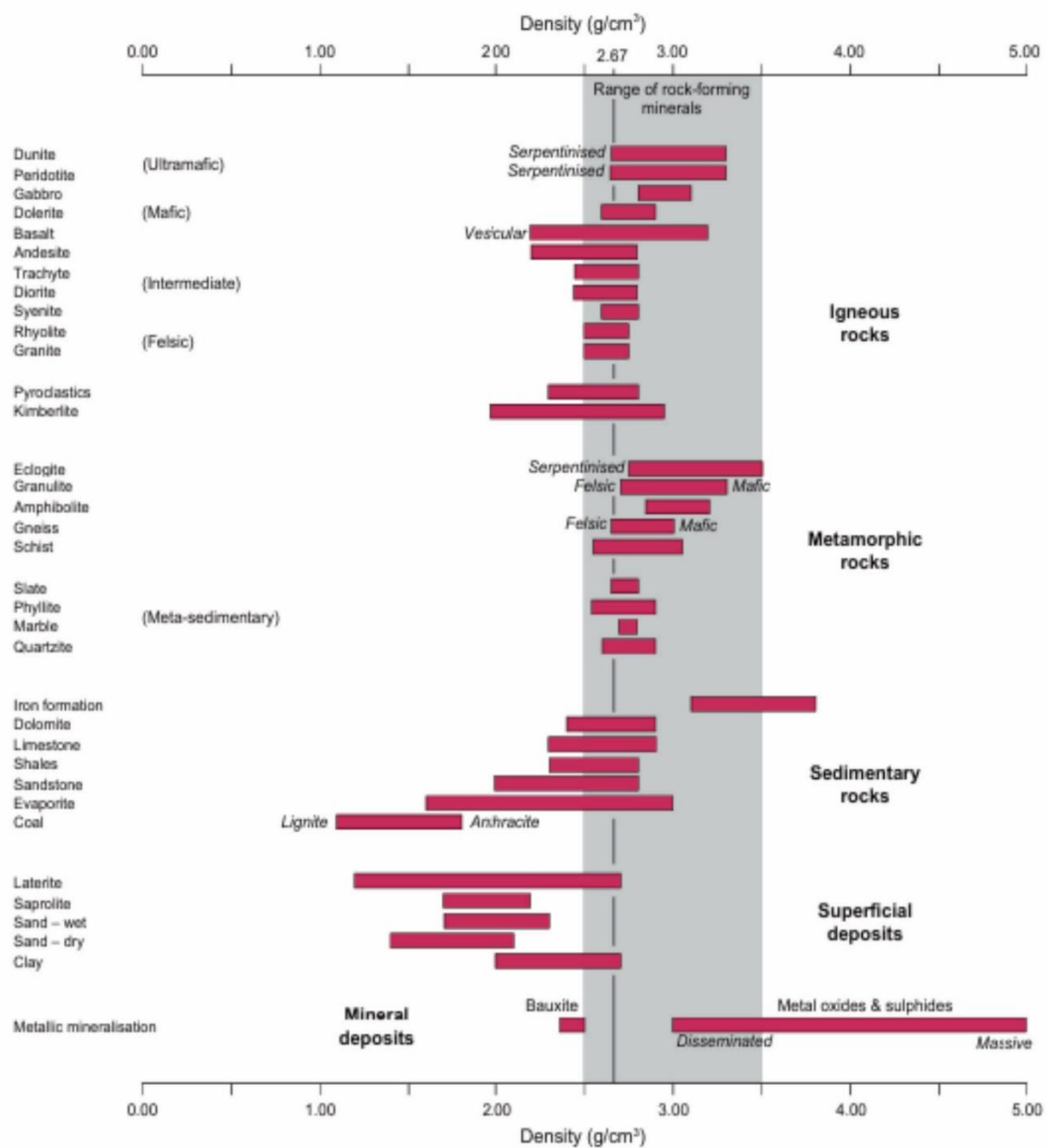


Figura II.5: Dados de densidade para diferentes tipos de rocha baseados nos trabalhos de Emerson (1990), Scorn (1996) e Wolemberg (1982) in Dentith & Mudget & 2014.

Para o estudo de densidade das rochas do *greenstone belt* de Crixás, as amostras foram pesadas utilizando a balança de pesagem industrial IND560 (Figura II.7). A balança apresenta uma precisão de três casas decimais com uma margem de erro de 0,001 kg. Junto à balança, existe uma base acoplável utilizada para medidas de massa em imersão em algum líquido. Neste projeto utilizou-se a água como líquido para tais medidas. Foram coletadas medidas para 629 amostras no total, visto que as 11 amostras da parte superior do furo correspondem à material friável e solo.

As densidades foram calculadas com base no no Princípio de Arquimedes, no qual determina que a densidade de um sólido (D_s) corresponde à razão entre massa do sólido seco (M_{ss}) e a diferença entre a massa do sólido seco (M_{ss}) e do sólido molhado (M_{si}), multiplicado pela densidade do líquido utilizado para as medidas (D_l), como representado na fórmula abaixo:

$$D_s = (M_{ss}/M_{ss}-M_{si}). D_l$$

II.5.2 Susceptibilidade Magnética

Anomalias magnéticas podem ser utilizadas como guias para o mapeamento de rochas, metamorfismo e alteração hidrotermal em diferentes sistemas, além de auxiliar na identificação de estruturas controladoras de fluidos magmáticos e hidrotermais associados a mineralizações. Ao contrário de outras propriedades físicas, anomalias magnéticas podem ser identificadas em diferentes níveis de profundidade, tornando-a, portanto, uma importante ferramenta para a elaboração de modelos geológicos 3D.

Segundo Hunt (1995), susceptibilidade magnética pode ser definida como a medida da resposta magnética de um material a um campo magnético externo. O magnetismo de uma rocha depende das propriedades magnéticas dos seus respectivos minerais constituintes e o seu principal controle é presença ou ausência de Fe nas estruturas cristalinas. Minerais com muito Fe apresentam elevados valores de susceptibilidade magnética (Dentith & Mudge, 2014).

A susceptibilidade magnética nas rochas ocorre em função da quantidade, forma e tamanho dos minerais magnéticos, além do modo de distribuição destes minerais na rocha (Hunt *et al.*, 1995; Dentith & Mudge, 2014).

A figura II.6 abaixo apresenta uma tabela com os principais valores de susceptibilidade magnética para diferentes tipos de rochas. Pode-se observar que diferentemente da densidade,

a susceptibilidade magnética apresenta um intervalo de ordem de magnitude relativamente grande para cada tipo de rocha.

Os materiais terrestres podem ser categorizados em relação às suas características magnéticas como diamagnético, paramagnético, ferromagnético ou antiferromagnético. Os minerais diamagnéticos (eg. Quartzo, calcita, feldspato, grafita e argilas) são caracterizados por susceptibilidades magnéticas negativas e não apresentam magnetismo remanescente. Os minerais paramagnéticos (eg. Olivina, piroxênio, mica, granada, anfibólio, calcopirita, pirita e arsenopirita) apresentam susceptibilidade magnética fraca, relacionada com a presença de Fe e Mn em suas estruturas e podem apresentar magnetismo remanescente. As maiores respostas magnéticas estão associadas aos minerais ferromagnéticos, que são representados principalmente por magnetita, pirrotita monoclinica e ilmenita. Minerais antiferromagnéticos possuem baixa susceptibilidade magnética como os paramagnéticos, porém não apresentam magnetismo remanescente. A hematita é o principal exemplo deste grupo (Clark, 1997; Dentith & Mudge, 2014).

A magnetização dos minerais é fortemente alterada por processos secundários, que são responsáveis por mudanças físico-químicas nos ambientes geológicos e mudanças químicas nos minerais. De maneira geral, o aumento do grau metamórfico torna o ambiente mais redutor, o que explica o fato de magnetita e ilmenita serem os principais minerais da classe dos óxidos de Fe-Ti presentes em rochas metamórficas. Mudanças texturais nas rochas, controladoras do tamanho e formato dos grãos magnéticos também são responsáveis por gerar mudanças na magnetização dos minerais (Clark, 1997; Dentith & Mudge, 2014).

Processos hidrotermais também motivadores de mudanças físico-químicas. Quando se tem um grande volume de interação entre fluido/rocha, as reações tendem a mudar o estado de oxirredução das rochas, produzindo grandes mudanças nas propriedades magnéticas devido à geração ou destruição de minerais ferromagnéticos (Clark, 1997; Dentith & Mudge, 2014).

Anomalias magnéticas associadas às mineralizações, zonas de alteração hidrotermal e rochas hospedeiras são muito estudadas no ramo da exploração mineral. Nota-se que assinaturas magnéticas de depósitos minerais similares podem se apresentar de maneiras distintas em função dos diferentes contextos geológicos. É válido ressaltar também que as assinaturas magnéticas de zonas mineralizadas nem sempre estão associadas a fortes fontes magnéticas, mas podem ser marcadas por zonas anômalas de baixa magnetização. Por isso, é de suma

importância o entendimento do comportamento magnéticos das rochas em um sistema mineralizante.

Para o presente trabalho, as medidas de susceptibilidade magnética das amostras dos testemunhos de sondagem estudados foram realizadas utilizando o susceptibilímetro portátil da Terra Plus modelo KT-10 (Figura II.7). O aparelho quando em contato com a amostra captura



Figura II.6: Valores de susceptibilidade magnética para diferentes tipos de rocha (Clark, 1997 in Dentith & Mudget, 2014).

a susceptibilidade magnética e faz as medidas em unidades do SI. Foram realizadas medições nas 640 amostras, onde em cada ponto de coleta foram realizadas pelo menos 3 medidas distintas para a obtenção de resultados mais precisos, calculando-se a média.



Figura II.7: À direita: Balança de pesagem industrial utilizadas para pesagem das amostras. À esquerda: Susceptibilímetro portátil KT-10 utilizado para a obtenção dos dados de susceptibilidade magnética.

Capítulo III – Artigo Científico: *The Hydrothermal Footprint of Crixas Orogenic Gold Deposit, Central Brazil*

***THE HYDROTHERMAL FOOTPRINT OF CRIXAS OROGENIC GOLD
DEPOSIT, CENTRAL BRAZIL***

Luana Machado Campos¹, Catarina Labouré Benfica Toledo¹, Adalene Moreira Silva¹, Diego
Fernando Ducart²

¹Universidade de Brasília (UnB)

²Universidade de Campinas (UNICAMP)

Abstract

The Crixás greenstone belt constituted one of the five volcanosedimentary sequences of the Archaean-Paleoproterozoic terrain of Goiás, central Brazil, which is a region recognized for its economic potential associated with different mineral deposits. The main gold deposits of the terrain occur in the Crixás greenstone belt, which constitute several orebodies where the mineralization is controlled preferentially by structures defined by low to moderate thrust faults with associated zones of hydrothermal alteration. The present study aims to integrate data from the mineral mapping performed by reflectance spectroscopy and petrography, geochemistry and the study of physical properties of rocks to characterize the mineralized structures of the Crixás greenstone belt and their respective hydrothermal alteration. The research focuses on three structures that control the mineralization: Palmeiras Structure, Structure III and Structure IV. In the Palmeiras Structure the mineralization is associated with veins of quartz hosted in hydrothermalized metabasalt. The distal halo of the hydrothermal alteration of the Palmeiras Structure is defined by chloritization, biotitization ± carbonation represented by a hydrothermal assembly composed of Fe-Mg chlorite + biotite + ankerite ± epidote. The intermediate halo is defined by the processes of epidotization, carbonation ± chloritization, indicated by an assembly composed of epidote + ankerite + Fe-Mg chlorite ± biotite. The proximal halo is dominated by the sericitization ± chloritization, with a hydrothermal assembly composed of muscovite + Fe-Mg chlorite + magnetite ± paragonite ± tourmaline. The presence of magnetite in the Palmeiras Structure resulted in significant magnetic anomalies in the Palmeiras Structure zone, with values of magnetic susceptibility up to 1432×10^3 SI. The study of the chemical mobility in the Palmeiras Structure emphasizes the enrichment of certain elements in the zones of hydrothermal alteration as K₂O, Al₂O₃, Na₂O, Fe₂O₃, TiO₂, BaO, Rb, Cs, Li, Cd, U, W, V, Ta, Th and Zr. Hence the importance of the identification of a mineralized zone hosted in the

hydrothermalized metabasalt level that does not correspond to the Palmeiras Structure, where it was observed enrichment in As, Tl, Ag, W, Sb, Se and Tl. Structure IV is hosted in the carbonaceous schist unit and the mineralization is a disseminated ore type, where gold occurs associated with sulfides such as arsenopyrite and pyrrhotite, free on the gangue or in a vein of quartz. The distal alteration halo is marked by the sericitization \pm chloritization, less penetrative in the rock, represented by the increase in the muscovite and chlorite proportions in the mineralogical assembly. The intermediate halo is dominated by the process of carbonation \pm silicification \pm sericitization, defined by an assembly composed of quartz + ankerite + muscovite + carbonaceous material \pm pyrrhotite \pm chalcopyrite. The proximal halo is defined by the process of silicification, albitization \pm carbonation, and is represented by a hydrothermal assembly composed of quartz + oligoclase + tourmaline \pm carbonate \pm tourmaline \pm biotite \pm apatite \pm arsenopyrite \pm pyrrhotite. The geochemistry evidenced gains in SiO₂, CaO, Na₂O, K₂O, P₂O, BaO in the alteration halos of Structure IV, besides the gain of pathfinder elements like As, W, Sb, Re, Te, Mo and Bi. Structure III is represented by a discontinuous auriferous quartz vein hosted in the carbonaceous phyllite, where gold occurs preferably freely in the vein. The distal halo of Structure III is defined by the process of chloritization represented by an assembly composed of chlorite + quartz + plagioclase + carbonaceous material \pm biotite \pm zoizite, associated to the sulfide zones, defined by pyrrhotite and chalcopyrite. The intermediate halo is represented by the process of carbonation \pm silicification defined by an assembly composed of ankerite + quartz \pm carbonaceous material \pm pyrrhotite \pm zoizite. The proximal halo is highlighted by the silicification process \pm carbonation, with an assembly similar to the previous halo, but with higher concentrations of quartz and depleted in carbonate material, plagioclase, biotite and zoizite. The geochemical data show the enrichment of CaO, SiO, Fe₂O and MgO within the hydrothermal alteration halos, as well as pathfinder elements such as As, Hg, Sb, Se, Re, Te, Tl and W. The chemical and mineralogical characterization of the hydrothermal alteration zones associated with the mineralizing structures was effective and essential for the delineation of the structures and definition of exploration targets that aid in the.

KEYWORDS: HYDROTHERMAL ALTERATION, GOLD MINERALIZATION, GREENSTONE BELT, REFLECTANCE SPECTROSCOPY,, PETROPHYSICS, GEOCHEMISTRY

III.1 Introdução

Depósitos auríferos orogênicos são importantes alvos exploratórios nos cinturões orogênicos pré-cambrianos e fanerozoicos. São definidos como depósitos epigenéticos caracterizados pelo forte controle estrutural e resultam da percolação de fluidos hidrotermais em orógenos acrescionários durante o período de deformação transpressiva (Goldfarb *et al.*, 2005). O fluxo de fluidos hidrotermais mineralizados promove mudanças mineralógicas e geoquímicas anômalas e sistemáticas na rocha hospedeira circundante, fazendo com que as zonas mineralizadas sejam envolvidas por halos de alteração hidrotermal com características mineralógicas e químicas específicas (Eilu *et al.*, 2001). A extensão e a magnitude dos halos de alteração da rocha encaixante dependem do estado de deformação, da porosidade, da permeabilidade e do grau de reatividade química da rocha hospedeira (Goldfarb & Miller 1997). Esses padrões de alteração podem gerar alvos significativos na exploração de ouro em escala regional, distrital e local (Kishida & Kerrich, 1987).

O *footprint* geoquímico de um depósito representa os efeitos geoquímicos dos processos hidrotermais mineralizantes que ocorrem desde as porções mais distais até a zona mineralizada. (Hamisi 2016). O *footprint* hidrotermal pode, em alguns casos, ser mapeado por várias centenas de metros além da porção economicamente viável do depósito por meio de alguns elementos *pathfinders*. O halo geoquímico associado a depósitos auríferos orogênicos pode ser definido por um grau variável de enriquecimento em álcalis e outros elementos *pathfinders* incluindo As, Hg, Mo, Sb, Se, Te, Ag e W. O halo mineralógico envolve a substituição da assembleia mineral metamórfica por minerais hidrotermais associados a processos como sulfetação, carbonatação, sericitização e cloritização (Christie & Brathwaite 2003).

O *footprint* hidrotermal de um depósito pode ser definido a partir da integração de diversos métodos. A utilização de técnicas analíticas espectrais dentro da exploração mineral tem se tornando cada vez mais recorrente, visto que são ferramentas eficientes para o mapeamento mineral, que definem parâmetros quantitativos e qualitativos como abundância, composição e grau de cristalinidade dos minerais presentes nas rochas, auxiliando assim na delimitação e caracterização de zonas mineralizadas e seus respectivos halos de alteração hidrotermal. A utilização de espectroscopia de refletância tem sido utilizada com sucesso na identificação do *footprint* hidrotermal em depósitos de ouro hospedados em terrenos metamorfizados e em diversos outros tipos de depósitos com alterações hidrotermais associadas ((Ducart *et al.*, 2006; Harraden *et al.*, 2013; Duuring *et al.*, 2016; Simpson & Christie, 2019).

O estudo das propriedades físicas das rochas também é fundamental para a determinação do *footprint* de um depósito, tendo em vista que a petrofísica faz a correlação entre os dados geológicos e geofísicos, uma vez que as respostas geofísicas terrestres variam de acordo com as propriedades físicas das rochas, que estão diretamente relacionadas às suas composições químicas, mineralógicas e texturais. Processos mineralizantes geram alterações nas rochas hospedeiras que podem produzir anomalias geofísicas que auxiliam na delimitação e caracterização das zonas mineralizadas (Chopping & van der Wielem, 2011; Dentih & Mudge, 2014).

Quando bem caracterizado, o *footprint* hidrotermal de depósitos de ouro determina vetores de exploração importantes para a identificação de novos depósitos de alto teor em terrenos mineralizados maduros. Portanto, a determinação do footprint mineralógico e geoquímico e dos vetores exploratórios é extremamente relevante na exploração de depósitos orogênicos (Eilu and Milucki, 1998; Large *et al.*, 2000).

Nesta pesquisa apresentamos a caracterização do *footprint* geoquímico e mineralógico das zonas de alteração hidrotermal associadas à três estruturas mineralizadas no *greenshale belt* Crixás a partir da integração de dados mineralógicos, espectrais, geoquímicos e de propriedades físicas de rocha.

III.2 Contexto Geológico Regional

A Província Tocantins (Almeida *et al.*, 1981) localiza-se na porção central do Brasil e é definida como um sistema orogênico Neoproterozóico (Brasiliano – Panafricano) derivado da convergência de três grandes blocos continentais: os Crátons Amazônico, São Francisco-Congo e Paranapanema, sendo este recoberto atualmente por sedimentos da Bacia do Paraná. A Província Tocantins engloba três faixas de dobramento denominadas Faixas Araguaia e Paraguai, bordejando as porções leste e sul do Cráton Amazônico respectivamente e a Faixa Brasília localizada a oeste do Cráton São Francisco (Figura III.1) (Fuck *et al.*, 2014).

A Faixa Brasília consiste em um cinturão orogênico Neoproterozóico localizado na porção central da Província Tocantins (Figura III.1). A faixa possui um segmento norte com orientação para NNE e o segmento sul com direção predominantemente NNW. A separação entre os segmentos é estabelecida pela Sintaxe dos Pirineus, que marca a mudança das direções estruturais (Araújo Filho, 2000). A faixa é subdividida em Zona Interna e Zona Externa (Fuck *et al.*, 1994).

A Zona Externa é constituída por metassedimentos de margem continental passiva (grupos Bambuí, Paranoá e Canastra) metamorfizados em baixo grau, estruturadas em um sistema de empurrões e dobramentos com vergência em direção ao Cráton São Francisco. Na porção norte da Zona Externa ocorre um embasamento Paleoproterozóico composto por uma associação de granitos e ortognaisses e sequências sedimentares representadas pelos grupos Araí e Natividade (Pimentel *et al.*, 2004; Valeriano *et al.*, 2008).

A Zona Interna inclui os seguintes segmentos: (1) o núcleo metamórfico do orógeno, representado pelo Complexo Anápolis-Itaçu (Piuzana *et al.*, 2003) e Complexo Uruaçu (Della Giustina *et al.*, 2009), além de rochas metassedimentares do Grupo Araxá (Seer *et al.*, 2001) e fragmentos de sequências ofiolíticas; (2) o Maciço do Goiás, composto pelo Terreno Arqueano-Paleoproterozóico de Goiás (Jost *et al.*, 2013), pela sequência metassedimentar Paleoproterozóica do Grupo Serra da Mesa e por complexos máfico-ultramáficos acamadados e sequências metavulcanossedimentares associadas (Ferreira Filho *et al.*, 1992; Ferreira Filho *et al.*, 1994); e (3) o Arco Magmático do Goiás, de idade neoproterozóica, constituído por sequências metavulcanossedimentares e ortognaisses que representam uma vasta área de crosta juvenil e continental gerada entre 900 e 630 Ma (Pimentel & Fuck, 1992).

III.2.1 O Terreno Arqueano-Paleoproterozóico do Goiás

O Terreno Arqueano-Paleoproterozóico do Goiás, localizado na porção centro-oeste do Estado do Goiás, estende-se por cerca de 18.000 km² e é constituído por uma associação de complexos granito-gnáissicos TTGs (tonalito, trondhjemitó e granodiorito) e faixas greenstone belts (Figura X).

O posicionamento deste terreno dentro da evolução da Faixa Brasília vem sendo discutido por diversos autores. Inicialmente ele foi interpretado como um fragmento crustal arqueano-paleoproterozóico alóctone, que foi amalgamado na Faixa Brasília durante o Ciclo Brasileiro (Pimentel *et al.*, 2000; Jost *et al.*, 2013). Entretanto, estudos recentes sugerem que este terreno e demais domínios que constituem o Maciço de Goiás fazem parte de uma massa continental contínua do paleocontinente São Francisco-Congo que já estava amalgamada desde o final do Paleoproterozóico (Coedeiro & Oliveira, 2017).

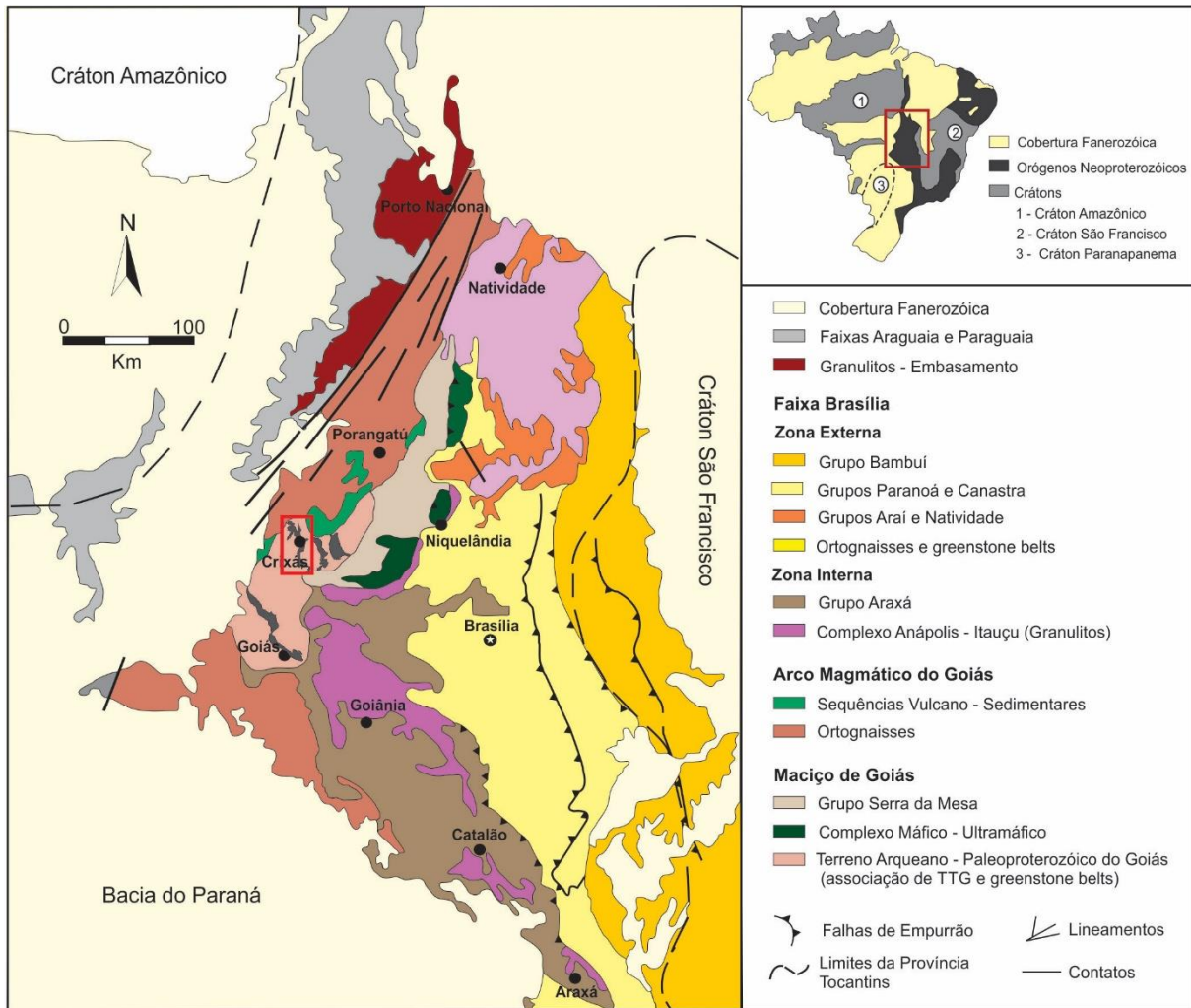


Figura III.1: Mapa simplificado da Faixa Brasília com a compartimentação das principais unidades geológicas (Modificado de Pimentel *et al.*, 2004).

III.2.1.1 Blocos TTG

Os complexos TTG's compreendem cerca de 80% do Terreno Arqueano-Paleoproterozóico de Goiás e constituem seis blocos ortognáissicos, tonalíticos, granodioríticos e subordinadamente graníticos, que se diferem no arranjo estrutural, associações litológicas e idades. Na porção norte ocorrem os Complexos Anta, Caiamar, Moquém e Hidrolina e ao sul localizam-se os complexos Caiçara e Uvá (Figura III.2.A).

Foram estabelecidos dois estágios de granitogênese para os complexos do norte (Queiroz *et al.*, 2008). O primeiro estágio está registrado nos batólitos de composições tonalíticas, graníticas e granodioríticas dos complexos Hidrolina, Caiamar e Anta. É caracterizado pela assinatura juvenil de Nd e apresenta idade U-Pb SHRIMP entre 2845 a 2785

Ma e valores ϵ_{Nd} entre -1.0 e +2.41. Índícios de contaminação do magma por crosta siálica de até 3.3 Ga foram inferidos a partir de dados isotópicos de Sm-Nd de 3.0 Ga (T_{DM}) e idades de xenocristais de zircão entre 3.3 e 3.15 Ga. O segundo estágio ocorre no Complexo Moqué, definido por corpos tabulares foliados de granodioritos e granitos com idades de cristalização em zircão de U-Pb entre 2711 e 2707 Ma. (Queiroz *et al.*, 2008).

Na porção sul, o Complexo Caiçara é composto predominantemente por ortognaisses tonalíticos com idade de cristalização U-Pb em zircão de 3,14 Ga e idade-modelo Sm-Nd mínima de 3,1 Ga (Beghelli Junior, 2012). Jost *et al.*, (2005, 2013) definiram dois grupos de ortognaisses no Complexo Uvã, sendo o predominante constituído por batólitos polideformados de composições tonalíticas e granodiotíricas e um stock de diorito. Datações de U-Pb em zircão dos tonalitos resultaram em idades entre 3040 e 2930 Ma, enquanto a datação de U-Pb em zircão do diorito apresentou idade de 2934 ± 5 (Pimental *et al.*, 2003; Jost *et al.*, 2013). O segundo grupo é composto por corpos menores, tabulares e isotrópicos de tonalitos e monzogranitos e possui idades de cristalização U-Pb em zircão entre 2764 e 2846 Ma (Jost *et al.*, 2005, 2013).

III.2.1.2 Faixas *Greenstone Belts*

As sequências supracrustais do Terreno Arqueano-Paleoproterozóico do Goiás compreendem cerca de 20% do Terreno Arqueano-Paleoproterozóico de Goiás e são representadas por cinco sequências vulcano-sedimentares dispostas como faixas estreitas e alongadas posicionadas entre os complexos granito-gnaissicos (Danni & Ribeiro, 1978 e Sabóia, 1979). Na porção norte localizam-se os *greenstone belts* Crixás, Guarinos e Pilar de Goiás com orientações aproximadamente para NS (Figura III.2.A). Os *greenstone belts* Faina e Serra de Santa Rita ocorrem na porção sul do terreno com orientação N60°W e são justapostos por uma falha direcional dextral com direção N30°E (Figura III.2.A). A estratigrafia dos cinco *greenstone belts* é caracterizada por seções inferiores constituídas por rochas metavulcânicas de composição komatiítica e toleítica e seções superiores compostas por sequências metassedimentares distintas em cada um dos *greenstone belts*. A região apresenta registros de deformação policíclica e metamorfismo variando de fácies xisto verde a anfíbolito e destaca-se pela sua relevância econômica devido a ocorrência de importantes depósitos minerais (Jost *et al.*, 2014).

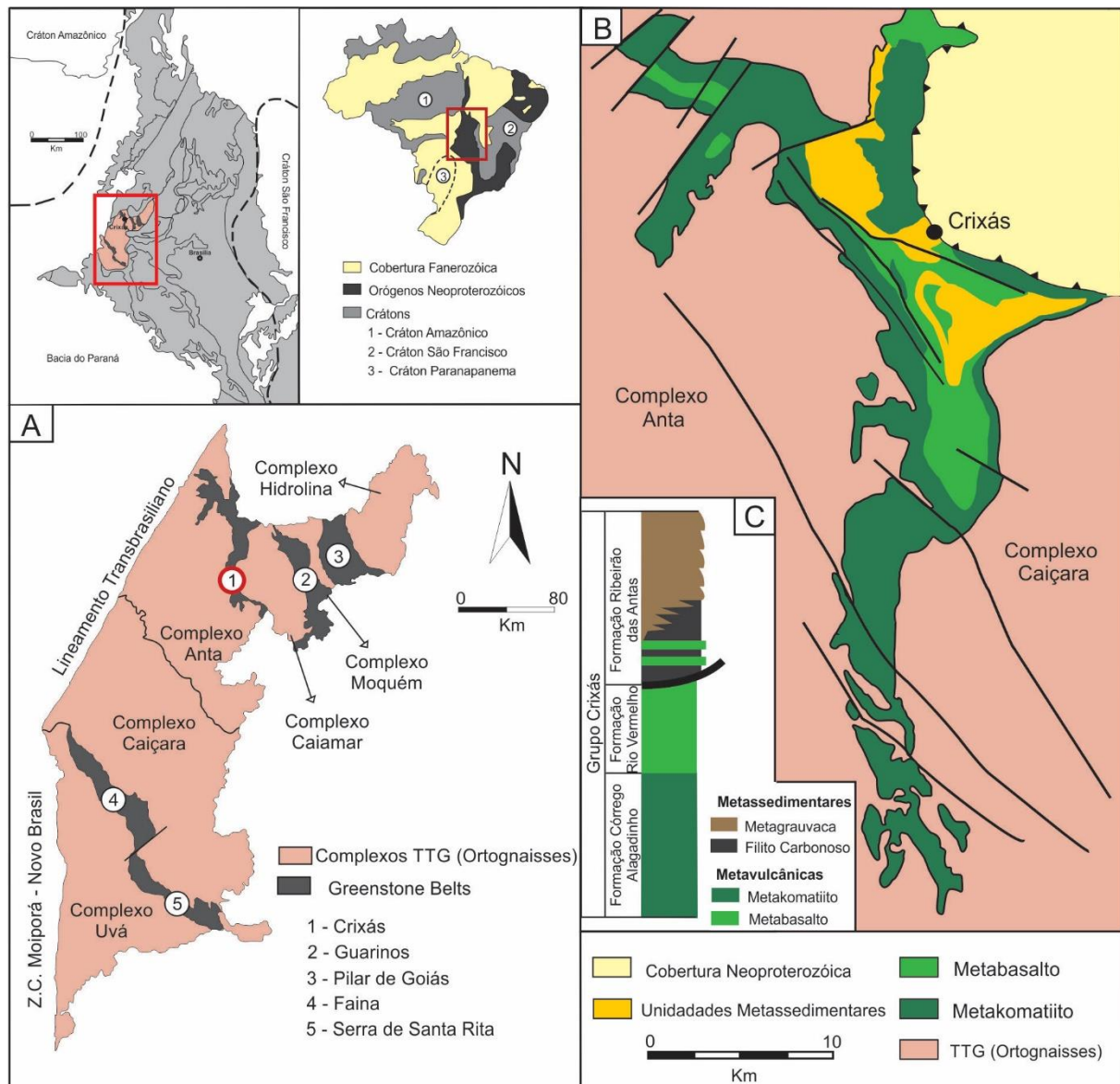


Figura III.2: Terreno Arqueano - Paleoproterozóico do Goiás com o greenstone belt Crixás em destaque (modificado de Jost et al., 2014). B) Mapa geológico do greenstone belt Crixás (modificado de Jost et al., 2014). C) Coluna estratigráfica do greenstone belt Crixás.

III.2.1.2.1 O *Greenstone Belt* Crixás

Localizado na porção norte do Bloco Arqueano-Paleoproterozóico do Goiás, o *greenstone belt* Crixás (Sabóia, 1979) possui certa de 6 km de largura e aproximadamente 45 km de comprimento. Limita-se a sul e leste pelo Complexo Caiamar, a oeste pelo Complexo Anta e a norte pelas rochas metassedimentares neoproterozóicas da Sequência Santa Terezinha, pertencente ao Arco de Mara Rosa (Figura III.2.B).

Estratigrafia

A sequência estratigráfica do *greenstone belt* Crixás, definida pelo Grupo Crixás, caracteriza-se por uma base de rochas vulcânicas ultramáficas constituída por metakomatiitos, denominada de Formação Córrego Alagadinho, sobreposta pela Formação Rio Vermelho, composta por metabasaltos toleíticos (Figura III.2.C). O topo da sequência é marcado pela Formação Ribeirão das Antas, uma sequência de rochas metassedimentares composta por pelitos carbonosos, dolomitos e grauvacas (Sabóia, 1979; Sabóia & Teixeira, 1980 e Jost & Oliveira, 1991). Além de eventos metamórficos as unidades foram submetidas a eventos hidrotermais responsáveis por gerar classificações de rochas distintas a partir de um mesmo protólito. Tal fato observa-se principalmente no pacote vulcânico máfico, que apresenta diferentes produtos hidrotermais do metabasalto.

A Formação Córrego Alagadinho possui em média 500 m de espessura e é predominantemente constituída por metakomatiitos e xistos ultramáficos. Subordinadamente podem ocorrer intrusões peridotíticas a piroxeníticas. As rochas são representadas por xistos compostos por minerais de alteração como serpentina, talco, clorita, carbonato e anfibólios (predominantemente actinolita). Devido à heterogeneidade da deformação e do metamorfismo, em zonas de *low strain* ocorrem komatiitos com textura ígnea preservada e granulação fina. Localmente observam-se texturas primárias preservadas como cumulos de olivina, disjunções poliedrais e texturas spinifex (Sabóia, 1979; Sabóia *et al.*, 1979; Sabóia & Teixeira, 198 e Kuyumjian, 1981). Quimicamente estes komatiitos são empobrecidos em Al e são interpretados como produtos de um manto depletado em LREE e HREE, devido à retenção de granada no seu resíduo (Kuyumjian & Jost, 2006).

A Formação Rio Vermelho possui aproximadamente 300 m de espessura e é representada por metabasaltos toleíticos e xistos máficos. Caracteriza-se por xistos compostos por Fe-actinolita ou Fe-tshermakita, albita ou oliglocásio, titanita, clorita, clinozoizita, quartzo e subordinadamente pirita e magnetita. Assim como os metakomatiitos, localmente estas rochas se mostram preservadas e apresentam texturas e estruturas primárias preservadas como pillow lavas, varíolas e vesículas. Eventualmente podem ocorrer formações ferríferas ou manganésíferas e metacherts intercalados com os intervalos vulcânicos (Sabóia, 1979; Sabóia *et al.*, 1979; Sabóia & Teixeira, 1980 e Kuyumjian, 1981).

A Formação Ribeirão das Antas possui espessura de até 700 m e é definida pela ocorrência de filitos carbonosos com intercalações de mármores dolomíticos, oólitos maciços ou brechado e eventualmente basaltos. No topo da sequência predomina um espesso pacote de metagrauvacas com intercalações de filitos carbonosos, compondo uma típica sequência turbidítica (Theodoro, 1995; Jost *et al.*, 1996).

Deformação e Metamorfismo

O *greenstone belt* Crixás apresenta uma história tectono-deformacional complexa e heterogênea, envolvendo quatro eventos deformacionais principais (Magalhães, 1991; Queiroz, 1995 e Massucatu, 2004). Massucatu (2004) definiu quatro eventos deformacionais epidérmicos compressivos (D1, D2, D3 e D4) para o *greenstone*, onde os eventos D1 e D2 estabeleceram influência direta na geração da mineralização. O evento D1 é caracterizado por uma compressão E-W, com vergência para leste, responsável por gerar um sistema de zonas de cisalhamento dúctil-rúptil associadas a cavalgamentos de baixo ângulo. Este sistema de falhas possibilitou a inversão estratigráfica do terreno (Magalhães, 1991; Queiroz, 1995) e favoreceu a percolação de fluidos hidrotermais gerados durante o principal evento hidrotermal do *greenstone*, que ocorreu contemporaneamente ao falhamento. Tal evento hidrotermal foi responsável pela concentração e deposição do ouro na região. O evento compressivo D2 possui orientação E-W, com vergência para sul e está relacionado ao cavalgamento da sequência Santa Terezinha sobre o *greenstone belt* Crixás. Este evento foi responsável pela geração de dobras recumbentes a semi-recumbentes com vergência para sudeste e clivagem plano axial. O dobramento gerou a remobilização parcial do ouro, que se concentrou paralelamente aos eixos axiais das dobras definindo *plunge* da mineralização. Associadas às dobras podem ocorrer falhas reversas (Massucatu, 2004). A compressão D3 possui orientação E-W e gerou dobras com eixos N-S, que promove uma clivagem de crenulação. O evento também é responsável pela geração da Antiforme do Rio Vermelho (Magalhães, 1991) devido ao arqueamento do *greenstone*. A compressão tardia possui direção NNW-SSE e produziu crenulações e dobramentos suaves (Massucatu, 2004).

Assim como a deformação, o metamorfismo apresenta um caráter heterogêneo no *greenstone belt* Crixás, envolvendo diferentes tipos de metamorfismo e paragêneses metamórficas que vão desde fácies xisto verde até fácies anfíbolito inferior (Kuyumijian, 1981; Magalhães, 1991; Fortes, 1996 e Queiroz, 2000). A paragênese dos basaltos da base da sequência é composta por ferro-tschermakita e andesina, diagnóstica de fácies anfíbolito,

enquanto basaltos de níveis acima indicam menor grau metamórfico, com paragênese composta por ferro-actinolita, albita e clinozoizita. Os metapelitos do topo da sequência apresentam paragêneses diagnósticas de fácies xisto verde, zona da biotita. Nota-se, portanto, um gradiente crescente do grau metamórfico em direção à base da sequência estratigráfica (Queiroz, 2000).

Geocronologia

Estudos geocronológicos das sequências vulcânicas dos *greenstone belts* do Bloco Arqueano-Paleoproterozóico do Goiás resultaram em idades arqueanas para as rochas vulcânicas das faixas Crixás, Faina e Serra de Santa Rita. Por outro lado, as sequências de Pilar de Goiás e Guarinos possuem idades paleoproterozóicas (Arndt *et al.*, 1989; Resende *et al.*, 1999; Fortes *et al.*, 2003; Jost *et al.*, 2012, 2014; Borges *et al.*, 2016). Análises de Sm-Nd nos metakomatiitos e metabasaltos da sequência vulcânica do *greenstone belt* de Crixás resultaram em idades entre 2.7 e 3.0 Ga (Arndt *et al.*, 1989 e Fortes *et al.*, 2003), indicando que o vulcanismo da sequência seja Arqueano.

Dados isotópicos das unidades metassedimentares das sequências supracrustais apresentaram idades de proveniência de a partir de um amplo intervalo no Arqueano até o Riaciano, no Paleoproterozóico (Resende *et al.*, 1999; Fortes *et al.*, 2003, Tassinari *et al.*, 2006; Jost *et al.*, 2008 e Jost *et al.*, 2014). Análises de Sm-Nd obtidos a partir de amostras do *greenstone belt* Crixás apresentaram idades entre 2,5 a 2,3 Ga (Fortes *et al.*, 2003), enquanto o estudo de SHRIMP em zircões detríticos de metagrauvas realizadas por Tassinari *et al.*, (2006) mostraram idade mínima de 212 ± 36 Ma. Posteriormente, Jost *et al.*, (2008) utilizou o método U-Pb LA ICP-MS em zircão detrítico das grauvas, resultando em idades entre 3354 ± 40 Ma a 2209 ± 28 Ma.

Investigações das assinaturas de isótopos de carbono foram realizadas em dolomitos presentes nas sequências dos *greenstone belts*. Os resultados indicaram valores fortemente positivos de C variando entre +10 a +14 ‰_{V-PDB} (Fortes, 1996; Resende *et al.*, 1998; Jost *et al.*, 2008 e Resende *et al.*, 2008). Com base nos resultados, autores sugerem que a deposição dos dolomitos ocorreu durante o evento Lamagundi, caracterizado pelo registro da primeira anomalia de C em dolomitos terrestres, ocasionado ao longo do declínio da glaciação Huroniana (*Snowball Earth*) (Melezhik *et al.*, 2007). Dados isotópicos de dolomitos do *greenstone belt* de Faina indicam valores entre -0.66 e +0.66%. Com base nestes dados, define-se que a deposição dos dolomitos dos *greenstones belts* do Bloco Arqueano- Paleoproterozóico de Goiás ocorreu

ao final da Anomalia Lamagundi e ao decorrer do Riacciano, com possível extensão para o início do Orosiriano (Jost *et al.*, 2014).

Mineralizações de Ouro

As mineralizações de ouro no *greenstone belt* Crixás ocorrem em diferentes estilos, resultado de uma complexa história metamórfica e deformacional do terreno. Estas, estão hospedadas em níveis estratigráficos distintos e diferem quanto as assembleias mineralógicas e alterações hidrotermais associadas (Jost & Fortes, 2001; Jost *et al.*, 2010). As mineralizações podem se mostrar em forma de: (1) sulfeto maciço, (2) veios de quartzo e (3) minério disseminado.

O principal controle da mineralização é exercido por falhas de empurrão de baixo a moderado ângulo associadas à dobras recumbentes e semi-recumbentes geradas no Neoproterozóico (Thompson, 1987; Magalhães, 1991; Queiroz, 1995, 2000; Massucato, 2004). O controle litológico é estabelecido pelos níveis de filito carbonoso e subordinadamente pelo contato cisalhado entre o metabasalto e filito carbonoso (Jost *et al.*, 2014). Os primeiros estudos realizados interpretaram os depósitos de sulfeto maciço como depósitos vulcanogênicos e os veios de quartzo como metacherts auríferos (Yamaoka & Araújo, 1988). Entretanto, trabalhos posteriores definiram o caráter epigenético das mineralizações de ouro do *greenstone belt* Crixás, as quais foram geradas a partir de um evento hidrotermal tardi-metamórfico associado às falhas de empurrão (Thomson, 1990; Magalhães, 1991; Fortes, 1991, 1996; Portocarrero 1996).

O primeiro corpo de minério definido em Crixás foi denominado de Mina III e este foi subdividido inicialmente em Zona Superior, Zona Intermediária e Zona Inferior e posteriormente estabeleceu-se outra zona definida como Zona da Granada (Yamaoka & Araújo, 1988). Este é o único corpo da região de Crixás que compreende todos os tipos de mineralização.

O minério tipo sulfeto maciço ocorre na Zona Superior da Mina III e no Corpo Palmeiras, definido no início da década de 2000. A mineralização hospeda-se próximo ao contato entre os filitos carbonosos com o metabasalto. Ela se apresenta como lentes irregulares, concordantes com a foliação, e variam entre 0,5 a 2,5 m de largura e 50 a 200 m de profundidade. A assembleia mineralógica associada ao minério é constituída predominantemente por pirrotita e arsenopirita, com quantidades subordinadas de magnetita,

ilmenita, bornita, calcopirita e ocasionalmente ocorre uma ganga composta por quartzo, plagioclásio, siderita, biotita, mica branca, epidoto e rutilo. A zona de alteração hidrotermal é caracterizada por uma zona externa definida pelo processo de carbonatação seguido dos halos intermediário e proximal marcados pela alteração clorítica e fílica. A potassificação é identificada nos três halos. (Fortes, 1996; Jost & Fortes, 2001, Jost *et al.*, 2014).

O veio de quartzo da Mina III hospeda-se no pacote de filito carbonoso e encontra-se abaixo da Zona Superior nas zonas de alto *strain*, próximo ao contato do filito carbonoso com a metagrauvaca. Apresenta forma descontínua, com aproximadamente 0,5 a 5,0 m de largura, 500 m de comprimento e se estende até cerca de 1500 m segundo o *plunge* desde a superfície até mais 700 m de profundidade. O veio é constituído predominantemente por quartzo recristalizado, com o núcleo maciço e bordas deformadas. Menores concentrações de pirrotita, arsenopirita, mica branca, material carbonoso, plagioclásio, carbonato e clorita podem ocorrer associados ao veio. A alteração hidrotermal associada ao minério é caracterizada pelo processo de carbonatação além de alteração fílica incipiente, acompanhada localmente por uma sulfetação definida pela ocorrência de arsenopirita e pirrotita disseminadas. O ouro pode ocorrer preenchendo fraturas ou em forma de ouro livre (Fortes, 1996; Jost & Fortes, 2001, Jost *et al.*, 2014).

Os depósitos tipo minério disseminado de Crixás foram descritos por Fortes (1996), Portocarrero, (1996) e Peterson (2003). Este tipo de mineralização ocorre em zonas de alto *strain* dos filitos carbonosos presentes na Zona Intermediária da Mina III, Mina Nova, Forquilha, Corpos IV, V, Pequizão e Cajueiro (Jost *et al.*, 2014). O filito carbonoso hospedeiro também pode ser aurífero, com pirita, arsenopirita e pirrotita disseminadas. Os níveis enriquecidos em ouro ocorrem como venulações centimétricas a decimétricas paralelas à foliação, dobradas e/ou boudinadas, por vezes transversais. A assembleia mineralógica associada é representada por quartzo, quartzo-carbonato ou quartzo-albita-biotita-carbonato. A alteração hidrotermal é predominantemente silicificação, além de cloritização, carbonatação, sericitização e biotitização (Jost & Fortes, 2001; Jost *et al.*, 2014).

Os primeiros estudos geocronológicos da mineralização foram realizados utilizando o método Rb-Sr nos halos de alteração hidrotermal das zonas mineralizadas e K-Ar e Ar-Ar em concentrados minerais, resultando em idades entre 750 a 550 Ma, sugerindo assim que a idade da mineralização no *greenstone belt* Crixás seja Neoproterozóica (Fortes *et al.*, 1993, 1995 e 1997; Fortes, 1996). Dados de Sm-Nd realizados posteriormente por Fortes *et al.*, (2003) mostraram idades de ca. 500 Ma, corroborando com os estudos prévios. Por outro lado, datações

posteriores de Re-Os em arsenopiritas das lentes de sulfeto maciço da Zona Superior da Mina III mostraram idades de ca. 2126±16 Ma, sugerindo assim uma idade Paleoproterozóica para a mineralização, indicando que as idades Neoproterozóicas obtidas anteriormente representam a idade de recristalização metamórfica dos halos de alteração hidrotermal durante a inserção terreno na Faixa Brasília. (Jost *et al.*, 2014).

III.3 Materiais e Métodos

III.3.1 Trabalho de Campo e Amostragem

A amostragem foi efetuada concomitantemente à descrição dos testemunhos de sondagem denominados CPIVESD0031, principal objeto de estudo desta pesquisa, e MN3EUD0033 (Figura III.3). Os testemunhos de sondagem cortam corpos mineralizados distintos, sendo o Corpo IV interceptado pelo furo CPIVESD0031, de aproximadamente 1200 m de comprimento, e o Corpo Mina III interceptado pelo furo MNE3UD0033, com 700 metros de profundidade aproximadamente. As mineralizações de ouro dentro destes corpos são controladas por estruturas mineralizadas que se hospedam em diferentes níveis estratigráficos. Serão abordadas neste trabalho as seguintes estruturas: Estrutura III, Estrutura IV e Estrutura Palmeiras, interceptadas pelo furo CPIVESD0031.

A amostragem estabeleceu-se de maneira sistemática, onde foram coletadas amostras de em média 15 cm a cada 2 metros do testemunho, com adensamento nos níveis das estruturas mineralizadas, onde foram coletadas amostras a cada 1 metro. Ao todo foram coletadas 640 amostras, que foram utilizadas posteriormente para análises químicas, petrográficas, petrofísicas e espectroradiométricas. O furo MNE3UD0033 foi amostrado apenas no intervalo da Estrutura III para detalhamento da caracterização desta zona.

A nomenclatura dos litotipos e suas respectivas siglas utilizadas no presente trabalho é a nomenclatura estabelecida pela empresa Mineração Serra Grande Ltda. Os furos de sondagem são constituídos por diferentes unidades estratigráficas do *greenstone belt*. A porção ultramáfica é representada pelo talco xisto (TX) e as rochas vulcânicas máficas representadas pelo metabasalto (MBA), quartzo-clorita-carbonato-sericita-xisto (CBCX), clorita-granada xisto (CXV), sericita-clorita xisto (SEX) e anfibólio xisto (CANFX). O pacote sedimentar é representado pelo dolomito (DOL), metagrauvaca (MG), quartzo-clorita-sericita-granada xisto (GNCX) e filito carbonoso (GXN).

III.3.2 Petrografia e química mineral

Com o objetivo de identificar assembleias mineralógicas e texturais diagnósticas de eventos metamórficos e hidrotermais das rochas hospedeiras nas zonas mineralizadas, foram selecionadas 36 lâminas delgadas polidas para descrições petrográficas. Análises de química mineral foram realizadas no Laboratório de Microsonda Eletrônica do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília para complementar o estudo petrográfico. Em anexo estão exibidos os diagramas de classificação dos minerais analisados e as tabelas com os resultados.

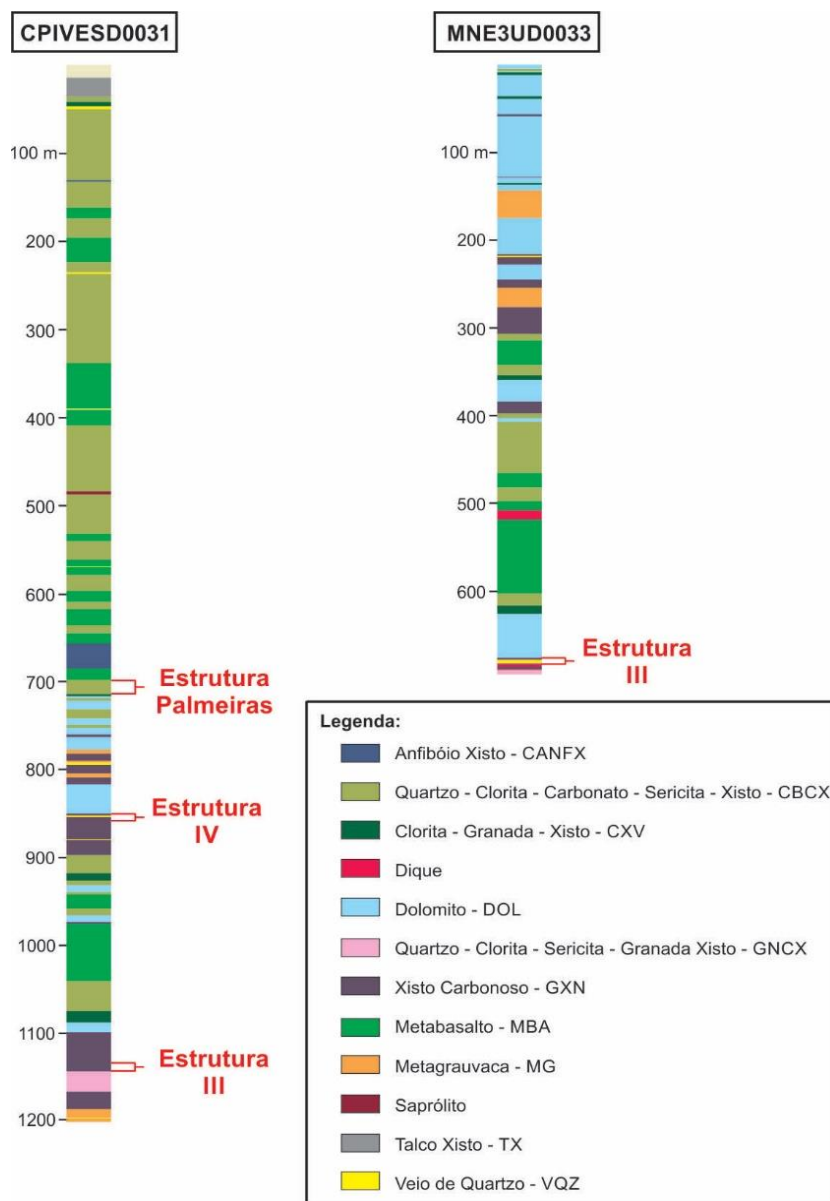


Figura III.3: Seções dos furos de sondagem utilizados para amostragem com as estruturas mineralizadas estudadas em destaque.

III.3.3 Espectroscopia de Reflectância

A aquisição dos dados espectrais foi realizada através do espectrorradiômetro de reflectância FieldSpec3HiRes® (ASD), onde os espectros foram capturados a partir de uma sonda de contato composta por uma lâmpada de halogênio e com uma janela de aquisição de 1 cm de diâmetro (Prado *et al.*, 2016). Cada espectro salvo representa uma média de 50 espectros coletados em uma mesma área. No total foram realizadas cerca de 5457 medidas em 628 amostras.

Com base nos parâmetros espectrais dos minerais obtém-se informações quantitativas e qualitativas dos minerais presentes nas rochas como composição química, abundância e grau de cristalinidade. A quantificação pode ser feita através da correlação dos dados espectrais com bibliotecas espectrais que apresentam espectros de amostras com composição mineralógica conhecida. O processamento destes dados foi realizado através do *software* “The Spectral Geologis” TSG Core™, versão! 7.1.0.062.

III.3.4 Geoquímica

As dosagens geoquímicas foram realizadas no Laboratório Comercial de Geoquímica ALS Minerals, onde foram feitas análise de rocha total para a obtenção das dosagens de elementos maiores, menores e traços nas 640 amostras. Os elementos maiores foram analisados a partir do método ICP – AES. Elementos traços, incluindo os elementos terras raras foram analisadas com ICP-MS. Dosagens de C e S foram feitas com o método de forno de combustão.

As análises de ouro utilizadas neste trabalho foram cedidas pela Mineração Serra Grande Ltda.

Os dados geoquímicos foram tratados e processados utilizando o *software* Oasis Montaj (versão 8.5) da Geosoft Inc, extensão Target para a elaboração de perfis *strip logs* (Figuras III.19 e 29; Anexo XI).

Com o objetivo de caracterizar detalhadamente a geoquímica das estruturas mineralizadas, também foram elaborados diagramas para verificar as proporções de ganhos e perdas dos elementos químicos dentro dos halos de alteração hidrotermal de cada estrutura em relação à rocha hospedeira (Figuras III.30, 33 e 35). Os anexos XII, XIII e XIV apresentam as análises químicas das amostras selecionadas para a elaboração dos diagramas. Elementos cujas análises obtidas resultaram abaixo do limite de detecção não estão apresentados nas tabelas.

Para a elaboração dos gráficos foram selecionadas amostras dos litotipos hospedeiros das estruturas sem registros de ações hidrotermais (metabasalto para a Estrutura Palmeiras e

filito carbonoso para as Estruturas III e IV), sendo essas amostras representativas do metamorfismo regional ocorrido no terreno. Posteriormente, foram selecionadas as amostras referentes a cada halo de alteração das estruturas e calculado a razão entre as dosagens químicas dos elementos das amostras hidrotermalizadas sobre as amostras não hidrotermalizadas. Sendo assim, para razões acima de 1, tem-se o enriquecimento dos elementos químicos, enquanto que para razões abaixo de 1, tem-se a depleção. Para os estudos das estruturas Palmeiras e IV foram utilizadas análises químicas do furo CPIVESD0031. As análises utilizadas referentes à Estrutura III correspondem às amostras do furo MNE3UD0033.

III.3.5 Propriedades Físicas das Rochas

As propriedades físicas estudadas nesta pesquisa foram densidade e susceptibilidade magnética.

Os dados de densidade foram obtidos a partir da pesagem das amostras em uma balança de pesagem industrial IND560. A balança apresenta uma precisão de três casas decimais com uma margem de erro de 0,001 kg. Junto à balança, existe uma base acoplável utilizada para medidas de massa em imersão em algum líquido. Neste projeto utilizou-se a água como líquido para tais medidas. Foram coletadas medidas para 629 amostras no total, visto que as 11 amostras da parte superior do furo correspondem à material friável. Posteriormente as densidades das amostras foram calculadas com base no Princípio de Arquimedes, no qual a densidade de um sólido (D_s) corresponde à razão entre massa do sólido seco (M_{ss}) e a diferença entre a massa do sólido seco (M_{ss}) e do sólido molhado (M_{si}), multiplicado pela densidade do líquido utilizado para as medidas (D_l), como representado na fórmula abaixo:

$$D_s = (M_{ss}/M_{ss}-M_{si}) \cdot D_l$$

As medidas de susceptibilidade magnética foram realizadas utilizando o susceptibilímetro portátil fabricado pela Terra Plus modelo KT-10. O aparelho quando em contato com a amostra captura a susceptibilidade magnética e faz as medidas em unidades do SI. Foram realizadas medições em 628 amostras, onde em cada ponto de coleta foram realizadas pelo menos 3 medidas distintas para a obtenção de resultados mais precisos, calculando-se a média para cada amostra.

III.4 Contexto Geológico das Zonas Mineralizadas

A mineralização de ouro em Crixás é controlada por estruturas mineralizadas hospedadas em diferentes níveis estratigráficos. Nesta pesquisa são caracterizadas as Estrutura III, Estrutura IV e Estrutura Palmeiras, interceptadas pelo furo CPIVESD0031 (Figura III.4). Cada estrutura apresenta variações mineralógicas e texturais em direção ao centro das zonas mineralizadas, que permitam a definição de halos de alteração hidrotermal distais, intermediários e proximais da mineralização. Abaixo estão apresentadas as descrições de cada estrutura e seus respectivos halos. Os gráficos e tabelas de química mineral estão apresentados em anexo.

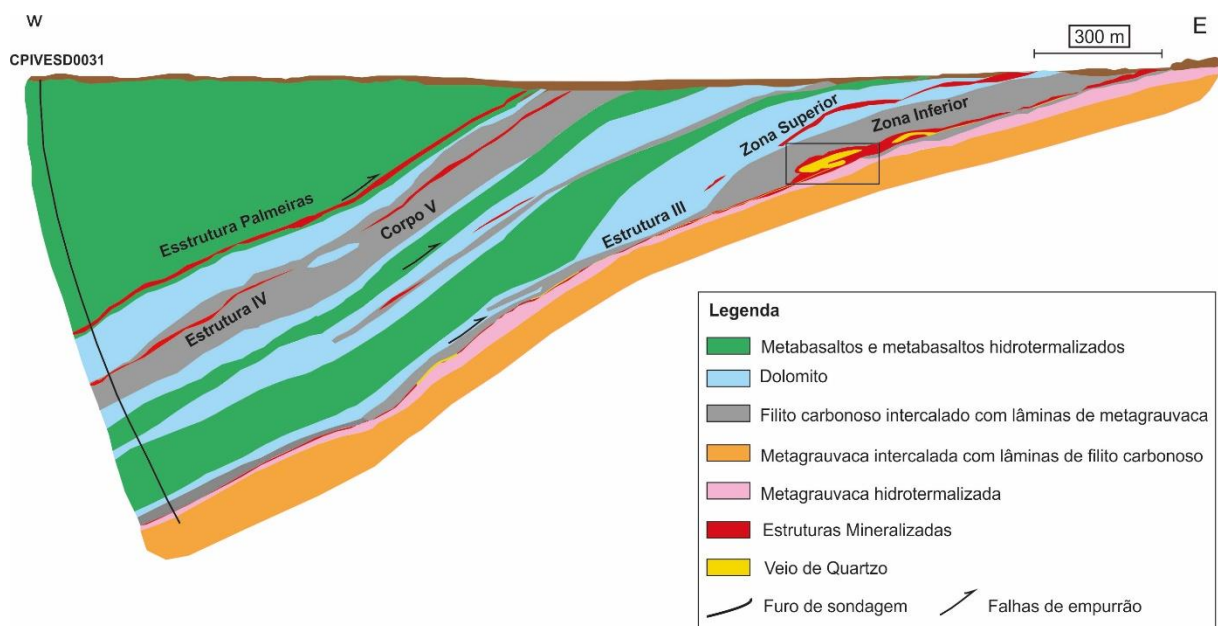


Figura III.4: Seção esquemática do greenstone belt Crixás exibindo as principais estruturas mineralizadas. Em destaque encontra-se o furo CPIVESD0031 e a zona onde o furo MNE3UD0033 intercepta (modificado de Mineração Serra Grande – Anglo Gold Ashanti).

III.4.1 Estrutura Palmeiras

A Estrutura Palmeiras é responsável pelo principal controle da mineralização no Corpo Palmeiras, Palmeiras Norte e Baru. Porém também intercepta o Corpo IV e está presente no testemunho de sondagem CPIVESD0031. Trata-se de uma zona de cisalhamento de baixo ângulo hospedada na unidade metavulcânica máfica hidrotermalizada próximo ao contato entre o pacote máfico sobrepostos a um nível dolomítico (Figura III.4). A mineralização está

hospedada em veios de quartzo (falar da espessura aproximada destes veios), com ouro livre ou em fraturas da pirita e magnetita.

A análise desta estrutura possibilitou o reconhecimento das zonas de alteração hidrotermal distal, intermediária e proximal, marcadas por transformações texturais e mineralógicas desde o metabasalto até a zona mineralizada (Figura III.5).

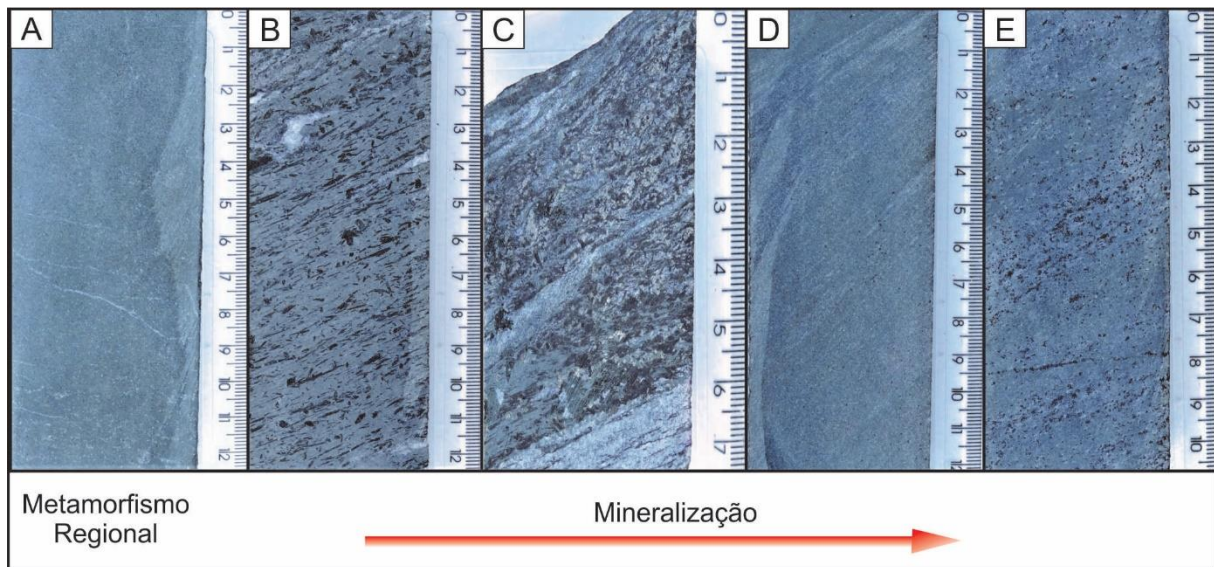


Figura III.5: Amostras do testemunho de sondagem CPIVESD0031 correspondentes à Estrutura Palmeiras. A) Metabasalto (MBA) maciço de coloração cinza esverdeado, composto por cristais de anfibólios, quartzo e plagioclásio com granulação muito fina. B) Halo distal da alteração hidrotermal: rocha de coloração cinza esverdeado, foliada, caracterizada pela alternância de níveis milimétricos compostos por quartzo e carbonatos e níveis compostos por hornblendas e minerais micáceos orientados segundo o plano da foliação. Comumente ocorrem vênulas preenchidas por quartzo e carbonato. C) Halo intermediário da alteração hidrotermal: Rocha de coloração cinza esbranquiçado, fortemente foliada, marcada pela alternância de níveis compostos por quartzo e carbonatos e níveis compostos por porfiroblastos de epidoto e minerais micáceos orientados segundo a foliação. Observa-se uma concentração grande de porções carbonatadas de coloração branca. D) Halo intermediário da alteração hidrotermal: Rocha de coloração cinza, foliada e granulação fina, composta por quartzo, carbonato e minerais micáceos alternados. E) Halo proximal da alteração: rocha de coloração cinza, foliada, marcada pela alternância de níveis compostos por quartzo e magnetita níveis compostos por minerais micáceos.

Metabasalto (MBA)

Os metabasaltos da sequência metavulcânica básica do *greenstone belt* Crixás definida como Formação Rio Vermelho são caracterizados como rochas maciças a levemente foliadas, com coloração verde escuro e granulação predominantemente fina, com porções variando de média a grossa (Figura III.5A). Estruturas ígneas primárias bem preservadas como *pillow lavas*

e amígdalas podem ser observadas. A mineralogia principal dos metabasaltos é representada por hornblenda (30-60%), plagioclásio (10-30 %) e carbonato (3-10 %). Clorita, actinolita e epidoto e quartzo ocorrem de forma subordinada (1-5%). Ilmenita (1-3 %), titanita, apatita, rutilo e sulfetos (pirita e calcopirita) ocorrem como minerais acessórios e correspondem a menos de 1% da composição modal da rocha. A textura primária predominante na rocha é intergranular pseudomórfica. Os interstícios entre os cristais eudrais a subedrais de anfibólios são compostos quartzo e plagioclásio anedrais, ambos recristalizados e com granulação muito fina, o que torna difícil a diferenciação entre os dois na microscopia (Figuras III.6A e B). Carbonatos anedrais, de granulação fina podem estar presentes em menores proporções nestes interstícios. Também podem ser identificados domínios de textura nematoblástica caracterizados pela orientação dos anfibólios em uma ou mais direções de foliação, associados a porções de textura granoblástica, constituídas de quartzo, plagioclásio e carbonato recristalizados. Amígdalas primárias e venulações tardias podem estar preenchidas por quartzo e carbonato.

O plagioclásio possui teor de anortita correspondente a oligoclásio e os anfibólios possuem composição transicional entre Mg-hornblenda e tschermakita, predominantemente, podendo ocorrer também actinolita (Anexos III, IV, VII e VIII). A paragênese metamórfica composta por hornblenda, oligoclásio \pm epidoto é indicativo de metamorfismo em fácies anfibolito inferior. A presença de clorita e actinolita indicam retrometamorfismo em condições de fácies xisto verde.

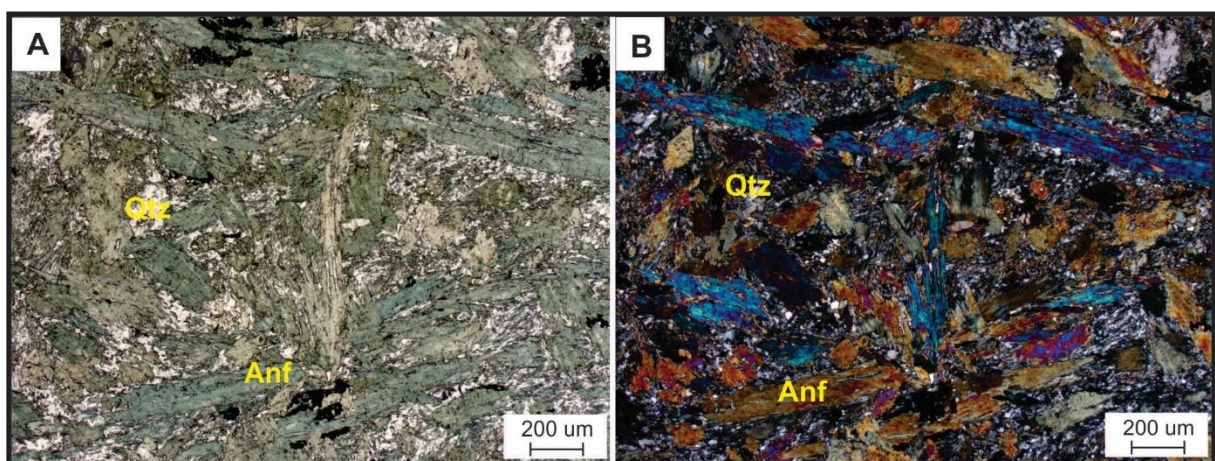


Figura III.6: Fotomicrografia de metabasalto do greenstone belt Crixás. Agregados de quartzo e plagioclásio recristalizados, ocupam os espaços intersticiais entre cristais subedrais de hornblenda. Em A, foto em nicóis paralelos e em B, nicóis cruzados.

Halo Distal

O halo de alteração hidrotermal distal da Estrutura Palmeiras é representado por uma rocha de coloração cinza esverdeado, fortemente foliada, definida pela alternância de níveis compostos por minerais micáceos e anfibólios de granulação média a grossa orientados de acordo com a direção da foliação, com níveis de quartzo e carbonato (Figura III.5B). A mineralogia da rocha é formada por clorita (15-30%), hornblenda (15-20%), quartzo (20-30%), plagioclásio (10-15%), biotita (10-15%), carbonato (10-15%), epidoto (2-5%), ilmenita (1%), sulfetos (<1) e rutilo (<1%). A rocha possui domínios distintos formados pela mesma assembleia mineralógica, porém se diferenciam quanto às proporções modais de cada mineral e texturas. A textura predominante da rocha caracteriza-se preferencialmente como lepidoblástica, marcada pela orientação das lamelas de clorita e biotita. Ambas ocorrem em desequilíbrio e comumente pode-se identificar texturas de substituição entre estes minerais (Figura III.7A). A hornblenda apresenta-se como cristais subeuédricos prismáticos, orientados segundo a direção da foliação principal, definindo domínios de textura nematoblástica. Também podem ser observadas cristais de hornblenda orientados de acordo com uma foliação obliqua à foliação principal. Quartzo e plagioclásio constituem uma matriz fina e recristalizada, juntamente com o carbonato, com granulação variando de fina a média, definindo domínios granoblásticos. Em determinados domínios da rocha predominam aglomerados de carbonatos, quartzo e epidotos anédricos, com granulação média, sugerindo que sejam porções mais hidrotermalizadas. A ilmenita caracteriza-se como pequenos cristais subeuédricos prismáticos de granulação fina orientados segundo a foliação. Os sulfetos compreendem pirita e calcopirita, que ocorrem como cristais anédricos e de granulação muito fina em meio à matriz da rocha. Quartzo e carbonato também podem ocorrer preenchendo venulações.

Os dados de química mineral indicam teor de anortita correspondente à oligoclásio para os plagioclásios descritos, bem como composições intermediárias variando entre Mg-hornblenda e tchermakita para os anfibólios. As cloritas apresentam teores significativos de Fe e classificam-se como ripidolitas. Os carbonatos mostram concentrações relevantes de Fe e Mg (Anexos I, II, III, IV, VII e VII). A paragênese metamórfica de fácies anfibolito inferior ainda está parcialmente preservada, representada por hornblenda e oligoclásio. Clorita, biotita, carbonato e epidoto constituem a assembleia mineralógica hidrotermal do halo de alteração distal.

Halo Intermediário

O halo de alteração hidrotermal intermediário da Estrutura Palmeiras é heterogêneo, com rochas de composições mineralógicas semelhantes que podem variar muito em relação às suas texturas e nas quantidades e tamanhos dos minerais presentes. De maneira geral, este halo é definido por uma rocha de coloração cinza-esverdeado, fortemente foliada, marcada pela alternância de níveis compostos por quartzo e carbonato com níveis milimétricos constituídos por minerais micáceos e porfiroblastos de epidoto. Em alguns domínios, predomina uma rocha de coloração cinza claro, com a foliação menos proeminente e de granulação muito fina, composta por minerais micáceos, carbonatos e pequenos grãos de magnetita (Figura III.5.C e D). Venulações preenchidas por quartzo e carbonato são comuns.

A assembleia mineralógica representativa do halo intermediário é composta predominantemente por clorita (30-40%), epidoto (10-30%), carbonato (15-30%), quartzo (15-40%), biotita (2-8%), ilmenita (3%) e sulfetos – pirita e calcopirita (<1). Alanita e rutilo pontualmente ocorrem como minerais acessórios e constituem menos que 1% da composição modal da rocha. Plagioclásio (5-15%) ocorre em meio a uma matriz fina e recristalizada e por vezes saussueritizado. Em algumas porções pode ocorrer magnetita (<3%) subeuédricas a anédrica com granulação média. Muscovita (<15%) e turmalina (<1%) também podem ser observados em certos domínios. Este halo de alteração diferencia-se do halo distal devido à ausência completa da Mg-hornblenda, dando lugar a maiores concentrações de epidoto e carbonato. Outro destaque desta zona de alteração é o surgimento da muscovita e magnetita. Estes, aparecem à medida que se aproxima do halo proximal. Para melhor detalhamento do halo intermediário, os principais domínios identificados serão descritos separadamente.

O primeiro domínio é caracterizado por uma rocha com a foliação bem marcada pela orientação das lamelas de clorita, muscovita e biotita, definindo porções de textura lepidoblástica. A biotita também ocorre em forma de porfiroblastos orientados de até 4 mm. Também são observados porfiroblastos subeuédricos de hábito prismático de até 1cm de epidoto, onde comumente podem ser observadas inclusões de ilmenitas orientadas e minerais da matriz. O epidoto também pode ocorrer em forma de cristais anédricos com granulação fina em meio à matriz da rocha. Neste domínio o carbonato ocorre em menores proporções, como cristais anédricos com granulação variando de fina a média (Figura III.7.C e D).

O segundo domínio é definido por níveis compostos predominantemente por clorita e carbonatos. Quartzo, plagioclásio, epidoto, biotita, ilmenita, magnetita e sulfetos ocorrem em menores proporções. A textura predominante da rocha é lepidoblástica, definida pela orientação das lamelas de clorita, com porções pontuais de textura granoblástica nas porções enriquecidas em carbonato, que ocorrem como cristais anédricos e de granulação média (Figura III.7B). Neste domínio, o epidoto ocorre em pouca proporção como cristais anédricos e granulação fina, de maneira disseminada assim como as lamelas de biotita. Ilmenita se apresenta como pequenos bastonetes orientados de acordo com a foliação, enquanto a magnetita ocorre com granulação fina a média em forma de cristais subédricos a euédricos. Quartzo e plagioclásio ocorrem como uma matriz fina e recristalizada, pouco abundante na composição modal total da rocha.

Dados de química mineral mostram que a clorita do halo intermediário, classificada como ripidolita, exibem um aumento em ferro e uma diminuição de magnésio em relação às cloritas do halo distal. O carbonato do halo intermediário destaca-se pelo incremento significativa em Fe e Mg e perda em Ca em relação aos carbonatos do halo distal e metabasaltos, sendo classificada como ankerita. O plagioclásio apresenta teor de anortita correspondente à oligoclásio (Anexos I, II, III, IV e IX).

Halo proximal

O halo de alteração hidrotermal proximal da Estrutura Palmeiras é caracterizado por uma rocha de coloração cinza, foliada e de granulação predominantemente fina, composta por níveis milimétricos quartzosos e com magnetita intercalados com níveis constituídos por minerais micáceos (Figura III.5E).

A mineralogia principal da rocha é constituída por clorita (25-35%), mica branca (30-45%), quartzo (15-20%), plagioclásio (10-12%) e magnetita (10-15%). Ilmenita (3%), epidoto (<1%) e turmalina (<1%) e sulfetos (<1) como pirita e calcopirita ocorrem em menores proporções como minerais acessórios. A textura da rocha é caracterizada por domínios lepidoblásticos definidos pela orientação das lamelas de mica branca e clorita, em meio a uma matriz fina e recristalizada de quartzo e plagioclásio. O quartzo também ocorre associado a bolsões e sombras de pressão em porfiroblastos de magnetita e neste caso, eles se apresentam com contatos irregulares e com extinção ondulante (Figura III 7E e F). Os porfiroblastos de magnetita ocorrem associados a lentes de quartzo e por vezes podem estar rotacionados. A ilmenita ocorre com hábito prismático e orientada de acordo com a direção da foliação da rocha

em meio à matriz da rocha. A turmalina ocorre com granulação muito fina e com hábito tabular de maneira disseminada na rocha. Pequenos cristais anédricos de epidoto e carbonato estão disseminados pela matriz da rocha.

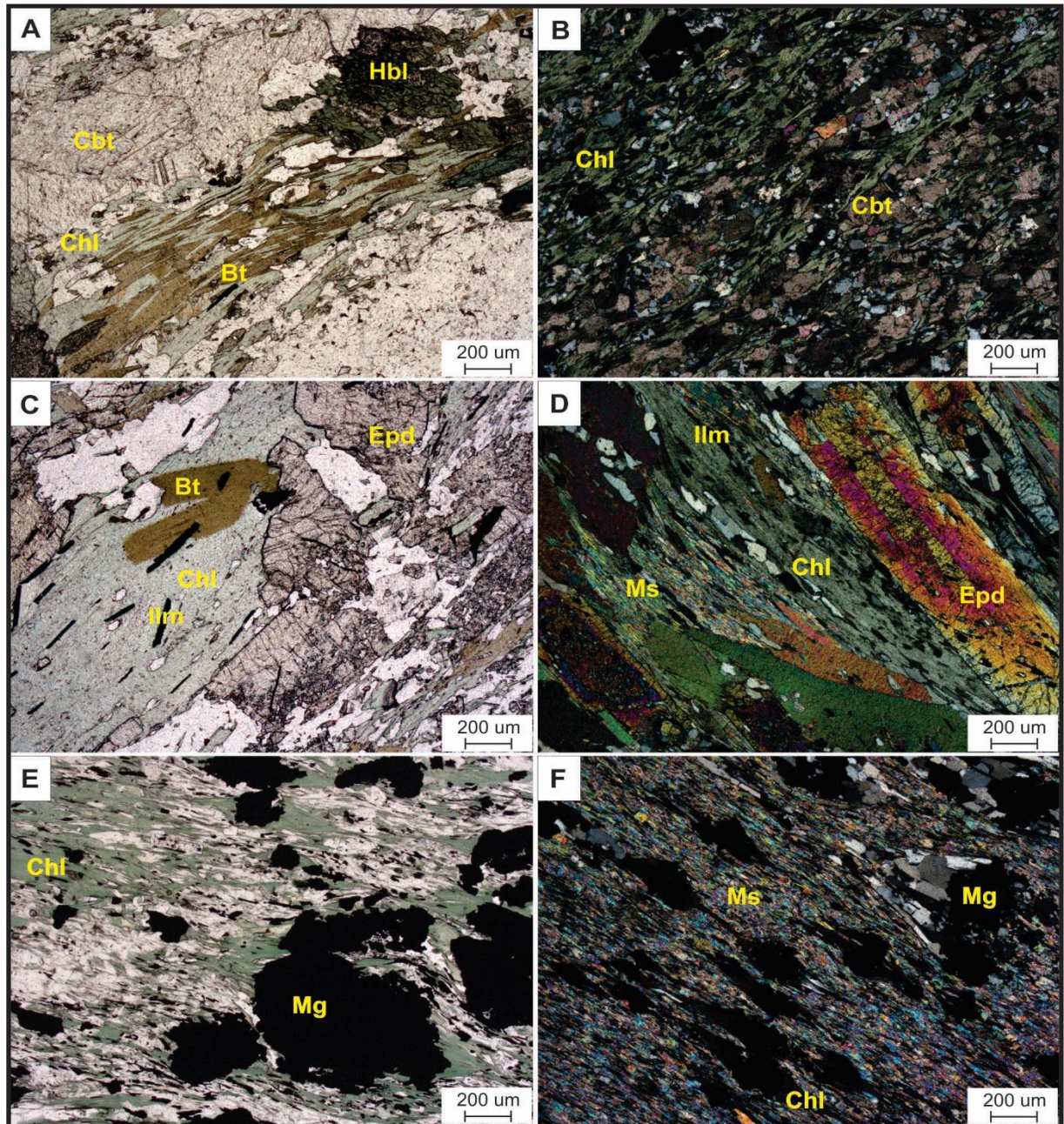


Figura III.7: Fotomicrografia das rochas hidrotermais associadas à Estrutura Palmeiras. A) Halo distal: lamelas de biotita e clorita em reação orientada segundo a direção da foliação da rocha, acompanhadas de cristais de Mg-hornblenda, quartzo e Fe-Mg carbonato constituindo uma matriz juntamente com o quartzo e lamelas de Fe-Mg cloritas orientadas segundo a direção da foliação. C e D) Halo intermediário: porfiroblastos de epidoto e biotita em meio a uma matriz composta por lamelas de cloritas e muscovitas com inclusões de ilmenitas orientadas. E e F) Halo proximal: porfiroblastos sin a tardi-tectônicos de magnetitas anédricas dispostos em uma matriz composta por muscovita e paragonita, Fe-clorita e ilmenitas orientadas, juntamente com quartzo, plagioclásio e turmalina de

O halo proximal de alteração da Estrutura Palmeiras destaca-se em relação aos outros halos devido ao enriquecimento em mica branca e magnetita, acompanhado do desaparecimento da biotita e ocorrência restrita de epidoto e carbonato. Os dados de química mineral da clorita indicam que elas são mais enriquecidas em Fe em relação aos halos distal e intermediário. A mica branca possui composições correspondentes à muscovita predominantemente e paragonita (Anexos I, II, III, IV, V e IV).

III.4.2 Estruturas III e IV

As Estruturas III e IV são definidas por zonas de cisalhamento de baixo ângulo que interceptam diferentes níveis de filitos carbonosos que compõem a sequência sedimentar do *greenstone belt* Crixás (Figura III.4). Abaixo estão apresentadas as descrições da rocha hospedeira e dos respectivos halos de alteração hidrotermal de cada estrutura.

Filito Carbonoso

O filito carbonoso hospedeiro da mineralização nas Estruturas III e IV é caracterizado como uma rocha de coloração muito escura, granulação fina e comumente foliada. A textura é marcada pela alternância de níveis milimétricos quartzosos com níveis constituídos por material carbonoso e minerais micáceos (Figuras III.9A e 11A). Disseminações de sulfetos e zonas venuladas preenchidas por quartzo e carbonato são comuns nesta unidade.

A composição mineralógica principal do filito carbonoso é composta por quartzo (20-40%), material carbonoso (60-55%) e biotita (3-20%). Plagioclásio (3-10%), muscovita (1-10%), clorita (1-15%) e granada (1-8%) também fazem parte da composição modal da rocha, porém ocorrem em menores proporções. Pirrotita, calcopirita, arsenopirita, ilmenita e zircão são minerais acessórios comuns e constituem menos que 1% da assembleia mineralógica. A textura da rocha é caracterizada pela alternância de bandas milimétricas de quartzo e plagioclásio e bandas compostas predominantemente por biotita e matéria carbonosa e por vezes clorita e muscovita associada. Domínios de textura lepidoblástica são definidos pela orientação das lamelas de biotita, clorita e muscovita que ocorrem dispersos na matriz, juntamente com o material carbonoso. Quartzo e plagioclásio constituem uma matriz fina e recristalizada, com cristais anédricos, determinando os domínios granoblásticos da rocha (Figura III.8A e B). Comumente observa-se dobras e crenulações no material carbonoso. A granada aparece como grãos subeuédricos variando entre 0,05 e 0,2 mm em meio a matriz e por vezes pode aparecer como porfiroblastos de até 0,7 mm com inclusões de minerais da matriz. Os dados de química

mineral indicam teor de anortita referente andesina alta e com menor expressão oligoclásio para os plagioclásios descritos nesta unidade (Anexos III e IV).

III.4.2.1 Estrutura IV

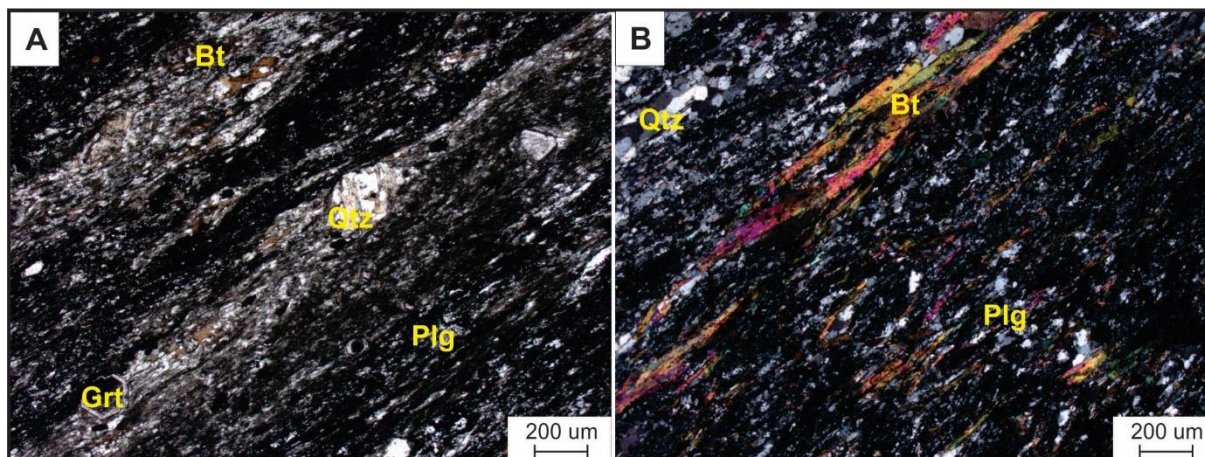


Figura III.8: Figura 4: Fotomicrografia do filito carbonoso do greenstone belt Crixás. A rocha apresenta domínios constituídos por material carbonoso e biotita alternados com domínios granoblásticos de quartzo, plagioclásio e granada.

A Estrutura IV é definida por uma zona de cisalhamento de baixo ângulo que intercepta o primeiro nível de filito carbonoso do pacote da base da sequência metassedimentar (Figura III.4). A mineralização nesta estrutura é tipo minério disseminado com ocorrências menores de veio de quartzo. O minério ocorre associado a sulfetos como arsenopirita, pirrotita e calcopirita, ou livre no veio de quartzo e ganga. Nos testemunhos de sondagem são observadas variações composicionais e texturais em direção ao veio que permitiram a distinção de diferentes halos de alteração hidrotermal no qual estão descritos abaixo (Figura III.9).

Halo Distal

O processo de alteração hidrotermal no halo distal da Estrutura IV se mostra pouco pervasivo na rocha e resulta em poucas transformações mineralógicas e texturais, quando comparado aos halos intermediário e proximal. A rocha caracteriza-se por uma coloração cinza escura, levemente foliada, marcada pela alternância entre níveis milimétricos de material carbonoso e minerais micáceos e níveis quartzosos (Figura III.9B).

A assembleia mineralógica principal da rocha é constituída por quartzo (40%), biotita (30%), clorita (20-25%), material carbonoso (20-25%), muscovita (20%), plagioclásio (5%), granada (2%). Ilmenita, pirrotita e calcopirita também fazem parte da composição mineralógica da rocha e compreendem menos que 1% da sua composição modal. A rocha caracteriza-se por

domínios lepidoblásticos marcados pela orientação das lamelas de biotita e clorita de acordo com a foliação da rocha, alternados com domínios granoblásticos definidos pelos grãos de quartzo recristalizado e plagioclásio. Porções onde a foliação da rocha foi levemente obliterada exibem lamelas finas de clorita em textura diablástica. Comumente ocorrem porfiroblastos anédricos de granadas, por vezes apresentando textura poiquiloblástica, com inclusões de minerais da matriz orientados de acordo com a foliação. A clorita ocorre em lamelas disseminadas pela rocha ou como alteração da biotita, devido ao processo de cloritização. O plagioclásio comumente apresenta-se saussuritizado.

O halo distal é marcado então pelo aumento nas proporções de clorita, mica branca e pela diminuição nas proporções de material carbonoso. Dados de química mineral indicam que a composição da mica branca corresponde à muscovita. A clorita exibe concentrações de Fe maiores que Mg e é classificada como ripidolita. O plagioclásio é classificado como oligoclásio (Anexos I, II, III, IV, V e VI).

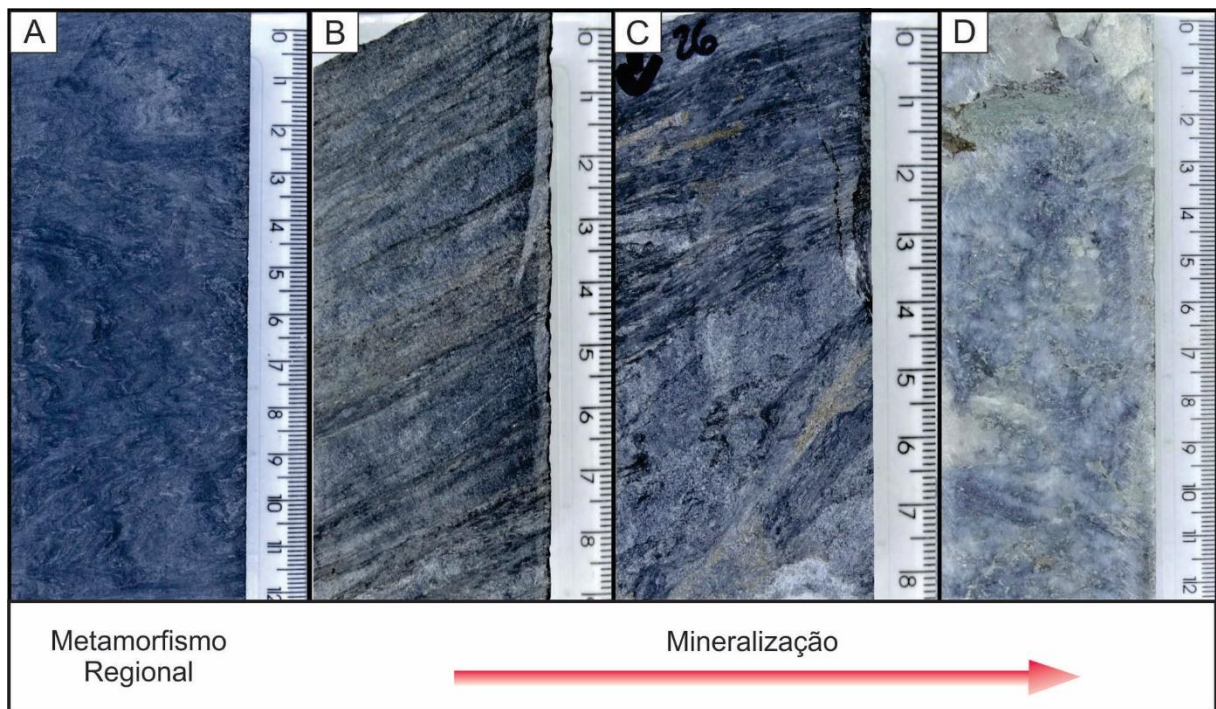


Figura III.9: Figura 5: Amostras do testemunho de sondagem CPIVESD0031 referentes à Estrutura IV. A) Filito carbonoso: rocha cinza escura de granulação fina, levemente foliada e composta predominantemente por matéria carbonosa, quartzo e biotita, clorita e muscovita. B) Halo distal: caracterizado por rocha de coloração cinza e granulação fina, fortemente foliada, caracterizada pela alternância de níveis quartzosos e níveis compostos por material carbonoso e minerais micáceos. C) Halo intermediário: rocha de coloração cinza clara, foliada, composta por material carbonoso, quartzo, carbonatos e sulfetos. D) Zona Proximal: rocha esbranquiçada composta por quartzo, carbonato, material carbonoso e sulfetos, com a foliação obliterada pelo intenso processo de silicificação e carbonatação.

Halo Intermediário

O halo de alteração hidrotermal intermediário da Estrutura IV é caracterizado por uma rocha de coloração cinza constituída predominantemente por uma matriz fina composta por material carbonoso e minerais micáceos e lamelares. Domínios esbranquiçados compostos por quartzo e carbonato também são observados. Localmente observam-se porções venuladas ricas em carbonato e quartzo e com abundância de sulfetos (Figura III.9C).

A assembleia mineralógica principal da rocha é representada por quartzo (35-45%), muscovita (25-39%), carbonato (12-15%), material carbonoso (10-15%), biotita (3-6%) e clorita (3%). Alanita, apatita, rutilo, turmalina, pirrotita, arsenopirita, calcopirita e ilmenita ocorrem como minerais acessórios e compreendem menos que 1% da composição modal da rocha. A rocha é caracterizada por domínios de textura lepidoblástica definida pela associação e orientação das lamelas finas de muscovita, biotita e clorita, intercalados com domínios granoblásticos compostos por cristais de granulação média a grossa de quartzo e carbonato (Figura III.10A e B). O quartzo se apresenta como grãos anédricos, com contatos irregulares e extinção ondulante onde comumente observam-se bandas de deformação. Os sulfetos ocorrem como cristais anédricos de granulação fina a média e disseminados pela rocha. A presença de calcopirita é pontual e está sempre associada aos cristais de pirrotita. A turmalina ocorre como cristais tabulares com pleoclorismo leve de coloração esverdeada e granulação muito fina.

Os dados de química mineral indicam composições de clorita correspondente à ripidolita e não foram observadas mudanças significativas em sua composição quando compactada ao halo anterior, assim como o plagioclásio que é classificado como oligoclásio. Os carbonatos evidenciam concentrações significativas de Fe, Mg e Ca, sendo classificados como ankerita (Anexos I, II, III, IV e IX)

No halo de alteração intermediário o processo de alteração hidrotermal nesta zona se mostra mais caracterizado, definido pelo enriquecimento em quartzo, carbonato e muscovita, acompanhado da diminuição de biotita e clorita além da presença de turmalina.

Halo Proximal

O halo de alteração hidrotermal proximal da Estrutura IV é caracterizado por uma rocha de coloração clara, maciça, composta predominantemente por quartzo, carbonato, com alguns

domínios pontuais constituído por minerais lamelares e material carbonoso. Zonas com sulfetos disseminados são comuns nessa zona (Figura III.9D).

A assembleia mineralógica principal do halo proximal é representada por quartzo (40-45%), plagioclásio (20-30%), carbonato (15-20%), biotita (5-10%), muscovita (3-8%) e turmalina (2%). Clorita, rutilo, alanita, apatita, pirrotita, calcopirita e arsenopirita também estão presentes e constituem menos que 1% da composição modal da rocha. Vale ressaltar que nesta zona a arsenopirita é a fase sulfetada predominante, seguido de pirrotita e calcopirita. A textura predominante é granoblástica, caracterizadas pelos por agregados recristalizados de quartzo, carbonato e plagioclásio. Entretanto, localmente pode-se observar domínios diablasticos e lepidoblásticos marcados pela orientação das lamelas de muscovita e biotita que por vezes, encontra-se cloritizada (Figura III.10E). A muscovita se apresenta como lamelas muito finas e eventualmente pode-se identificar sericita associada. A biotita ocorre como lamelas de granulação fina dispersas na matriz da rocha e também como porfiroblastos tardios de até 1,5 mm. A turmalina se apresenta como cristais tabulares de granulação muito fina, com pleoclorismo esverdeado, ocorrendo principalmente concentradas em faixas irregulares e circundando porfiroblastos de plagioclásio e biotita (Figura III.10C e D). O plagioclásio comumente se mostra saussuritizado e ocorre em grãos anédricos, com granulação predominantemente fina disseminados pela matriz da rocha. Localmente observam-se porfiroblastos de plagioclásio com inclusões de quartzo definindo texturas poiquiloblásticas (Figura III.10F).

A assembleia mineralógica e as texturas observadas sugerem que esta seja uma zona de intensa alteração hidrotermal, visto que a mineralogia original da rocha hospedeira foi alterada e a foliação completamente obliterada. A clorita ocorre em desequilíbrio com a biotita e a presença de plagioclásios saussoritizados são indicativos de retrometamorfismo incipiente. Dados de química mineral indicam teor de anortita correspondente à oligoclásio para os plagioclásios deste halo (Anexos III e IV). A clorita, classificada como ripidolita e não indica mudanças significativas em relação aos outros halos. A mica branca possui composição correspondentes à muscovita e o carbonato de Fe, Mg, e Ca é classificado como ankerita (Anexos I, II e IX).

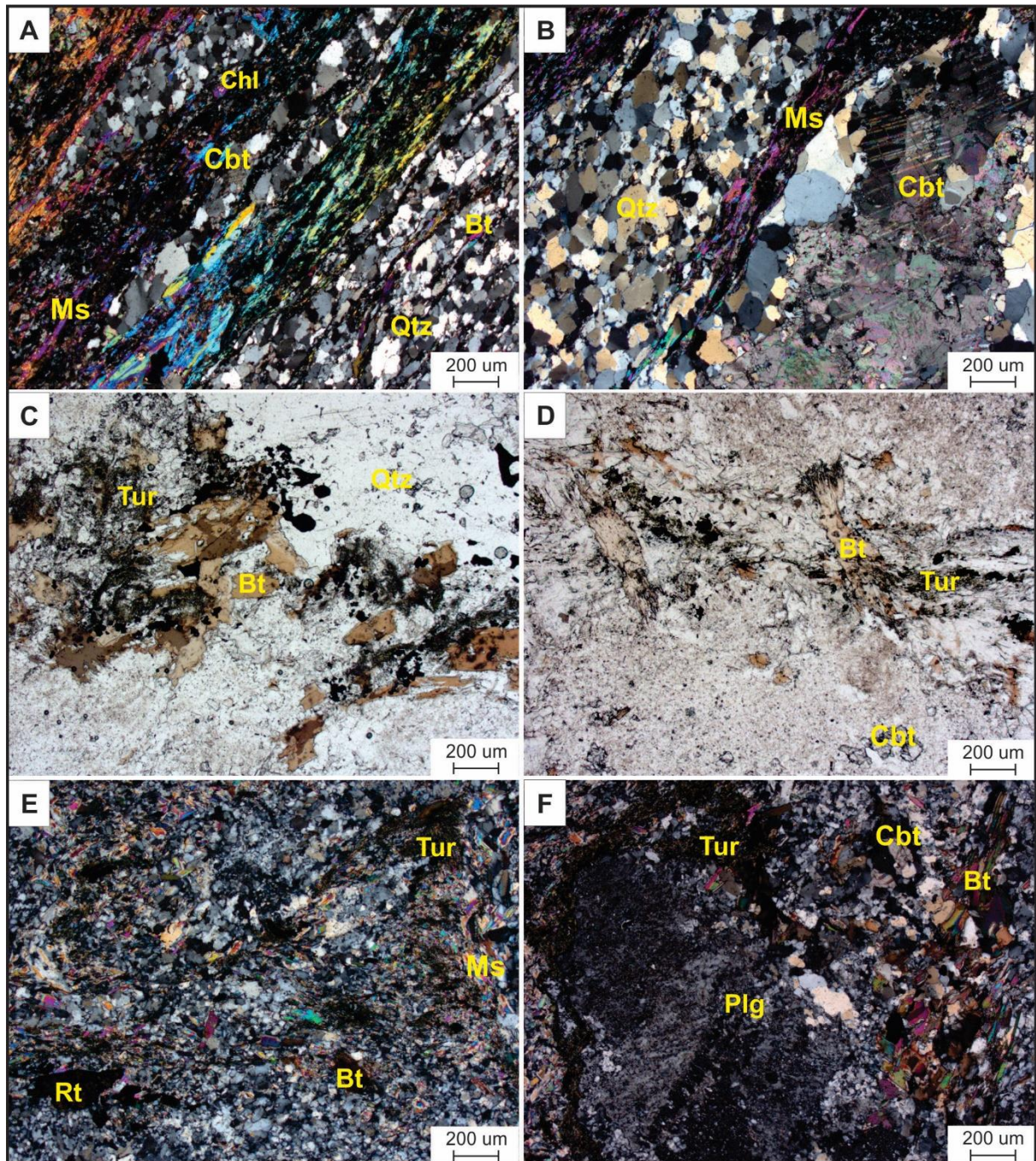


Figura III.10: Fotomicrografia dos halos de alteração associados à Estrutura IV. A e B) Halo Intermediário: domínios lepidoblásticos definidos pela orientação de lamelas de muscovita, biotita, clorita e material carbonoso alternados com domínios granoblásticos granoblásticos compostos por cristais grossos e irregulares de quartzo e carbonato. C e D) Halo proximal: porfiroblastos de biotita truncado faixas irregulares de aglomerados de turmalina, em meio a uma matriz composta por quartzo, carbonato e plagioclário. E) Halo proximal: matriz fina e recrystalizada granoblástica composta por quartzo, plagioclásio, carbonato e rutilo, com lamelas de biotita e muscovita. F) Halo proximal: porfiroblasto de plagioclásio circundado por aglomerado de turmalina e lamelas de biotita em uma uma matriz recrystalizada composta por quartzo, plagioclásio e carbonatos

III.4.2.1 Estrutura III

A Estrutura III é hospedada no último nível de filito carbonoso, próximo ao contato com o pacote de metagrauvaca (Figura III.4). A estrutura é definida por um veio de quartzo aurífero, descontínuo com espessura que pode variar de 0,5 a 5m de espessura. A mineralização ocorre associada à sulfetos como pirrotita e arsenopirita e o ouro ocorre preferencialmente de forma livre no veio. Abaixo da Estrutura III ocorre um nível de metagrauvaca hidrotermalizado que é utilizada como camada guia para mapear a estrutura. No furo MNE3UD0033 o veio compreende cerca de 1m e foram definidos halos de alteração hidrotermal associados à ele que estão descritos abaixo.

Halo Distal

Rocha de coloração escura, levemente foliada composta por porfiroblastos de granada e anfibólio em meio a uma matriz fina construída por matéria carbonosa e minerais lamelares, com alguns domínios quartzosos. Venulações preenchidas por quartzo são comuns neste halo (Figura III.11B).

A mineralogia principal é representada por clorita (35-40%), biotita (15-20%), material carbonoso (10-15%), plagioclásio (10-15%), granada (5-8%), ilmenita (3 %), pirrotita (5%) e anfibólio (<1). Zoizita e calcopirita também fazem parte da assembleia mineralógica da rocha, porém em proporções menores que 1% da sua composição modal. A textura predominante da rocha é definida como lepidoblástica, caracterizada pela orientação preferencial das lamelas de clorita, biotita e matéria carbonosa segundo a direção da foliação. Domínios compostos por quartzo e plagioclásio em granulação muito fina constituem porções granoblástica da rocha, onde também comumente observa-se cristais anédricos de zoizita de granulação fina (Figura 8.A e B). A granada ocorre em forma de porfiroblastos subeuédricos de até 1,5 mm e comumente apresentam inclusões de zoizita e ilmenita orientadas de acordo com a foliação principal. Porfiroblastos de anfibólio também são observados pontualmente. Estes se mostram como grãos subeuédricos-anédricos (até 1,5 mm) e, assim como a granada, apresentam inclusões de zoizita e ilmenita orientadas indicando caráter tardi-tectônico (Figura III.12 A e B). Localmente observa-se a deflexão da foliação em torno destes porfiroblastos gerando pequenas sombras de pressão incipiente. A ilmenita ocorre como inclusões na granada e anfibólio ou dispersa na matriz em forma de pequenos bastonetes orientados segundo a foliação principal da rocha. A pirrotita está presente como pequenos cristais dispersos na matriz e

pontualmente pode formar pequenos agregados, onde comumente observa-se calcopirita de granulação muito fina associada, que por vezes pode estar estirada de acordo com a foliação.

A composição mineralógica da rocha sugere a atuação do processo hidrotermal nesta porção, onde algumas modificações mineralógicas podem ser observadas em relação à rocha hospedeira, como o enriquecimento em clorita e o surgimento de zoizita, anfibólio e granada. Os dados de química mineral evidenciam composição de ripidolita para a clorita descrita, no qual apresenta concentrações significativa de ferro. O anfibólio mostra composição transicional entre Tchermakita e Fe-Tchermakita. O plagioclásio é classificado como bytownita (Anexos I, II, III, IV, VII e VIII).

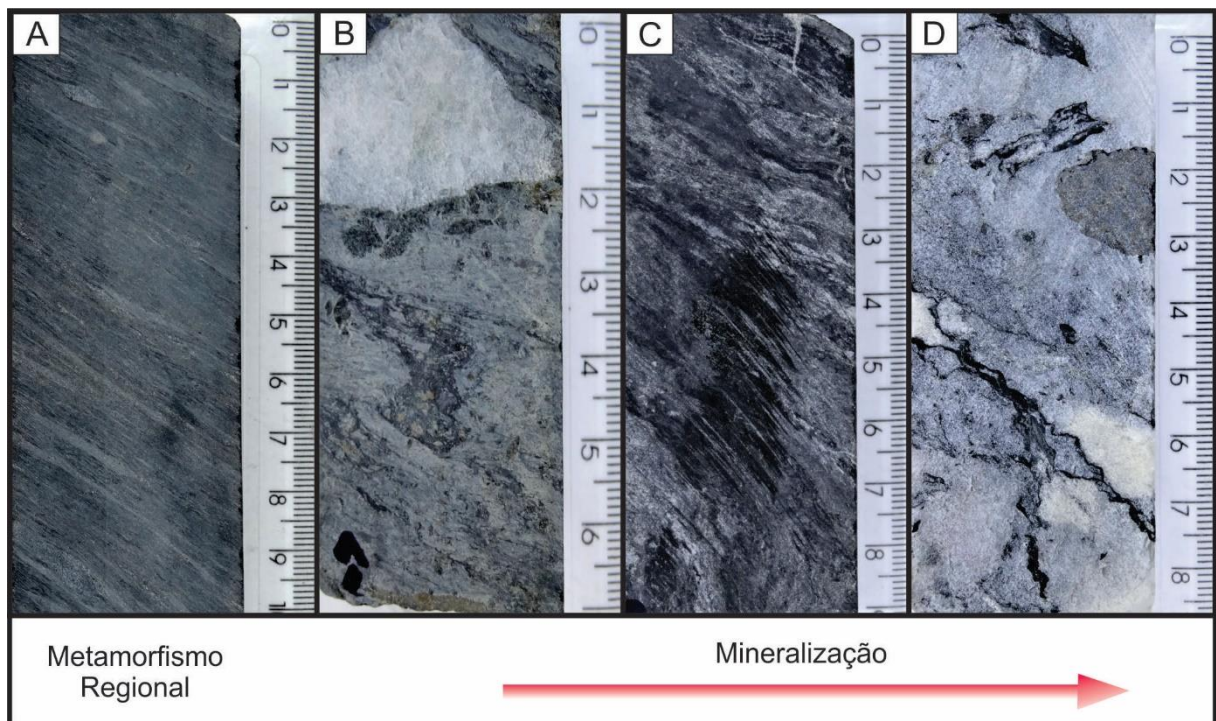


Figura III.11: Amostras do furo de sondagem MNE3UD0033 referentes à Estrutura III. A) Filito carbonoso foliado, de granulação fina e coloração cinza escuro, caracterizado pela alternância de níveis milimétricos compostos por material quartzoso com níveis milimétricos de matéria carbonosa, micas e clorita. B) Halo Distal: Rocha de coloração cinza clara, levemente foliada composta por porfiroblastos de granada e anfibólio em meio a uma matriz fina composta por matéria carbonosa e minerais lamelares. Comumente são observadas venulações preenchidas por quartzo. C). Intermediário: Rocha foliada, de granulação fina caracterizada por domínios de coloração esbranquiçada constituídos por quartzo e carbonato em meio a uma massa escura composta predominantemente por material carbonoso e minerais lamelares. D) Halo proximal: rocha maciça de coloração clara, composta predominantemente por quartzo e carbonato e níveis irregulares com material carbonoso e minerais micáceos. Localmente observa-se venulações e concentrações de sulfetos.

Halo Intermediário

O halo de alteração hidrotermal intermediário da Estrutura III é definido por uma rocha levemente foliada, de granulação fina caracterizada por domínios de coloração esbranquiçada constituídos por quartzo e carbonato em meio a uma massa escura composta predominantemente por material carbonoso e minerais lamelares (Figura III.11C).

A mineralogia principal da rocha é constituída por quartzo (30-40%), biotita (20-25%), carbonato (15-20%), material carbonoso (10-15) e plagioclásio (5%). Apatita, turmalina, pirrotita e arsenopirita constituem menos que 1% da composição modal da rocha. A rocha caracteriza-se por domínios compostos essencialmente por quartzo e carbonato definindo a textura granoblástica, em maio a domínios compostos por lamelas e biotita associadas à material carbonoso definindo porções lepidoblástica (Figura III.12C e D). Nestas porções, comumente observam-se cristais muito finos de plagioclásio formando uma massa branca e fina. O quartzo ocorre com granulação média, em grãos anédricos e com extinção ondulante e bandas de deformação, podendo apresentar porções recristalizadas. A turmalina ocorre como pequenos minerais tabulares e granulação muito fina dispersas nos domínios compostos por quartzo e carbonato. Os sulfetos ocorrem com granulação fina, disseminados pela rocha. Pontualmente pode-se identificar lamelas de clorita associadas à biotita.

A paragênese da rocha indica atuação forte do processo hidrotermal, onde parte da mineralogia original da rocha hospedeira foi substituída por quartzo e carbonato, e a clorita praticamente desaparece em relação ao halo anterior. Os dados de química mineral indicam composição do plagioclásio correspondente à labradorita e bytownita, enquanto o carbonato apresenta teores de Ca e baixas concentrações de Fe e Mg (Anexos III, IV e IX).

Halo Proximal

O halo de alteração hidrotermal proximal da Estrutura III é definido por uma rocha de coloração clara, maciça, fortemente venulada e composta predominantemente por quartzo e carbonato, com algumas porções constituídas por material carbonoso e minerais micáceos (Figura III.11D).

A assembleia mineralógica principal é composta por quartzo (50-60%), carbonato (20-25%), quartzo + plagioclásio (10-15%), matéria carbonosa (5%) e biotita (2%). Apatita, zoizita, clorita, turmalina, arsenopirita e pirrotita também podem ser observados e constituem menos

que 1% da composição modal da rocha. Embora não tenha sido identificado um volume grande de sulfetos nas lâminas estudadas, a mineralização na Estrutura III está associada a sulfetos e em testemunho de sondagem foram observadas disseminações de sulfetos no veio mineralizado. A rocha é definida preferencialmente por uma textura granoblástica caracterizada pelos grãos anédricos e de granulação média a grossa de quartzo e carbonato (Figura III.12.F). O quartzo possui contatos irregulares, extinção ondulante e comumente se encontram recristalizados na borda. Domínios formados por material carbonoso associados a lamelas de biotita em textura diablástica ocorrem em faixas irregulares em meio à matriz grossa da rocha. Cristais anédricos e de granulação muito fina de zoizita ocorrem pontualmente nestes domínios de matéria carbonosa (Figura III.12.E), enquanto a apatita se faz presente de maneira disseminada pela matriz. Turmalina ocorre raramente como cristais tabulares muito finos associada à porções de quartzo e carbonato.

A paragênese da rocha indica que se trata de uma zona de intensa alteração hidrotermal, onde os principais processos atuantes são silicificação e carbonatação. Os domínios compostos por material carbonoso associado com clorita, biotita e zoizita correspondem à porções reliquiárias menos alteradas. Os dados de química mineral evidenciam concentrações elevadas de Ca, com menores proporções de Fe e Mg, no carbonato deste nível, indicando que seja classificado como ankerita (Anexo IX).

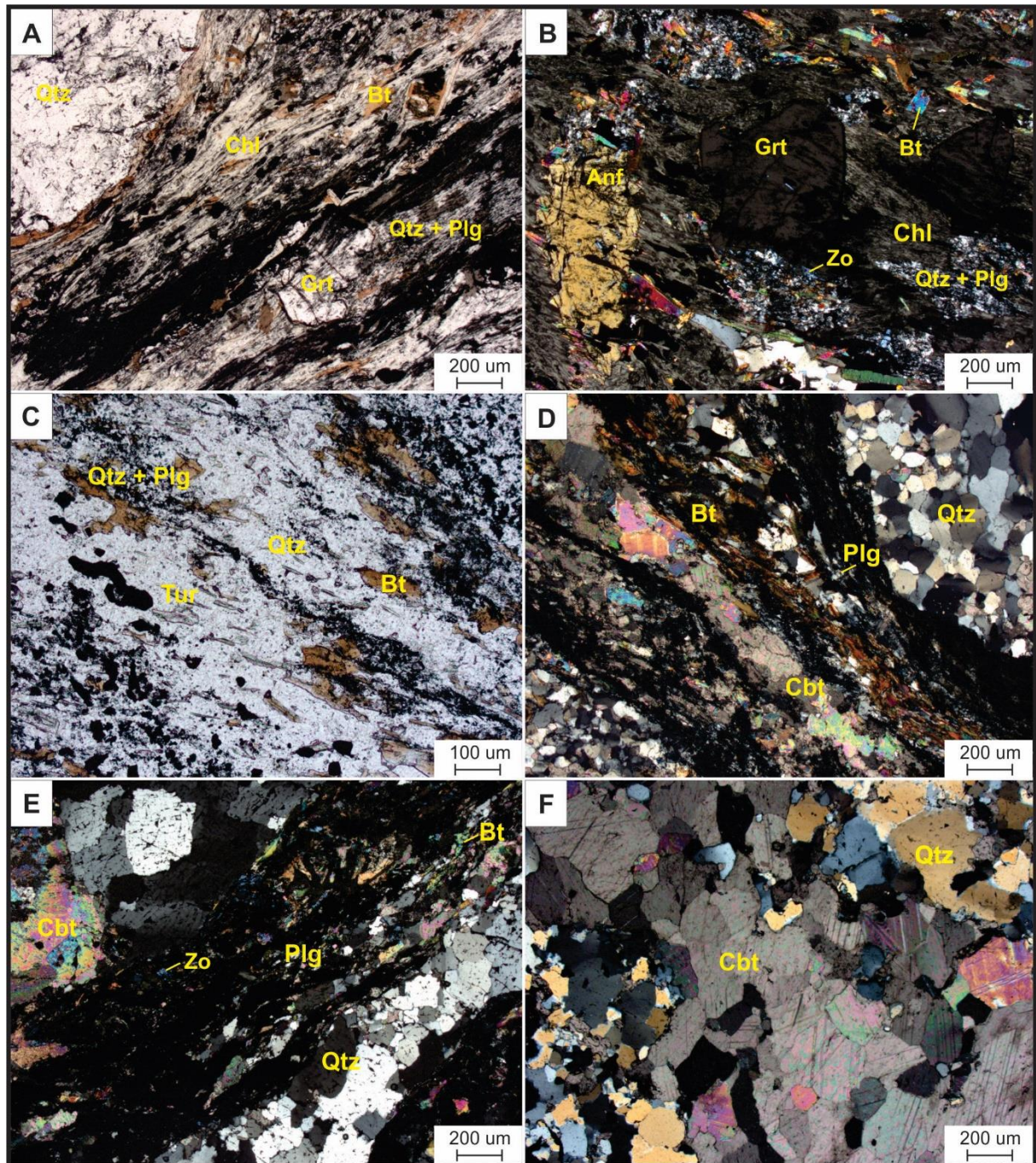


Figura III.12: Fotomicrografia do furo de sondagem MNE3UD0033, das amostras referentes à Estrutura III. A) Halo distal: porfiroblasto de granada subeuédricos em meio a lamelas de clorita e biotita orientada, com pequenos domínios compostos por cristais finos e recristalizados de quartzo e plagioclásio. B) Halo distal: porfiroblastos subeuédricos de anfibólio e granada tardi-tectónicos e foliação tectónica marcada pela orientação das lamelas de clorita e biotita, com domínios compostos por cristais finos e recristalizados de quartzo, plagioclásio e zoizita. C e D) Halo intermediário: cristais de quartzo e carbonato anédricos e de granulação média associados a lamelas de biotita, clorita e material carbonoso. E) Halo proximal: cristais recristalizados de quartzo e carbonato intercalados com domínios constituídos por material carbonoso, uma massa fina de quartzo, plagioclásio e zoizita, associadas a lamelas de biotitas. F) Halo proximal: zona próxima ao veio, composta por cristais irregulares de quartzo e carbonato.

Quartzo-muscovita-biotita-clorita- anfibólio-granada-xisto (GNCX)

Abaixo da Estrutura III ocorre o quartzo-clorita-sericita-granada xisto (GNCX), interpretado como um produto hidrotermal das metagrauvas da sequência sedimentar do *greenstone belt* Crixás. Esta unidade ocorre entre os filitos carbonosos da base da Estrutura III e o nível de metagrauvas e pode ser utilizada como camada guia para localizar a estrutura mineralizada. Esta rocha é caracterizada macroscopicamente por uma rocha foliada, de coloração cinza e destaca-se pela ocorrência de porfiroblastos milimétricos a centimétricos de granadas e anfibólios em meio a uma matriz de granulação predominantemente fina. Vênulas preenchidas por quartzo e/ou carbonato são comuns nesta unidade.

A mineralogia principal da rocha é constituída por muscovita (10-35%), biotita (15-30%), clorita (20-25%), quartzo (10-20%), granada (20-25%) e anfibólio (5-8%). Ilmenita, pirrotita e calcopitira ocorrem como minerais acessórios e constituem menos que 1% da composição modal da rocha. A textura predominante da rocha é definida como lepidoblástica, marcadas pelas lamelas de muscovita, clorita e biotita orientadas segundo a foliação principal da rocha. A granada ocorre em forma de porfiroblastos euédricos-subeuédricos de até 5mm que por vezes encontram-se rotacionados, associados à sombras de pressão definidas por cristais de quartzo recristalizados, anédricos e de granulação fina, evidenciando o caráter sin-tectônico destas granadas (Figura III.13.B). A granada também ocorre como cristais subeuédricos com granulação fina de até 0.1 mm, de forma dispersa na matriz e não apresentam registros de deformação, indicando seu caráter pós tectônico (Figura III.13.A). Porfiroblastos eubeuédricos de anfibólio orientados segundo a foliação ocorrem em menores proporções. Comumente são observadas inclusões de minerais da matriz nos porfiroblastos de anfibólios e granadas. A ilmenita ocorre na matriz da rocha em cristais subeuédricos e prismáticos, com granulação fina e orientada segundo o plano da foliação. Os sulfetos se apresentam como cristais anédricos, de granulação fina e de maneira disseminada pela matriz da rocha.

Os dados de química mineral exibem composições correspondente à Fe-Tchermakita para o anfibólio. A clorita é classificada como ripidolita e apresenta concentrações elevadas de Fe (Anexos I, II, VII e VIII).

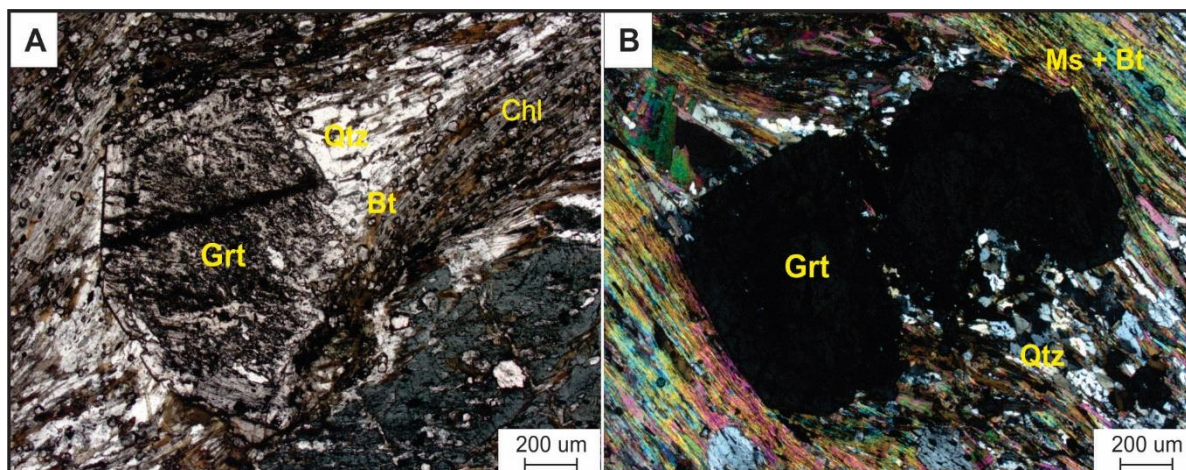


Figura III.13: Fotomicrografia do GNCX. A) Porfiroblastos subeuédricos de granada e anfibólio. A granada está contornada pela foliação e apresenta sombras de pressão. O anfibólio está orientado segundo a filiação. B) Porfiroblastos de granadas subeuédricos contornado pela foliação tectônica e com sombras de pressão. A foliação tectônica é marcada pela orientação preferencial de muscovita e biotita.

III.5. Espectroscopia de Reflectância

A utilização de técnicas espectrais na exploração mineral tem se tornando cada vez mais recorrente, visto que são ferramentas úteis para o mapeamento mineral e, conseqüentemente, auxiliam na delimitação de zonas de alteração hidrotermal associadas às mineralizações, principalmente quando integradas ao uso de outros métodos.

Pontual *et al.*, (2008) descrevem alguns problemas comuns no processamento de dados espectrais provenientes de rochas pertencentes à terrenos tipo *greenstone belts* Arqueanos: (1) dificuldades para interpretar espectros com misturas de minerais, principalmente nas rochas máficas e ultramáficas, devido à presença de minerais com feições de absorção relacionadas ao MgOH. A ocorrência de feições de absorção de diferentes minerais na mesma região do SWIR pode gerar a sobreposição das feições, aumentando assim a complexidade para a interpretação dos espectros. (2) reconhecer e diferenciar as assinaturas espectrais da hornblenda e actinolita quando estes minerais ocorrem misturados. (3) espectros de baixa qualidade devido à presença de ruídos, comumente associados a rochas carbonosas escuras e amostras com abundância de sulfetos e magnetita em suas composições. (4) determinar a composição da mica branca utilizando a feição de absorção gerada pela AlOH quando ocorrem outros minerais com feições relacionadas ao AlOH na mesma amostra. Neste projeto as maiores dificuldades sucederam-se devido à grande quantidade de amostras apresentando respostas espectrais com baixa razão sinal/ruído, principalmente nos espectros referentes aos níveis de filito carbonoso e também a

ocorrência de muitos espectros com misturas minerais, comuns nas rochas máficas hidrotermalizadas.

Foram identificados ao todo seis grupos minerais: clorita (Mg clorita, Mg-Fe/ Fe-Mg clorita e Fe clorita), hornblenda, carbonato (ankerita, calcita e dolomito), mica branca (muscovita e paragonita), epidoto e talco (Figura III.14). As tabelas III.1 e III.2 abaixo apresentam os algoritmos e parâmetros empregados neste projeto para a identificação dos minerais. Foram definidos os parâmetros de abundância e composição mineral e gerados scatter plots apresentando as variações destes parâmetros de acordo com a profundidade do furo CPIVESD0031 (Figura III.15).

Para identificar e eliminar espectros com baixa razão sinal/ruído foi utilizado o parâmetro SRNsTas para a geração do filtro com a condição $SRNsTaS > 315$ (Tabela III.1).

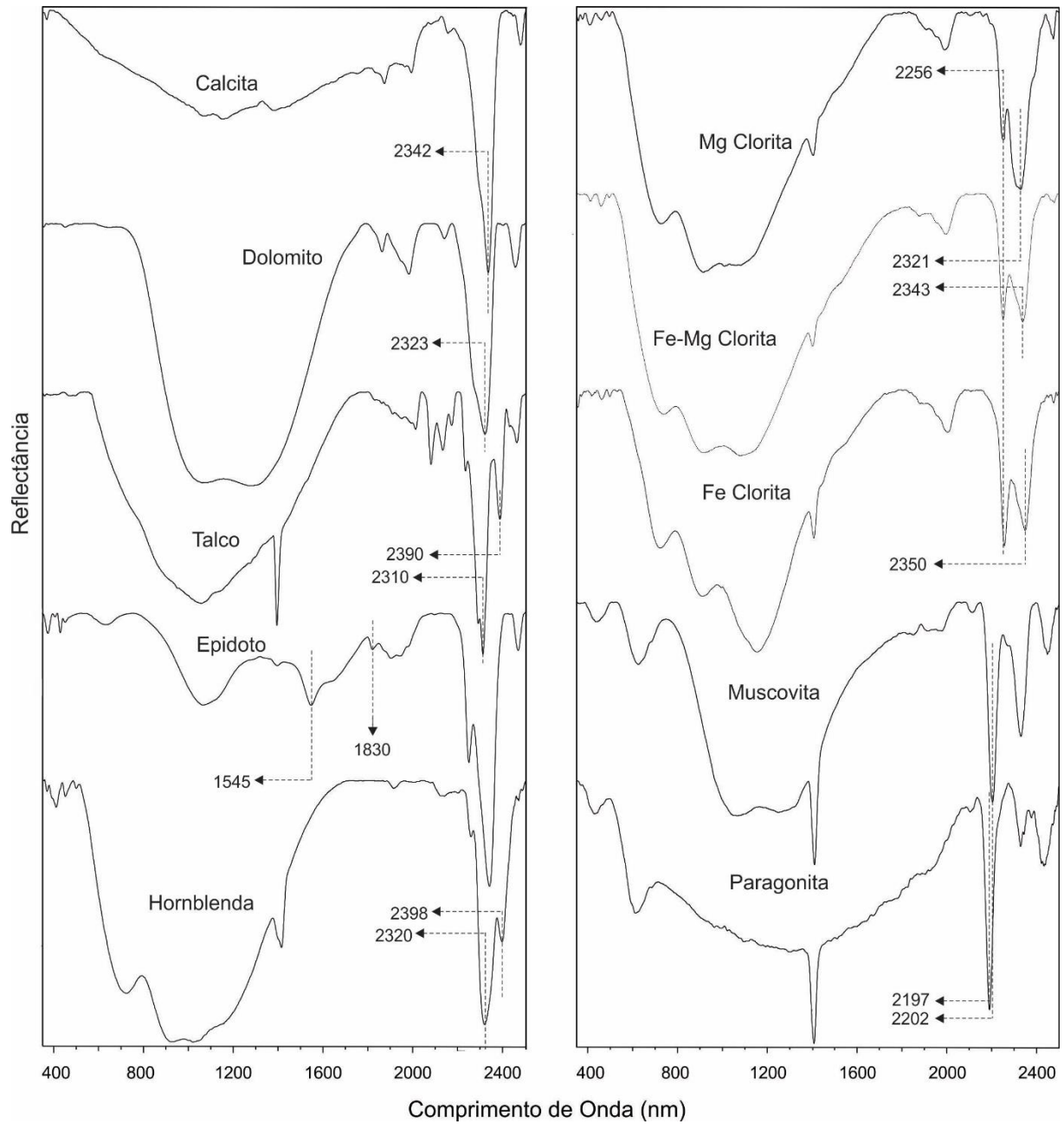


Figura III.14: Espectros de reflectância empilhados dos minerais identificados nas amostras do furo de sondagem CPIVESD0031. Em destaque encontram-se as feições de absorção diagnósticas de cada mineral.

Tabela III.1: Algoritmos utilizados para definir os parâmetros espectrais (profundidade da feição de absorção, comprimento de onda mínimo, etc) das feições de absorção individuais (Modificado de Prado *et al.*, 2016).

Parâmetro	Função	Algoritmos - TSG Core
SNRs TAS	Identificar espectros com ruído	ARITH: SRNs TAS > 315
2340Dcl	Identificar e quantificar a clorita	PROFILE: Profundidade relativa da feição de absorção do espectro removido do contínuo entre 2280 e 2400 nm
2253D	Identificar clorita	PROFILE: Profundidade relativa da feição de absorção do espectro removido do contínuo entre 2243 e 2263 nm
2340Wvl	Composição da clorita	PROFILE: Comprimento de onda da feição de absorção do espectro removido do contínuo entre 2320 e 2360 nm
2328Dc	Identificar e quantificar carbonato	PROFILE: Profundidade relativa da feição de absorção do espectro removido do contínuo entre 2293 e 2363 nm
2328Wvl	Composição do carbonato	PROFILE: Comprimento de onda da feição de absorção do espectro removido do contínuo entre 2293 e 2363 nm
2200Dwm	Identificar e quantificar mica branca	PROFILE: Profundidade relativa da feição de absorção do espectro removido do contínuo entre 2180 e 2220 nm
2200Wvl	Composição da mica branca	PROFILE: Comprimento de onda da feição de absorção do espectro removido do contínuo entre 2180 e 2220 nm
2390D	Identificar e quantificar o anfibólio	PROFILE: Profundidade relativa da feição de absorção do espectro removido do contínuo entre 2375 e 2405 nm
2320Danf	Identificar o anfibólio	PROFILE: Profundidade relativa da feição de absorção do espectro removido do contínuo entre 2308 e 2328 nm
2390Wvl	Composição do anfibólio	PROFILE: Comprimento de onda da feição de absorção do espectro removido do contínuo entre 2375 e 2405 nm
1550D	Identificar e quantificar o epidoto	PROFILE: Profundidade relativa da feição de absorção do espectro removido do contínuo entre 1500 e 1600 nm
1832D	Identificar o epidoto	PROFILE: Profundidade relativa da feição de absorção do espectro removido do contínuo entre 1817 e 1847 nm
2310D	Identificar e quantificar o talco	PROFILE: Profundidade relativa da feição de absorção do espectro removido do contínuo entre 1295 e 1325 nm
1400D	Identificar o talco	PROFILE: Profundidade relativa da feição de absorção do espectro removido do contínuo entre 1385 e 1415
2290D	Identificar o talco	PROFILE: Profundidade relativa da feição de absorção do espectro removido do contínuo entre 2283 e 2297

Tabela III.2: Produtos espectrais utilizados para a extração dos parâmetros abundância e composição mineral referente aos minerais do furo de sondagem CPIVESD0031.

Nome	Minerais Detectados	Algoritmo Base	Filtros/ Máscaras
Abundância da clorita	Clorita	2340Dcl	2340 D / 2253 D entre 0,882 e 1,395 2340 Wvl > 2330,65
Composição da clorita	Clorita	2340Wvl	2340 D / 2253 D entre 0,882 e 1,395 2340 Wvl > 2330,65
Abundância do carbonato	Dolomito, ankerita e calcita	2328Dc	2385D / 2320D entre 0,0013 e 0,3 2328D > 0,0352 Abundância clorita = 0
Composição do carbonato	Dolomito, ankerita e calcita	2328Wvl	2385D / 2320D entre 0,0013 e 0,3 2328Wvl > 2293,79 2328D > 0,0352 Abundância clorita = 0
Abundância das micas	Muscovita e paragonita	2200Dwm	2200D > 0,0187
Composição das micas	Muscovita e paragonita	2200Wvl	2200D > 0,0187
Abundância do anfibólio	Hornblenda	2320Danf	2385 > 0,0569 2340 and 2253 and (SRN > 315)
Composição do anfibólio	Hornblenda	2390Wvl	2385 > 0,0569 2340 and 2253 and (SRN > 315)
Abundância do epidoto	Epidoto	1550D	2340D / 2245D entre 1,268 e 2,273 1550D / 1832D entre 0,755 e 0,15 2200D < 0,054
Abundância do talco	Talco	2310D	2310D / 2290D entre 1,123 e 1,42 1400D > 0,0679 Talco_abd > 0,113

III.5.1 Clorita

De todos os minerais mapeados pela espectroscopia de reflectância a clorita é o mais abundante no furo CPIVESD0031. O espectro da clorita é caracterizado por duas feições de absorção diagnósticas principais, uma entre 2240 e 2270 nm, relacionada à presença de FeOH na estrutura do mineral, e outra entre 2320 e 2365 nm, associada ao MgOH. A posição das feições de absorção varia de acordo com a composição do mineral: para comprimentos de ondas mais curtos tem-se cloritas magnesianas e conforme o comprimento de onda cresce, as proporções de Fe na composição do mineral também aumentam. Mg cloritas apresentam feições de

absorção em aproximadamente 2240-2249 nm e 2320-2342 nm. Composições intermediárias de Mg-Fe cloritas são definidas pelas feições de absorção em 2250-2256 nm e 2342-2355 nm e Fe cloritas caracterizam-se por feições em 2257-2265 nm e 2355-2365 nm (Figura III.1, Pontual *et al.*, 2008).

No presente projeto a abundância da clorita foi determinada a partir do parâmetro 2340Dcl (Tabelas III.1 e III.2). Comumente foram identificados espectros de cloritas em misturas minerais, associadas principalmente a carbonatos e epidotos. No furo CPIVEDS0031 a clorita foi mapeada predominantemente nos pacotes de rochas máficas hidrotermalizadas representadas pelo quartzo-clorita-carbonato-sericita xisto (CBCX) e clorita-granada xisto (CXV), incluindo nos halos de alteração hidrotermal da Estrutura Palmeiras e ocasionalmente nos pacotes de metabasalto (MBA). A clorita também ocorre com menor expressão em determinados níveis de filitos carbonosos (GXN), onde também está relacionada às zonas hidrotermalizadas (Figura III.15).

Os dados obtidos através do parâmetro de composição (2340Wvl, Tabelas 1 e 2) foram utilizados em um histograma correlacionando a composição das cloritas com as concentrações de ouro nas amostras (Figura III.16). Os resultados evidenciam a predominância de cloritas de composições magnesianas e intermediárias, com menor ocorrência de cloritas férricas. As amostras com concentrações de ouro mais elevadas estão diretamente associadas às Fe-Mg cloritas. As cloritas mais enriquecidas em ferro ocorrem predominantemente nas zonas hidrotermais das estruturas Palmeiras e IV, enquanto as cloritas das rochas hospedeiras são mais magnesianas. Esta relação foi confirmada pelos dados de microsonda eletrônica (Anexos I e II).

III.5.2 Hornblenda

A hornblenda também é caracterizada por feições diagnósticas relacionadas ao MgOH, ocorrentes em 2320 e 2330 nm e 2390 e 2400 nm (Figura III.14, Pontual *et al.*, 2008). No presente trabalho o parâmetro 2320Danf foi utilizado para definir a abundância da hornblenda (Tabelas III.1 e III.2). No furo CPIVEDS0031 a hornblenda é o segundo mineral mais abundante e está associado predominantemente nos pacotes de metabasalto (MBA), podendo ocorrer também em alguns níveis metabasaltos hidrotermalizados, como quartzo-clorita-carbonato-sericita xistos (CBCX) (Figura III.15).

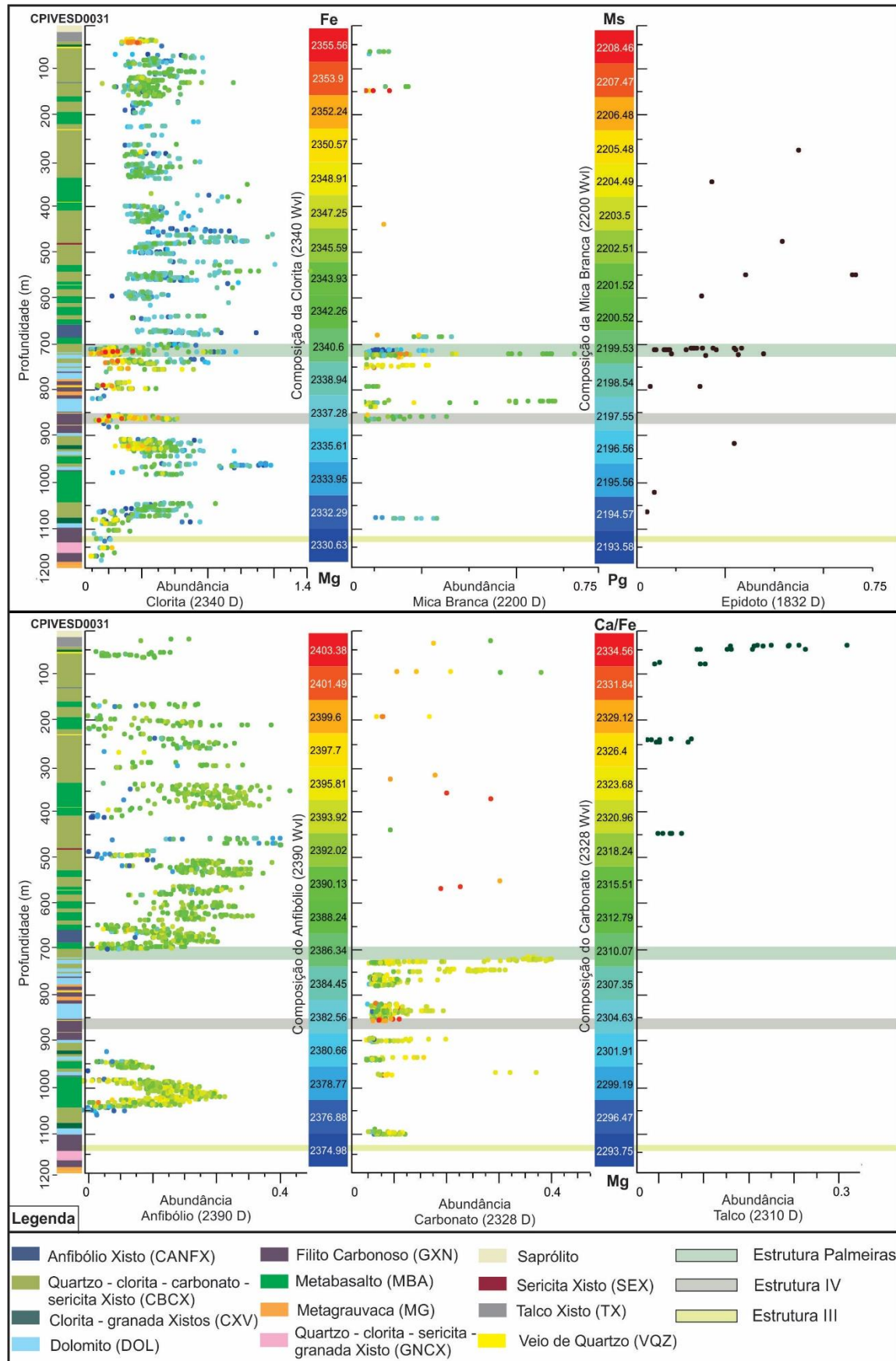


Figura III.15: Scatter plots apresentando a variação dos parâmetros de composição e abundância de acordo com a profundidade do furo CPIVESD0031.

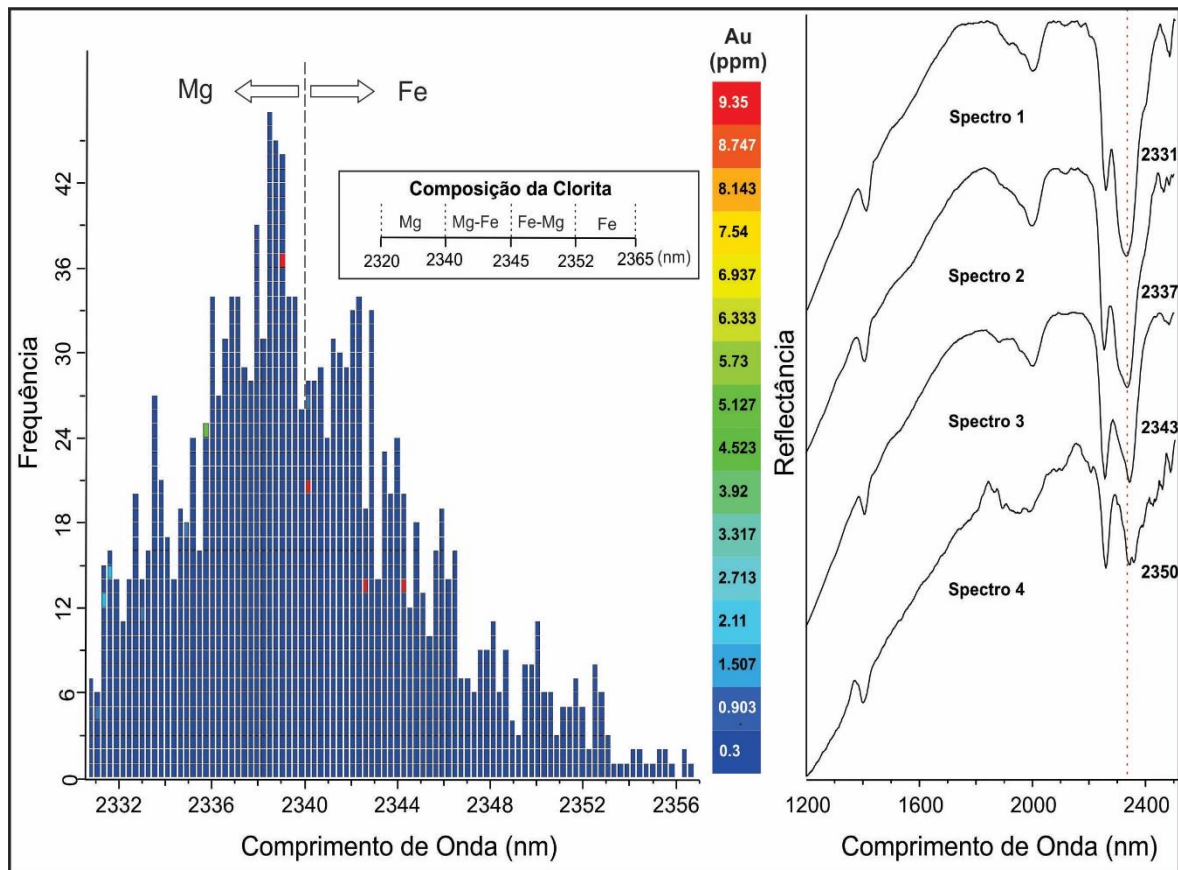


Figura III.16: Histograma mostrando a correlação entre a composição da clorita e concentração de ouro nas amostras. Ao lado estão apresentados os espectros representativos de cada composição de clorita identificada.

III.5.3 Carbonatos

Os carbonatos são reconhecidos por feições associadas ao CO_3^{2-} . As principais feições diagnósticas ocorrem entre 2500 e 2550 nm e 2300 e 2350 nm e outras três feições menores podem aparecer em aproximadamente 2120-2160 nm e 1997-2000 nm. A posição da feição varia de acordo com a composição, onde tem-se dolomitos com feições de absorção entre 2300-2324 nm, anketiras em torno de 2332 nm e calcitas em aproximadamente 2340 nm. Os carbonatos de ferro também podem ser caracterizados por uma queda no espectro a partir de 1700 nm em direção aos comprimentos de onda menores (Figura III.14, Hunt & Salisbury, 1971; Gaffey, 1986; Clark *et al.*, 1990, 1999; Pontual *et al.*, 2008). O parâmetro de definição da abundância do carbonato empregado neste projeto foi 2328 Dc (Tabelas III.1 e III.2) e seus resultados evidenciaram a predominância de carbonatos nos pacotes de dolomitos, com menor expressão em alguns níveis de metabasaltos (MBA) e metabasaltos hidrotermalizados (CBCX e CXV). No filito carbonoso (GXN) o carbonato ocorre restritamente na zona de alteração da Estrutura IV (Figura III.15).

O parâmetro de composição do carbonato (2328 Wvl, Tabelas III.1 e III.2) evidenciou uma variação na composição dos carbonatos identificados no furo CPIVESD0031. Os dados estão exibidos em um histograma de frequência que correlaciona as composições minerais com os teores de ouro nas amostras (Figura III.17). Os resultados mostram que predominam carbonatos com composições de dolomitos. Ankerita (carbonato de Fe) ocorre de maneira restrita às zonas mineralizadas, sendo observadas nos halos distal e intermediário da estrutura IV (Figura III.15). As calcitas foram pouco identificadas e estão mais associadas aos níveis de rochas máficas e provavelmente representam amígdalas preenchidas por quartzo e carbonato (Figura III.15).

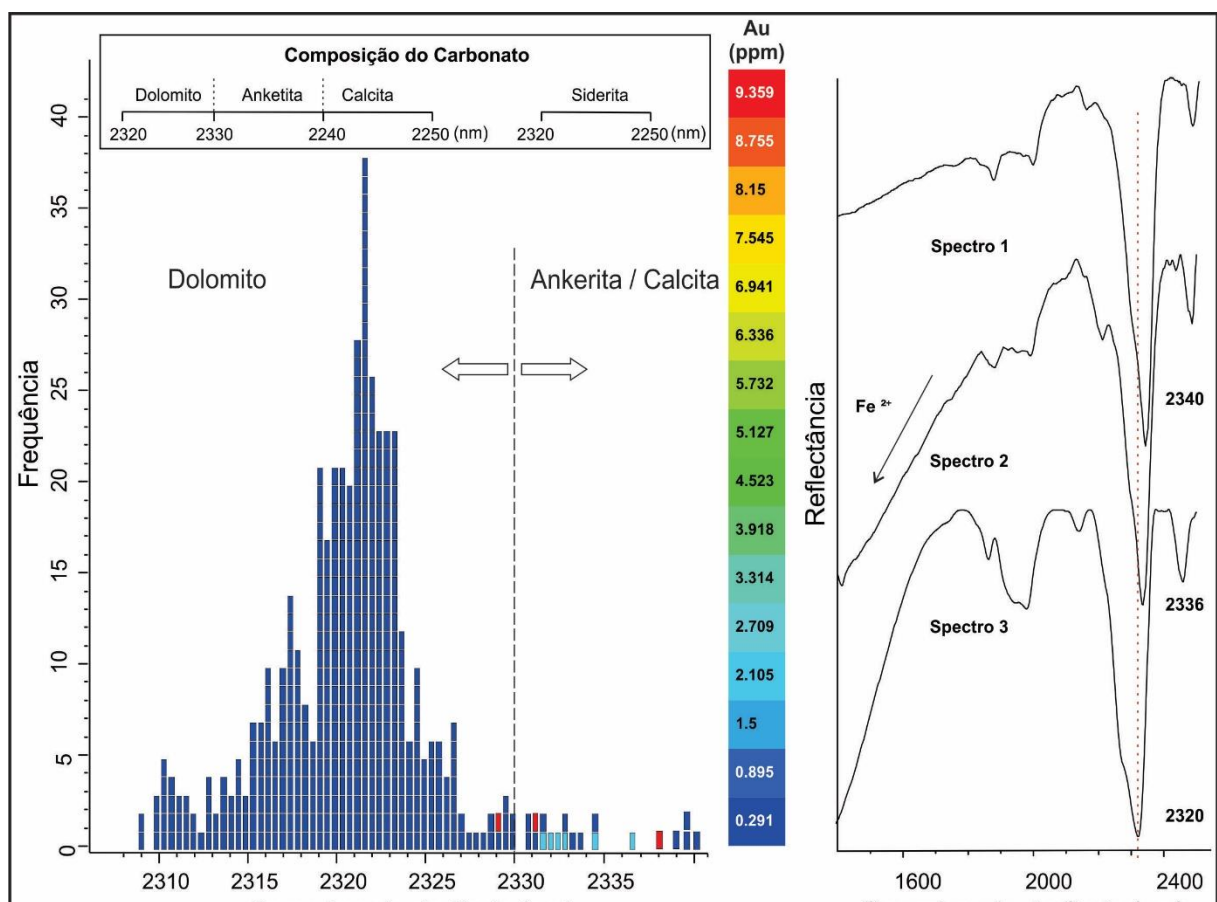


Figura III.17: Histograma mostrando a correlação entre a composição dos carbonatos com a concentração de ouro nas amostras. Ao lado, estão exibidos os espectros representativos de cada composição de carbonato identificada.

III.5.4 Mica Branca

A principal feição de absorção diagnóstica da mica branca está relacionada ao AlOH e ocorre em torno de 2200 nm. Assim como outros minerais, a posição da feição de absorção da mica branca vai variar de acordo com a sua composição. Segundo Pontual *et al.*, (2008), feições entre

2180 e 2190 nm correspondem à paragonita (micas com Na em sua composição) enquanto feições entre 2200 e 2208 nm caracterizam as muscovitas (Figura III.14). As fengitas são identificadas pelas feições de absorção entre 2216 e 2228 nm. Os intervalos de comprimento de onda intermediários de 2190-2200 nm e 2208-2216 nm determinam micas com composições “tendendo” à paragonita e fengita, respectivamente.

A abundância da mica branca foi definida a partir do parâmetro 2200Dwm (Tabelas III.1 e III.2) e os resultados evidenciaram a presença pontual de mica associada a áreas hidrotermalizadas tanto nas rochas máficas (CBCX), quanto nos dolomitos (DOL) e filito carbonoso (GXN), onde pode-se destacar a abundância de mica na Estrutura Palmeiras e Estrutura IV.

A partir do parâmetro de composição (2200Wvl) foi possível identificar dois grupos de micas com composições distintas. Os dados foram plotados em um histograma de composição onde pode-se observar a correlação entre as composições das micas com as dosagens de ouro nas amostras (Figura III.18). O primeiro grupo identificado apresenta composições tendendo à paragonita, com feições variando entre 2192 e 2200 nm. Estas micas ocorrem restritamente na parte interna da Estrutura Palmeiras. O segundo grupo de micas possui feições de absorção entre 2200 e 2209 nm, correspondendo a muscovitas. Estas estão presentes na Estrutura Palmeiras e IV, podendo ocorrer também em certos níveis de dolomitos (DOL) (Figura III.15). As concentrações de ouro estão associadas a micas com composições de muscovitas.

III.5.5 Epidoto

As duas principais feições de absorção do epidoto ocorrem em 2335 nm e 2256 nm, sendo a segunda relacionada à presença de FeOH na estrutura do mineral. Porém, outros minerais exibem feições de absorção nesta região (como clorita e carbonatos) e em misturas minerais é comum que ocorra a sobreposição destas feições. Portanto, indica-se que se utilize as feições associadas ao OH que ocorrem em 1545 nm e 1830 nm para diagnosticar o epidoto (Figura III.14, Clark *et al.*, 1990; Pontual *et al.*, 2008). No presente trabalho o parâmetro 1550D (Tabelas III.1 e III.2) foi aplicado para determinar a abundância do epidoto. Os resultados mostram que o epidoto está presente em abundância predominantemente na zona hidrotermal da Estrutura Palmeiras, com algumas ocorrências pontuais nos pacotes de metabasalto (MBA) (Figura III.15). De acordo com os halos hidrotermais definidos com as descrições petrográficas este nível corresponde ao halo de alteração intermediário da estrutura.

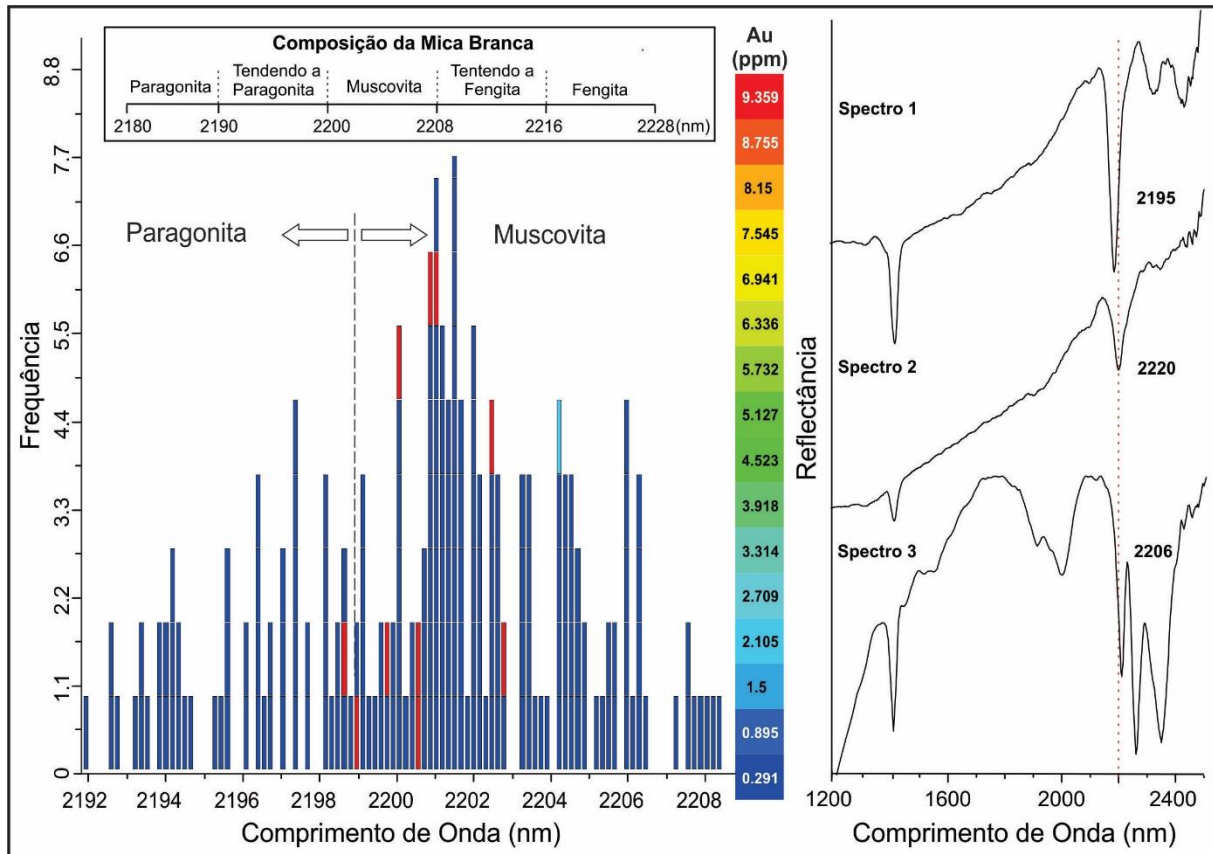


Figura III.18: Histograma mostrando a correlação entre a composição da mica branca e a concentração de ouro nas amostras. Ao lado estão apresentados os espectros referentes a cada composição de mica identificada.

III.5.6 Talco

O talco é um mineral relativamente simples de ser identificado, definido por uma feição de absorção dupla em 2288 e 2320 nm e outra em 2390 nm, ambas associadas ao MgOH. A feição de absorção em torno de 1396 nm está relacionada ao OH e também pode ser utilizada para identificar o talco (Figura 1, Clark *et al.*, 1990; Pontual *et al.*, 2008). O parâmetro 2310D foi utilizado para determinar a abundância do talco no furo CPIVESD0031, onde ele ocorre quase restritamente ao pacote de rocha vulcânica ultramáfica representado pelo talco xisto (TX), aparecendo também com pouca expressão em certos domínios do quartzo-clorita-carbonato-sericita-xisto (CBCX) (Figura III.15).

III.6 Geoquímica das Estruturas Mineralizadas

O *footprint* geoquímico de um depósito evidencia os efeitos químicos dos processos hidrotermais mineralizantes desde porções mais distais até zonas mineralizadas. A percolação destes fluidos hidrotermais mineralizantes resulta em mudanças mineralógicas e geoquímicas

nas rochas encaixantes, que podem chegar a escalas de metros muito maiores além da zona mineralizada central. O halo de alteração geoquímica associado a depósitos orogênicos pode ser definido por graus variados de enriquecimento/depleção de Au e outros elementos traçadores (Hamisi, 2016). Processos metassomáticos que decorrem nas zonas de alteração hidrotermal resultam em alterações químicas significantes nas rochas hospedeiras, onde comumente destaca-se o enriquecimento em H₂O, CO₂, K₂O, Na₂O e SiO₂ no sistema. Também é comum o ganho de elementos como Au, Ag, As, W, B, Mo, Hg, Sb, Rb e Te podendo ocorrer também anomalias nas concentrações de metais base como Cu, Pb e Zn (Groves *et al.*, 1998; Dubé & Gosselin, 2007; Pirajno, 2008).

Para definir as assinaturas geoquímicas das zonas de alteração hidrotermal associada às estruturas mineralizadas no *greenstone belt* Crixás foram elaborados perfis *strip logs* a partir das análises químicas de rocha total obtidas furo de sondagem CPIVESD0031 (Figuras III.19 e 20; Anexo XI). A partir destes perfis foi possível observar a mobilidade dos elementos químicos ao longo de todo o furo de sondagem, diferenciando cada litotipo, além das estruturas mineralizadas. Em destaque, observa-se os intervalos das Estruturas Palmeiras, IV e III.

Adicionalmente também foram elaborados diagramas onde foram plotadas as dosagens geoquímicas de todas as amostras de metabasalto do furo CPIVESD0031, juntamente com as amostras do quartzo-clorita-carbonato-sericita xisto (CBCX), com as amostras da Estrutura Palmeiras destacadas (Figuras III.21, 22 e 23), bem como foram gerados diagramas com as análises de todas as amostras de filito carbonoso, onde as amostras das Estruturas III e IV encontram-se destacadas (Figuras III.24 e 25). Desta forma, pode-se evidenciar as principais modificações nas dosagens dos elementos químicos nas zonas de alteração hidrotermal em relação às rochas hospedeiras. Abaixo estão apresentadas as principais assinaturas geoquímicas das Estruturas Palmeiras, III e IV.

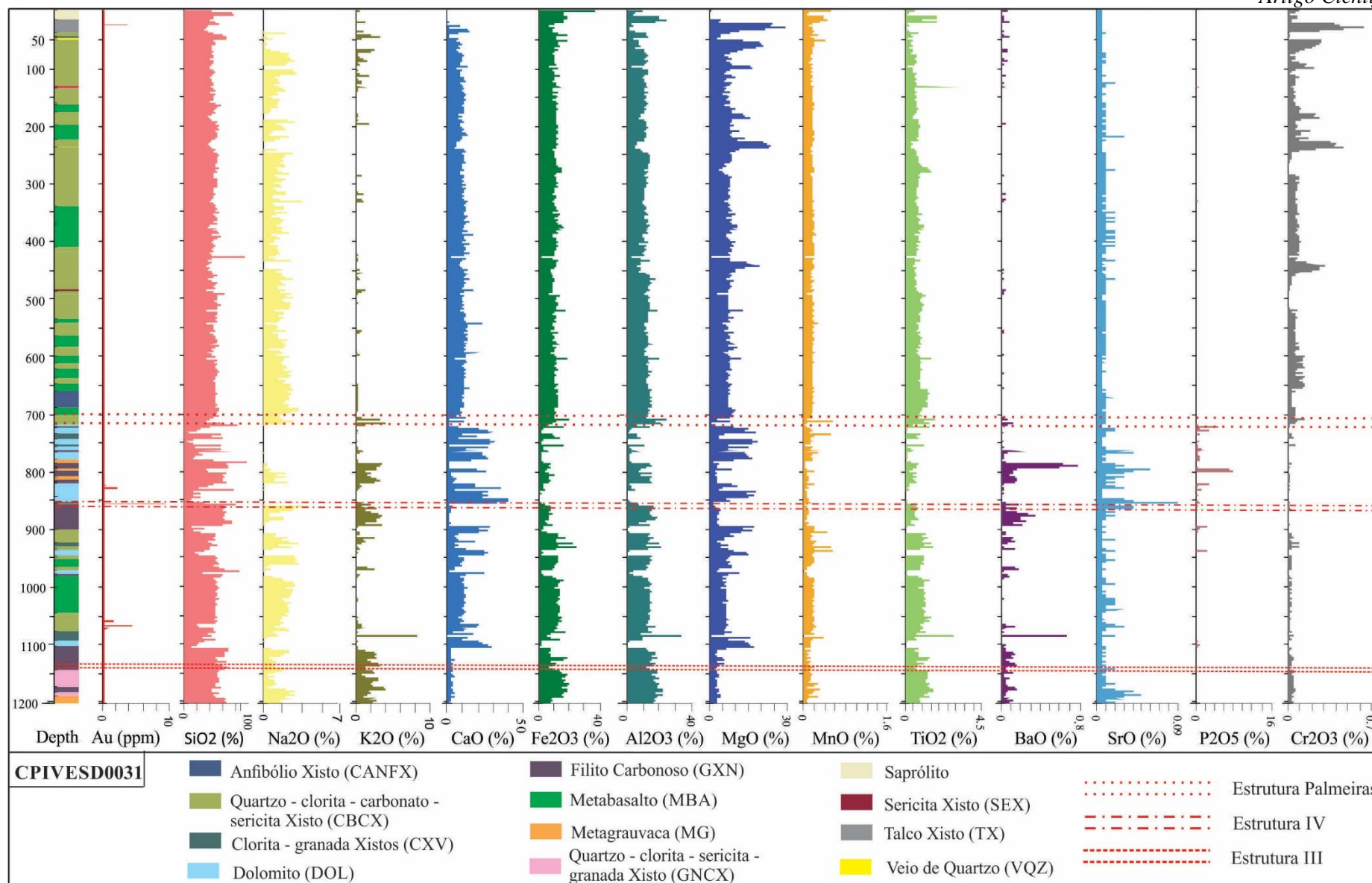


Figura III.19: Scatter Plots apresentando a resposta geoquímica ao longo do testemunho de sondagem para elementos maiores. Estão destacadas as estruturas mineralizadas: Estrutura Palmeiras, Estrutura IV e Estrutura III.

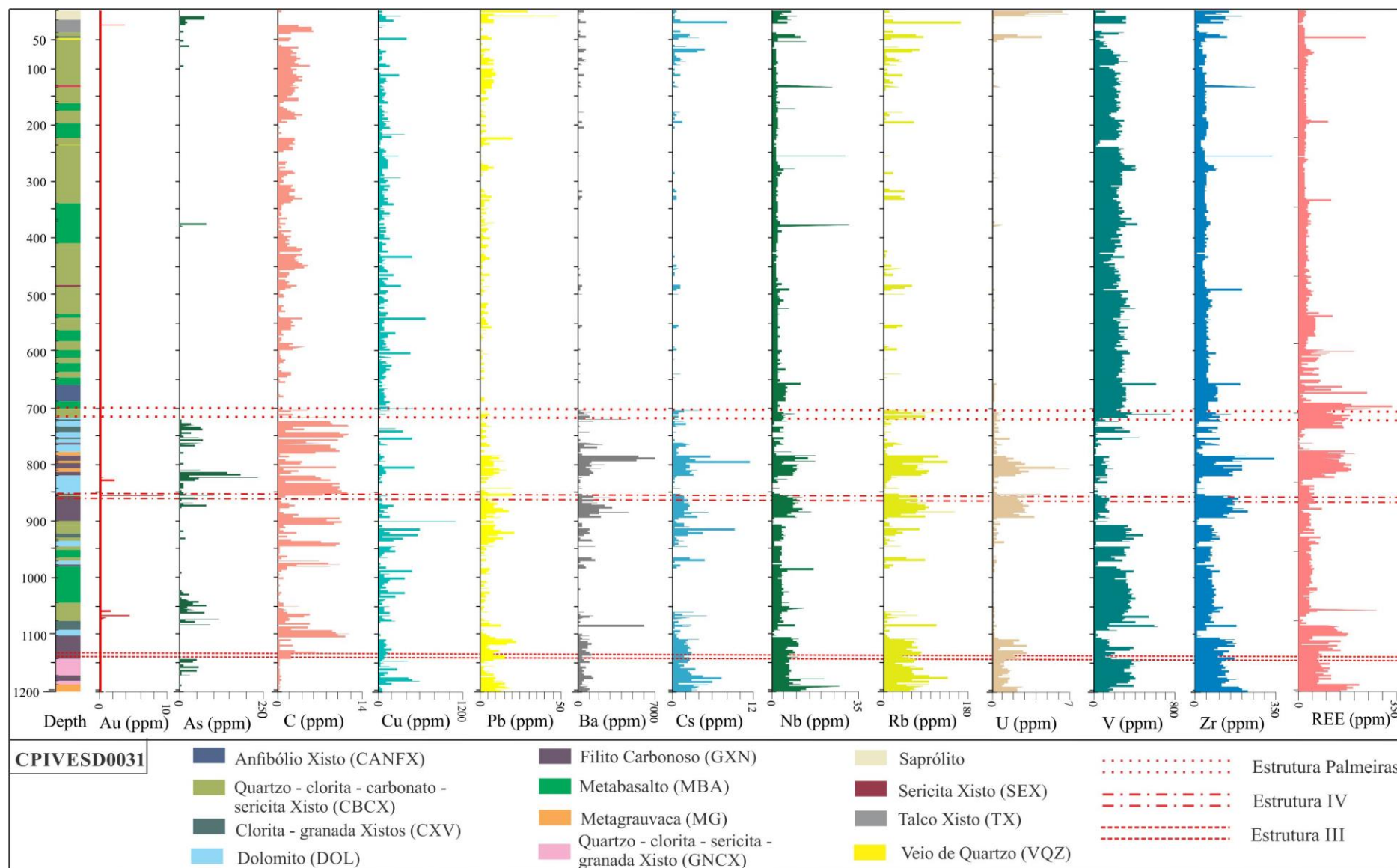


Figura III.20: Scatter Plots apresentando a resposta geoquímica ao longo do testemunho de sondagem para elementos maiores e menores. Estão destacadas as estruturas mineralizadas: Estrutura Palmeiras, Estrutura IV e Estrutura III.

III.6.1 Estrutura Palmeiras

Os resultados obtidos para elementos maiores (Figura III.19 e 21) destacam um amplo incremento de K₂O e BaO em todos os níveis de metabasalto hidrotermalizado (CBCX), sendo ele maior nos três halos de alteração associados à Estrutura Palmeiras. Nota-se também o enriquecimento progressivo de Al₂O₃, Na₂O, Ti₂O e Fe₂O₃ em direção à zona interna da Estrutura Palmeiras. O MnO mostra um comportamento distinto, com aumento nas concentrações nos halos de alteração distal e intermediário da Estrutura Palmeiras, seguido de uma depleção significativa no halo proximal (Figura X). CaO, MgO, e P₂O exibiram uma depleção progressiva em direção ao halo proximal da Estrutura Palmeiras (Figuras III.19 e 21).

Em relação aos elementos menores, nota-se um grande enriquecimento em Ba, Cs, Rb, Li e Bi ao longo de todas as amostras de quartzo-clorita-carbonato-sericita-xisto (CBCX), incluindo o intervalo da Estrutura Palmeiras. Também é observado o aumento nas concentrações de U, V, Co, Cd, Zn, W e ETR ao longo da zona de alteração hidrotermal da Estrutura Palmeiras (Figuras III.20 e 21).

Adicionalmente, observa-se uma zona que se encontra mineralizada fora do intervalo da Estrutura Palmeiras que também está hospedada no metabasalto hidrotermalizado em aproximadamente 1060 m (Figuras III.19 e 20). Este nível mineralizado é destacado pela geoquímica, onde observa-se o enriquecimento em As, W, Tl, Sb, Te e Bi acompanhando o aumento em Au, além de alguns elementos citados anteriormente como Ba, Cs, Rb, Li, Cd e K₂O (Figuras III.21, 22 e 23).

III.6.2 Estrutura IV

Diferentemente da Estrutura Palmeiras, as modificações geoquímicas nos halos de alteração hidrotermal da Estrutura IV se mostraram menos pronunciadas. Entretanto, diferenças químicas entre os halos de alteração hidrotermal e a rocha hospedeira puderam ser observadas (Figuras III.24 e 25).

Em relação aos elementos maiores, observou-se um enriquecimento em SiO₂ e CaO ao longo de todas as zonas hidrotermal da Estrutura IV. Ademais, Na₂O e P₂O mostrou aumento nos halos distal e proximal e depleção no halo intermediário e K₂O exibe um pequeno ganho no halo intermediário, acompanhado de empobrecimento nos

halos distal e proximal. Por outro lado, MgO, Fe₂O₃, Al₂O₃, TiO₂ e MnO mostram depleção progressiva em direção ao interno da Estrutura IV (Figura III.24).

Quanto aos elementos menores, o principal destaque da Estrutura IV é o enriquecimento em As, identificado ao longo de todos os halos de alteração hidrotermal (Figuras III.20 e 25). Além do As, também são observados ganhos menores em Sb, Re, W, Te, Bi e Cd. Ag e Hg estão presentes nas zonas intermediária e distal respectivamente (Figura X).

III.6.3 Estrutura III

A Estrutura III também está hospedada no pacote de filito carbonoso, e, entretanto, apresenta comportamento relativamente distintos para determinados elementos químicos em relação à Estrutura IV. Em relação aos elementos maiores (Figura III.24), destaca-se na Estrutura III o enriquecimento em todo o pacote hidrotermalizado de CaO e SiO₂. Para o CaO, o ganho é maior no halo proximal, seguido do halo distal e menos proeminente no halo intermediário. A concentração de SiO₂ diminui levemente no halo distal e aumentam próximo ao veio mineralizado. Por outro lado, existe uma perda nos óxidos Al₂O₃, Fe₂O₃, Na₂O, MgO, Ti₂O₃, MnO, Na₂O, K₂O, BaO e P₂O₅ que apresentam uma diminuição na concentração em direção as zonas mineralizadas. Em relação ao MgO, nota-se um ganho moderado no halo distal e intermediário, seguidos de perda no halo proximal (Figura III.24).

Quanto aos elementos menores (Figura III.25), o principal destaque da Estrutura III é o ganho expressivo de As ao longo de toda a estrutura, assim como na Estrutura IV. Evidencia-se também o enriquecimento progressivo de Cd em direção à mineralização. Existe também um leve enriquecimento de Se, Te, Cu e S na zona distal, com diminuição progressiva em direção as zonas mineralizadas. Todos os outros elementos traço analisados estão depletados nas zonas de alteração e decrescem em diferentes proporções em direção à zona mineralizada. Observa-se ainda um leve ganho de Ag nos halos distal e proximal. As concentrações de Au são maiores apenas na amostra referente ao veio mineralizado.

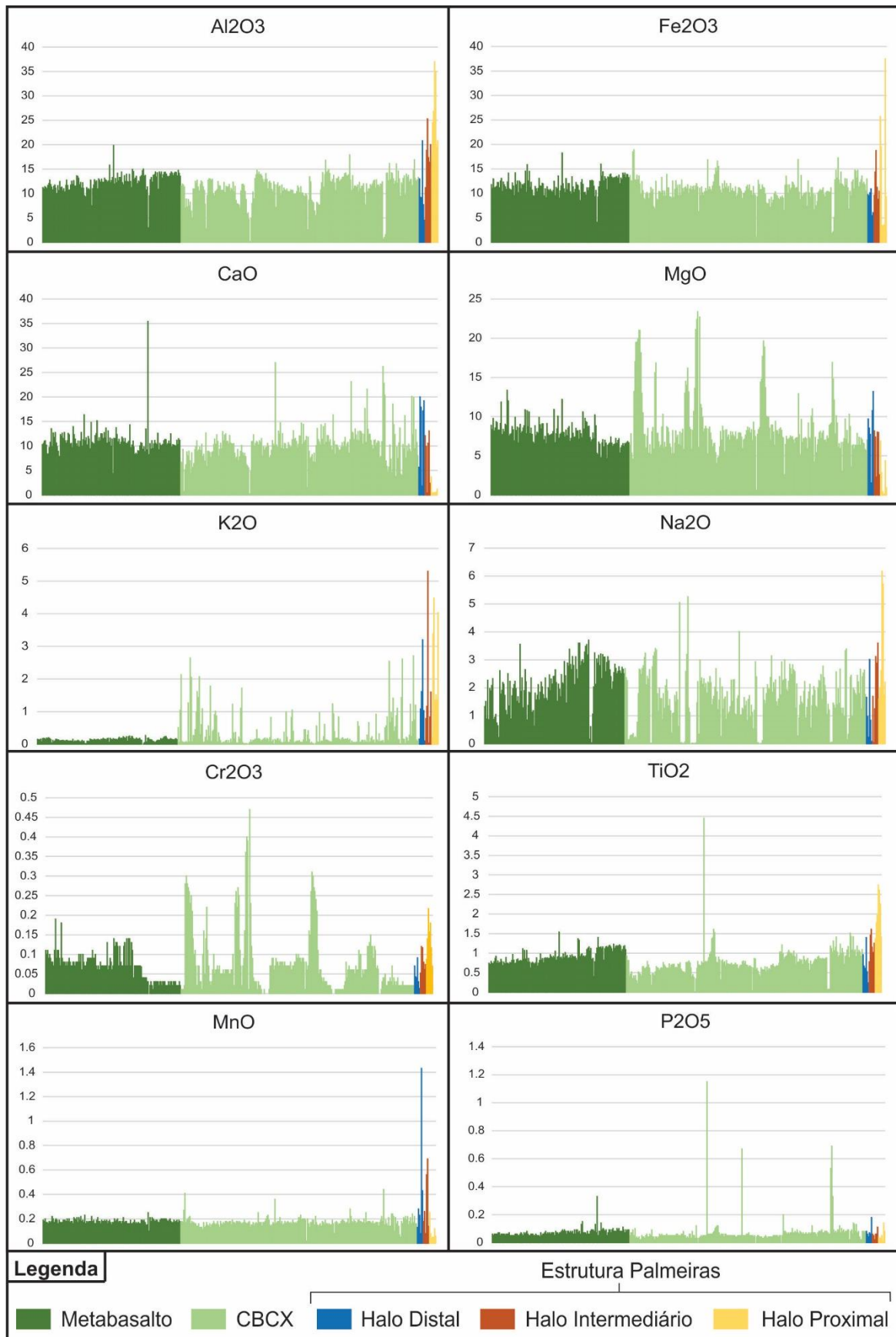


Figura III.21: Diagramas exibindo as dosagens de elementos maiores das amostras de metabasalto e metabasalto hidrotermalizado, com os halos de alteração da Estrutura Palmeiras em destaque.

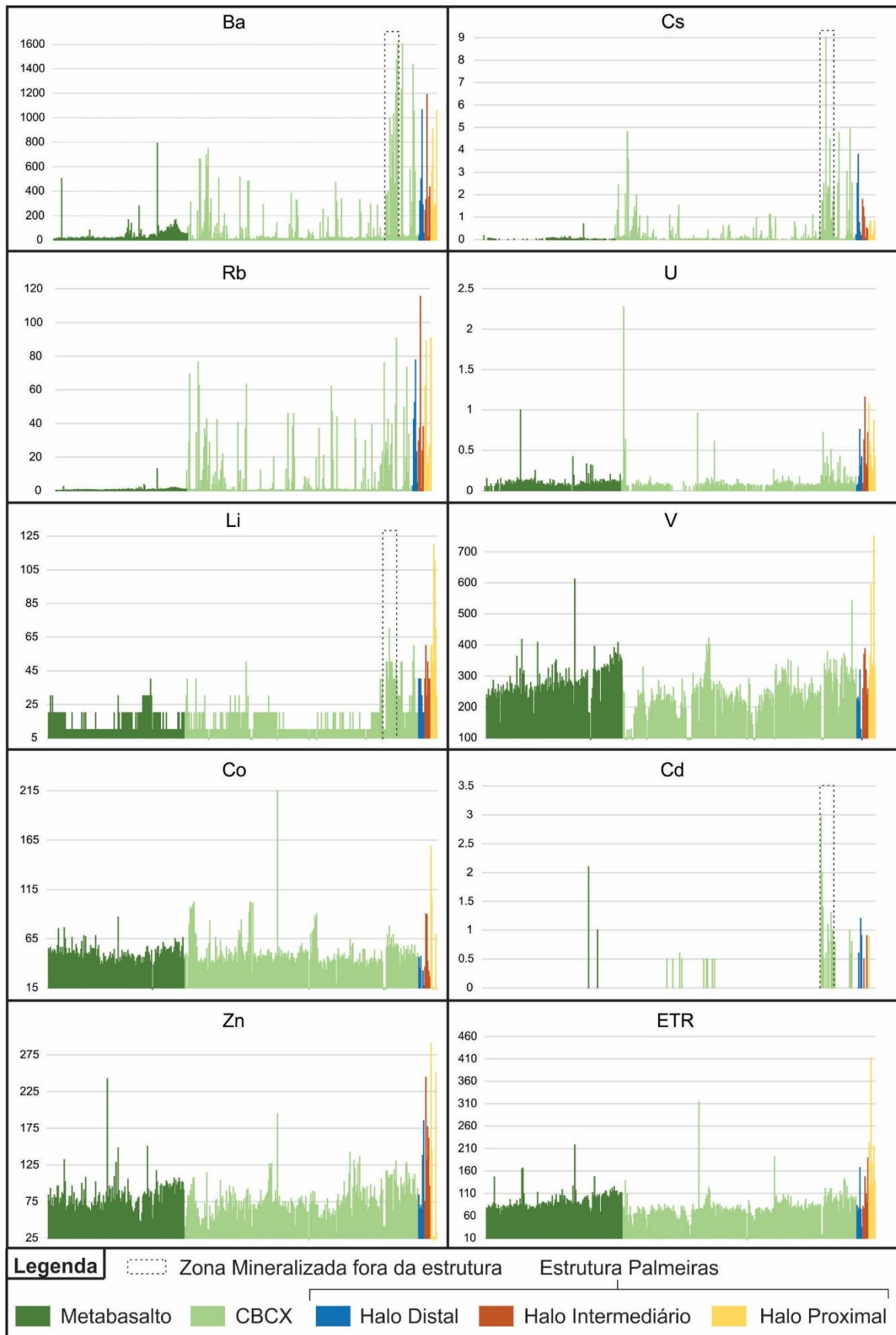


Figura III.22: Diagramas exibindo as dosagens dos elementos menores das amostras de metabasalto e metabasalto hidrotermalizado (CBCX) com os halos de alteração da Estrutura Palmeiras em destaque.

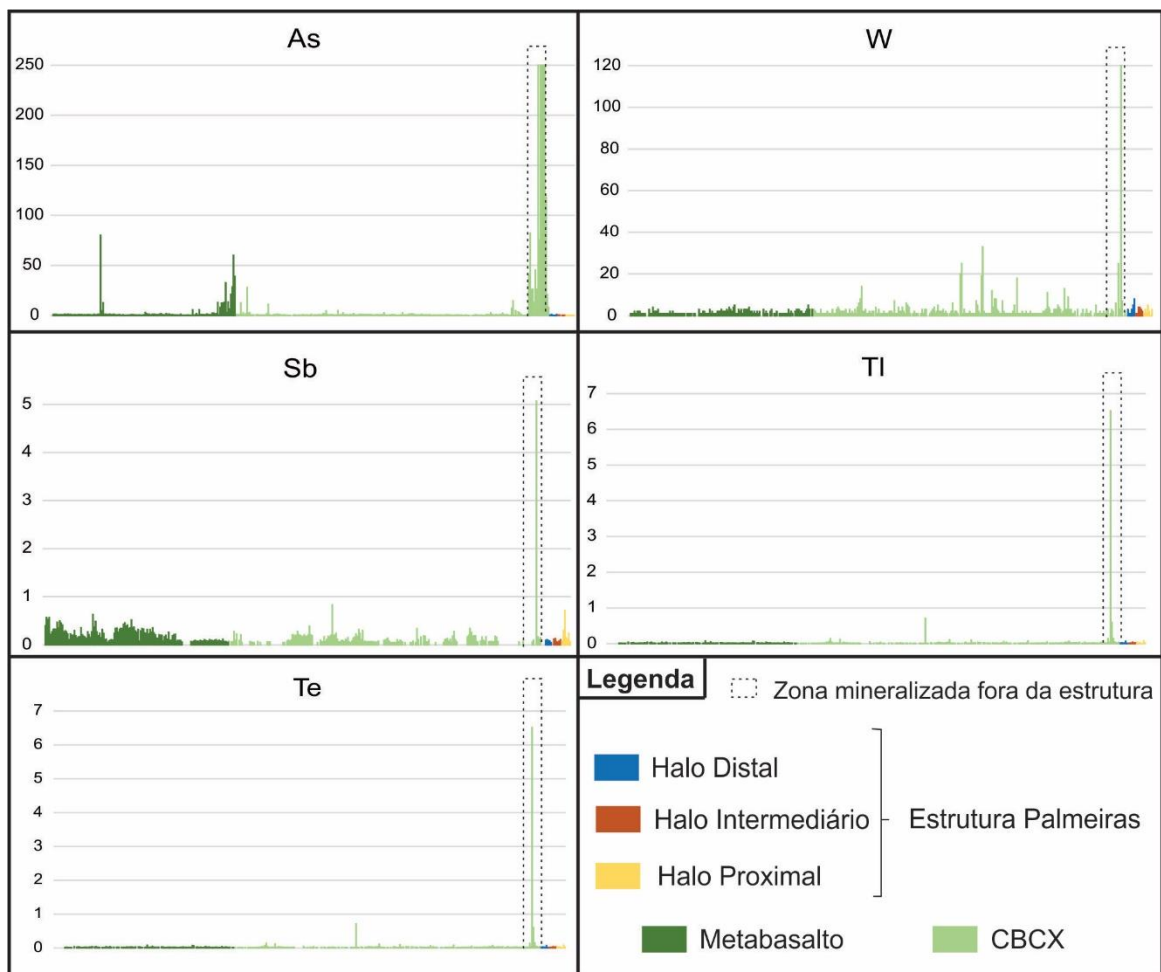


Figura III.23: Diagramas exibindo as dosagens dos elementos menores das amostras de metabasalto e metabasalto hidrotermalizado (CBCX) com os halos de alteração da Estrutura Palmeiras em destaque.

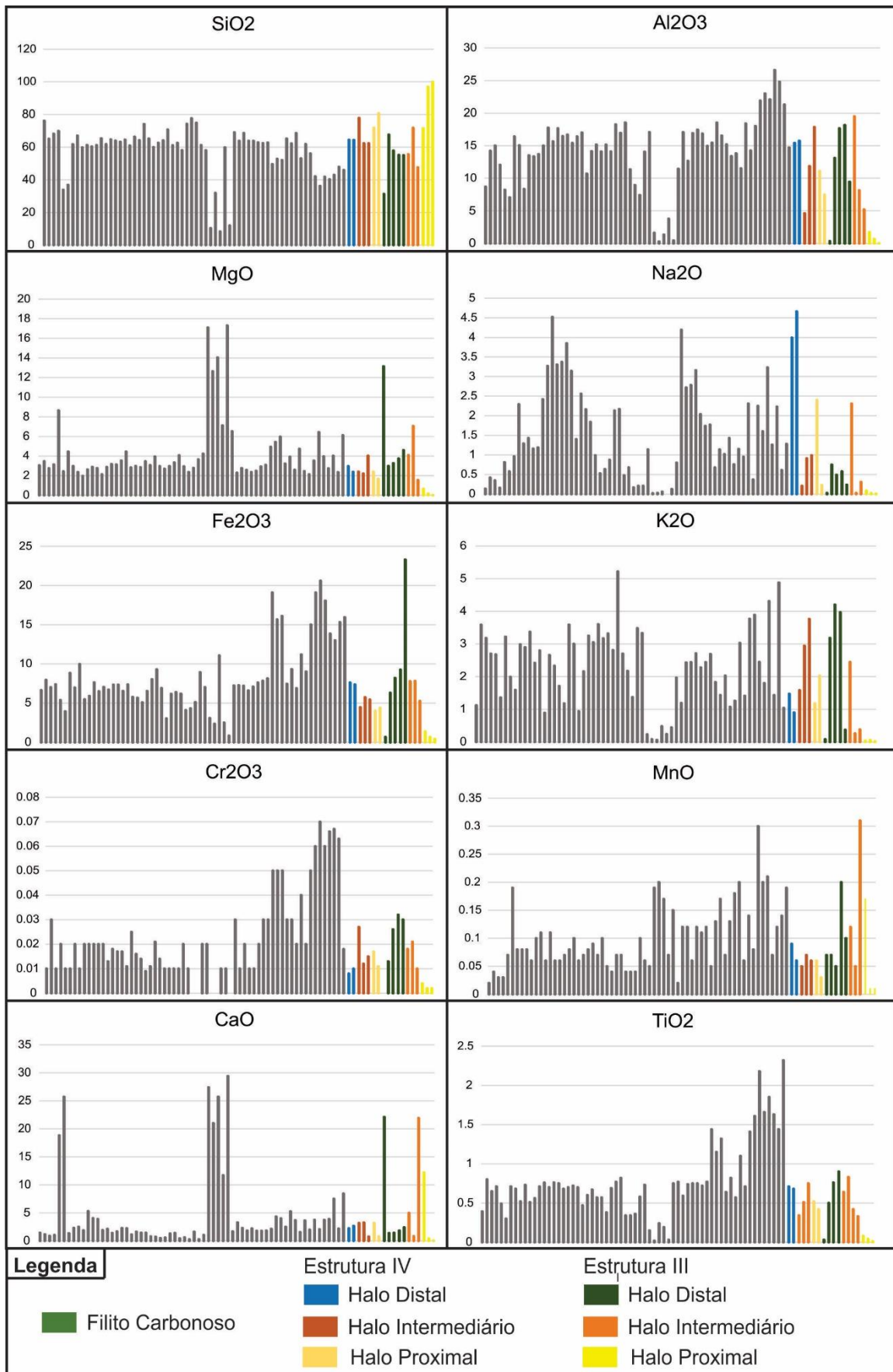


Figura III.24: Diagramas exibindo as dosagens dos elementos maiores das amostras de filito carbonoso com os halos de alteração das Estruturas III e IV em destaque.

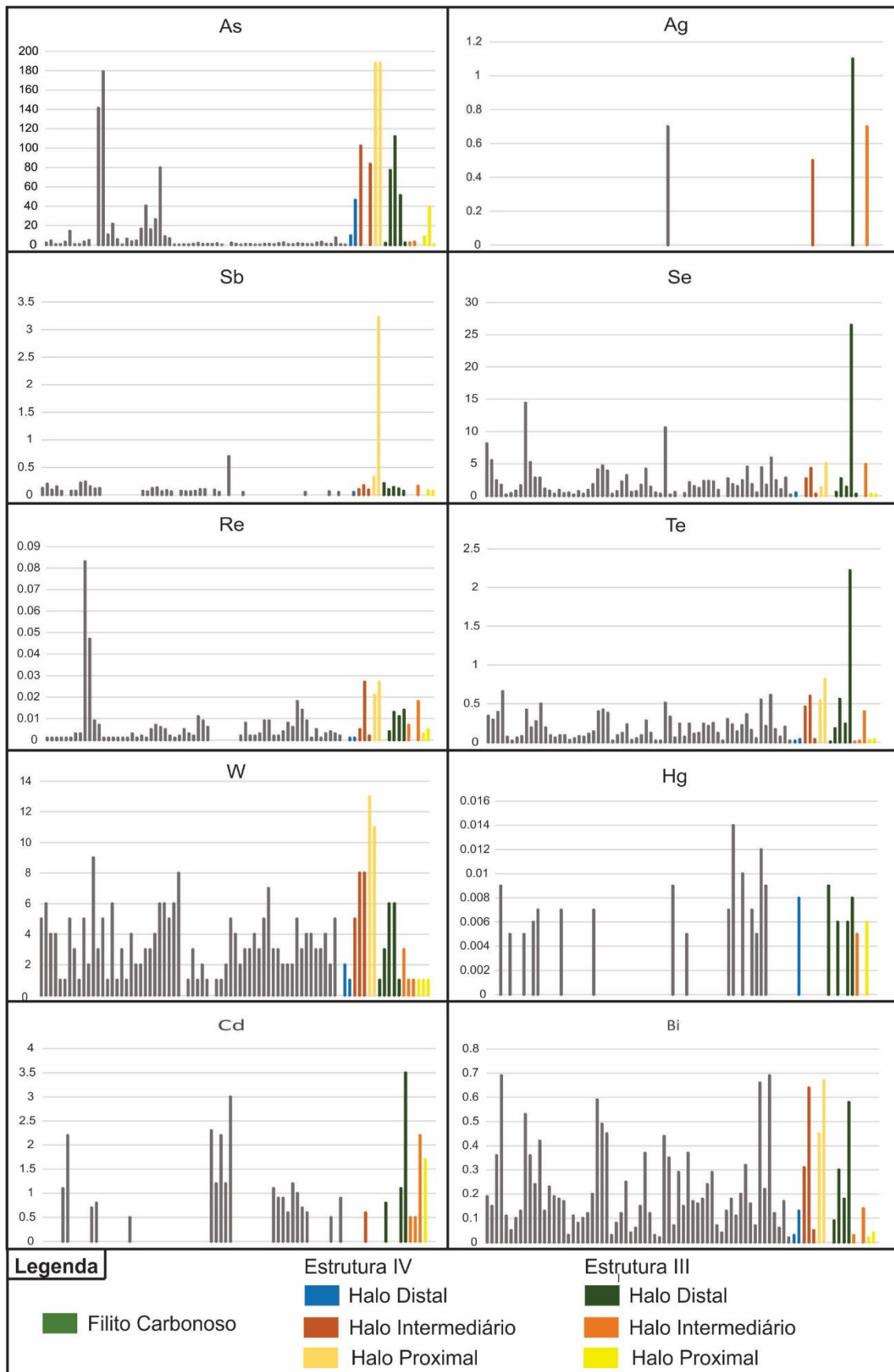


Figura III.25: Diagramas exibindo as dosagens de alguns elementos menores das amostras de filito carbonoso com os halos de alteração das Estruturas III e IV em destaque.

III.7 Propriedades Físicas das Rochas

O estudo das propriedades físicas das rochas auxilia na ligação entre os dados geológicos e geofísicos, uma vez que respostas geofísicas terrestres variam de acordo com as propriedades físicas das rochas, que estão diretamente relacionadas às suas composições químicas, mineralógicas e texturais. A correlação entre estes fatores é fundamental para o mapeamento e caracterização de depósitos minerais, visto que processos mineralizantes geram alterações nas rochas hospedeiras que podem produzir anomalias geofísicas que auxiliam na delimitação e caracterização das zonas mineralizadas (Chopping & van der Wielem, 2011; Dentih & Mudge, 2014).

As propriedades físicas analisadas nas rochas do *greenstone belt* Crixás compreendem densidade e susceptibilidade magnética. Com o objetivo de identificar as variações destas propriedades de acordo com as unidades litológicas e reconhecer possíveis assinaturas geofísicas das estruturas mineralizadas estudadas no presente trabalho, foi elaborado um perfil com as medidas das propriedades físicas das amostras *versus* a profundidade do furo CPIVESD0031 (Figura III.26). Também foram realizadas análises estatísticas dos dados, que estão apresentados na tabela 1 e no gráfico *box plot* (Figura III.27), onde estão exibidos os intervalos de variação dos valores de cada propriedade física, os valores médios e anômalos identificados para cada litotipo ocorrente no furo de sondagem.

Tabela III.3: Propriedades Físicas das rochas do greenstone belt Crixás (Susceptibilidade Magnética e Densidade).

Litologia		Susceptibilidade Magnética ($\times 10^{-3}$ SI)	Densidade (g/cm^3)
Talco Xisto (TX)	Média	4.491	2.884
	Intervalo	0.428 - 8.287	2.812 - 2.956
Metabasalto (MBA)	Média	0.639	3.009
	Intervalo	0.131 - 2.233	2.786 - 3.67
Quartzo-clorita-carbonato-sericita Xisto (CBCX)	Média	0.707	2.876
	Intervalo	0.204 - 1424.545	2.5 - 3.576
Clorita-granada Xisto (CXV)	Média	0.838	2.879
	Intervalo	0.355 - 75.632	2.428 - 3.727
Anfibólio Xisto (CANFX)	Média	0.729	3.080
	Intervalo	0.514 - 0.849	2.875 - 3.2
Dolomito (DOL)	Média	0.120	2.825
	Intervalo	0.006 - 0.518	2.130 - 3.733
Filito Carbonoso (GXN)	Média	0.421	2.781
	Intervalo	0.020 - 2.876	2.471 - 3.880
Metagrauvaca (MG)	Média	0.385	2.802
	Intervalo	0.137 - 0.642	2.658 - 2.980
Quartzo-clorita-granada-sericita Xisto (GNCX)	Média	0.584	3.030
	Intervalo	0.311 - 2.769	2.933 - 3.165

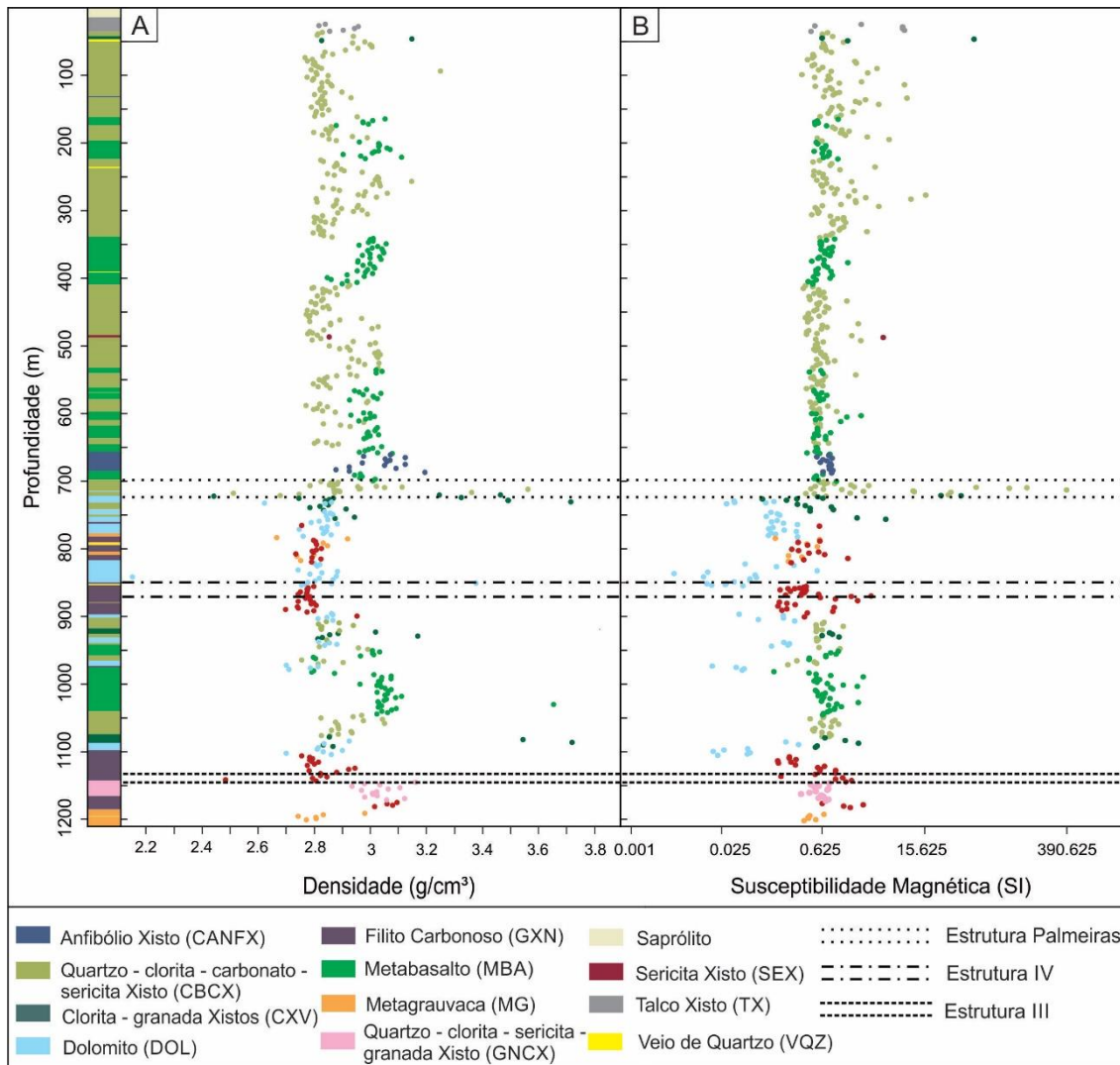


Figura III.26: Perfil apresentando a variação das medidas de propriedades físicas das rochas de acordo com a profundidade do furo CPIVESD0031. A) Densidade x Profundidade. B) Susceptibilidade Magnética x Profundidade.

III.7.1 Densidade

Os resultados indicaram que as rochas do furo CPIVESD0031 de maneira geral apresentam densidades entre 3.88 e 2.130 g/cm³ (Tabela III.3; Figura III.26). A unidade ultramáfica, pouco expressiva no testemunho de sondagem, é representada pelo talco xisto (TX) e possui densidade média entre 2.884 g/cm³ e apresenta um intervalo de variação relativamente pequeno, ocorrendo entre 2.812 e 2.956 g/cm³ (Figura III.26).

Os pacotes de rocha máfica correspondentes ao metabasalto (MBA) e anfibólio xisto (CANFX) possuem densidades médias de 3.009 g/cm³ e 3.080 g/cm³

respectivamente. O metabasalto apresenta densidade variando entre 2.875 e 3.2 g/cm³, enquanto o anfibólio xisto varia entre 2.875 e 3.2 g/cm³ (Tabela III.3). Valores anômalos identificados no metabasalto cujo apresentam densidades inferiores à média geral correspondem à amostras levemente hidrotermalizadas e/ou com amígdalas e venulações presentes (Figura III.27). Os metabasaltos hidrotermalizados representados pelo quartzo-clorita-carbonato-sericita xisto (CBCX) e clorita granada xisto (CXV) evidenciam uma diminuição significativa nos valores de densidade. Esta resposta se dá devido à substituição da assembleia mineralógica dos metabasaltos por uma assembleia composta por minerais menos densos como clorita, carbonatos, micas, quartzo e plagioclásio.

O quartzo-clorita-carbonato sericita xisto possui densidade média de 2.876 g/cm³, variando entre 2.5 e 3.576 g/cm³ (Tabela III.3). Valores anômalos de densidades maiores que o esperado para estas rochas correspondem às amostras referentes ao halo proximal da Estrutura Palmeiras e estão destacados na figura III.27. O aumento da densidade observado nesta zona se dá devido ao incremento de Fe no sistema, identificado pelos dados químicos, pela abundância de magnetita na assembleia mineralógica destas amostras e pela química mineral das cloritas e carbonatos (Anexos I, II e IX).

O clorita granada xisto possui densidade média de 2.879 g/cm³ e apresenta um intervalo relativamente grande, com valores de densidade entre 2.428 e 3.727 g/cm³ (Tabela III.3). Os valores anômalos identificados (Figuras III.26 e 27) correspondem à amostras com granadas e disseminações de sulfetos em suas composições mineralógicas e também ao nível de clorita granada xisto presente abaixo da Estrutura Palmeiras, com densidades de 3.33 e 3.47 g/cm³.

A densidade das amostras relativas aos níveis de dolomito (DOL) varia entre 2.130 g/cm³ e 3.733 g/cm³ e possui uma média de 2.825 g/cm³ (Tabela III.3). Valores anômalos indicados na figura 2 correspondem ao nível de dolomito presente abaixo da Estrutura Palmeiras, que ocorrem em contato com clorita granada xisto.

A unidade com a menor valor densidade média é o filito carbonoso (GXN), sendo ela de 2.781 g/cm³, com valores variando entre 2.471 e 3.880 g/cm³ (Tabela III.3). Embora as estruturas III e IV estejam hospedadas neste pacote de rocha, não foram observadas mudanças significativas na densidade das amostras correspondentes às estruturas no furo CPIVESD0031 (Figura III.26). Entretanto, as amostras da Estrutura III do furo de sondagem MNE3UD0033 evidenciaram uma diminuição nos valores de

densidade (Figura III.27), que pode ser relacionada ao intenso processo de silicificação e carbonatação identificado, responsáveis por gerar uma assembleia mineralógica composta predominantemente por quartzo e carbonato no halo proximal ao veio mineralizado. Amostras de filito carbonoso com densidades superiores ao intervalo comum destas rochas também ocorrem e representam amostras com altas proporções de sulfetos e granadas, que estão comumente em contato com o pacote de quartzo-clorita-sericita-granada xisto (GNCX), abaixo da Estrutura III (Figura III.27).

O quartzo-clorita-sericita-xisto (GNCX) corresponde à litologia com maior densidade média identificada, sendo ela de 3.03 g/cm^3 , com valores variando entre 2.933 e 3.165 g/cm^3 (Tabela III.3). A alta densidade desta litologia em relação às outras rochas estudadas deve-se à grande abundância de minerais densos como granada e anfibólios em sua assembleia mineralógica. O quartzo-clorita-sericita xisto representa um nível de metagrauvaca hidrotermalizado. A metagrauvaca possui densidade média inferior de $2,803 \text{ g/cm}^3$, com valores variando entre $2,658$ e $2,980 \text{ g/cm}^3$ (Tabela III.3).

III.7.2 Susceptibilidade Magnética

Os valores de susceptibilidade magnética das amostras analisadas no presente trabalho variam entre 0.006 e $1424.545 \times 10^{-3} \text{ SI}$ (Figura III.26). Apesar de ocorrer em uma ordem de magnitude muito maior que a densidade, os dados exibem poucas medidas anômalas significativas de susceptibilidade magnética (Figuras III.26 e 27). Os pacotes de rochas metassedimentares apresentam susceptibilidades magnéticas baixas em relação às rochas metavulcânicas máficas e ultramáficas, sendo o dolomito a litologia com menor susceptibilidade magnética, com média de $0.120 \times 10^{-3} \text{ SI}$, seguido da metagrauvaca, com susceptibilidade magnética média de $0.365 \times 10^{-3} \text{ SI}$ e posteriormente o filito carbonoso, com uma média de $0.421 \times 10^{-3} \text{ SI}$ (Tabela III.3).

A unidade com maior susceptibilidade magnética corresponde ao nível de talco xisto, com uma susceptibilidade magnética média de $4.491 \times 10^{-3} \text{ SI}$. Entretanto, as principais anomalias magnéticas identificadas ocorrem nos pacotes de metabasalto hidrotermalizado. Os valores anômalos com maiores medidas correspondem à amostras do quartzo-clorita-carbonato-sericita xisto (CBCX) e são referentes às amostras da Estrutura Palmeiras, que apresentam valores de susceptibilidades magnéticas de até $1424.545 \times 10^{-3} \text{ SI}$, valores muito acima da média desta unidade. Tal resposta deve-se à abundância de magnetita na composição mineralógica na zona interna da Estrutura

Palmeiras. Também ocorrem anomalias em certas amostras de clorita granada xisto (CXV) ocorrentes abaixo da Estrutura Palmeiras, com susceptibilidade magnética máxima de $75.632 \cdot 10^{-3}$ SI (Figuras III.26 e 27). Os resultados evidenciam uma correlação direta entre o aumento da susceptibilidade magnética com o aumento de densidade nestas rochas (Figura III.28). De modo geral, pequeno aumento nas susceptibilidades magnéticas médias dos metabasaltos hidrotermalizados em relação ao metabasalto, onde o quartzo-clorita-carbonato-sericita xisto, clorita granada xisto e metabasalto apresentam médias de $0.707 \cdot 10^{-3}$ SI, $0.838 \cdot 10^{-3}$ SI e $0.639 \cdot 10^{-3}$ SI respectivamente (Tabela III.3).

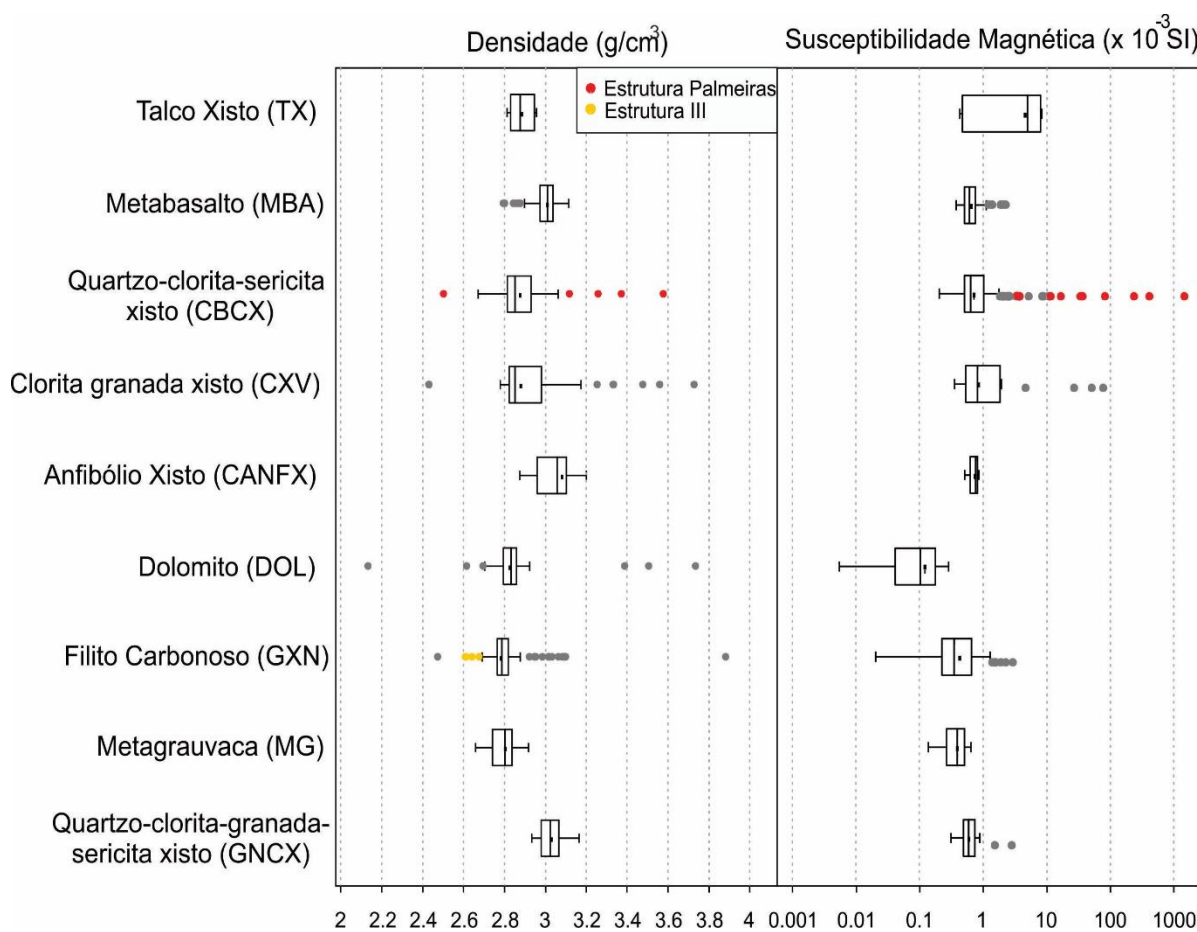


Figura III.27: Box Plot exibindo os intervalos das medidas, médias e *outliers* de densidade e susceptibilidade magnética para cada litologia do furo CPIVESD331. Amostras com medidas de propriedades físicas anômalas associados às estruturas mineralizadas estão destacadas.

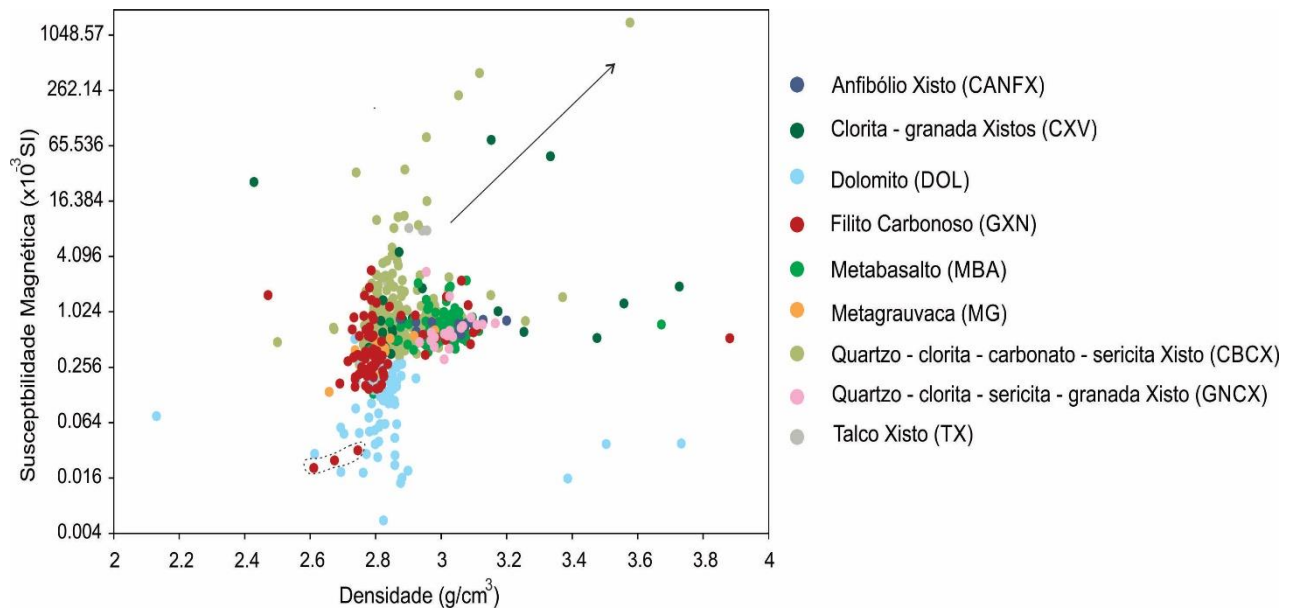


Figura III.28: Diagrama exibindo a relação entre as medidas de densidade e susceptibilidade magnética das amostras do greenstone belt Crixás.

III.8. Integração dos dados e discussões

III.8.1 Estrutura Palmeiras

A Estrutura Palmeiras é responsável pelo principal controle da mineralização do Copo Palmeiras, Palmeiras Norte e Baru. A estrutura ocorre próximo ao contato entre os metabasaltos hidrotermalizados e o pacote metassedimentar e este contato é caracterizado por uma falha de baixo ângulo com direção de aproximadamente N-S 30°W com vergência para leste, com registros de intensa alteração hidrotermal associada (Massucato, 2004).

Os primeiros estudos no Corpo Palmeiras foram realizados por Almeida (2006), onde foram estabelecidas zonas de alteração hidrotermal bem definidas. O halo externo de alteração é dominado pelo processo de cloritização, sendo representado por uma assembleia composta por clorita + biotita ± epidoto + quartzo + carbonato. O halo intermediário indica alteração fílica, sendo caracterizado pelo aparecimento de mica branca, acompanhado da diminuição da clorita e surgimento da apatita. O halo proximal define-se pela ocorrência de clorita + magnetita + granada + cloritóide + anfibólio + turmalina + quartzo + plagioclásio. Neste corpo, a pirita é o sulfeto característico e a ocorrência de ouro concentra-se nas fraturas da magnetita, pirita e actinolita (Almeida, 2006; Almeida *et al.*, 2007).

No furo CPIVESD0031 a Estrutura Palmeiras compreende um intervalo de

aproximadamente 10 m e hospeda-se em uma porção de metabasalto hidrotermalizado de cerca de 20 m. Os halos de alteração hidrotermal foram definidos dentro do intervalo de ocorrência da estrutura e não se apresentam de forma simétrica, onde comumente é observada a intercalação entre eles.

A paragênese metamórfica do metabasalto representada por hornblenda + oligoclásio ± epidoto, o que define condições metamórficas de anfibolito inferior. Esta, é completamente substituída por fases hidratadas estáveis em menores temperaturas como resultado do processo hidrotermal, onde a clorita é o mineral mais abundante. Na figura 1 encontra-se a sumarização dos minerais identificados no metabasalto e em cada halo de alteração hidrotermal.

O halo de alteração hidrotermal distal é dominado pelo processo de cloritização e biotitização, com carbonatação menos proeminente. A assembleia mineralógica é representada por Fe-Mg clorita + biotita + ankerita + quartzo ± epidoto + hornblenda + ilmenita + oligoclásio (Figura III.29). A hornblenda ocorre como mineral reliquiar do metabasalto e se mostra em desequilíbrio no sistema.

O halo de alteração hidrotermal intermediário é definido pelos processos de epidotização, carbonatação e cloritização. Este halo caracteriza-se por uma assembleia composta por epidoto + Fe-Mg clorita + ankerita + biotita + quartzo ± ilmenita ± magnetita ± muscovita ± oligoclásio. O consumo completo da hornblenda associado ao enriquecimento em porfiroblastos de epidoto e carbonatos, junto com o aparecimento muscovita e magnetita definem o halo de alteração hidrotermal intermediário.

O halo de alteração proximal da Estrutura Palmeiras é dominado pela alteração fílica. Sua mineralogia é composta predominantemente por muscovita/paragonita, Fe-Mg clorita, magnetita + quartzo ± ilmenita ± oligoclásio ± turmalina. A biotita não ocorre neste halo e foi completamente substituída por clorita. Ankerita e epidoto ocorrerem pontualmente. Destaca-se também no halo proximal a ocorrência de turmalina, mesmo que sua presença seja pouco expressiva na composição modal da rocha (Figura III.29).

Embora não seja o esperado, a composição do plagioclásio não foi alterada pelo processo hidrotermal, apresentando teor de anortita diagnóstico de oligoclásio tanto no metabasalto quanto nos halos de alteração. Por outro lado, as cloritas exibiram um enriquecimento em Fe progressivo em direção ao halo proximal, bem como os carbonatos também exibem teores de Fe significativos em sua composição à medida que se aproxima do halo proximal. Tal enriquecimento em Fe também é evidenciado nos dados

geoquímicos.

A fase sulfetada ocorre com pouca expressão e é definida predominantemente pela pirita, com menor ocorrência da calcopirita ao longo de todo o pacote hidrotermal e no metabasalto. Embora a sulfetação tenha sido descrita no Corpo Palmeiras (Almeida *et al.*, 2007), ela não foi identificada neste nível da Estrutura Palmeiras e, portanto, não foi considerada como diagnóstica dos halos de alteração hidrotermal.

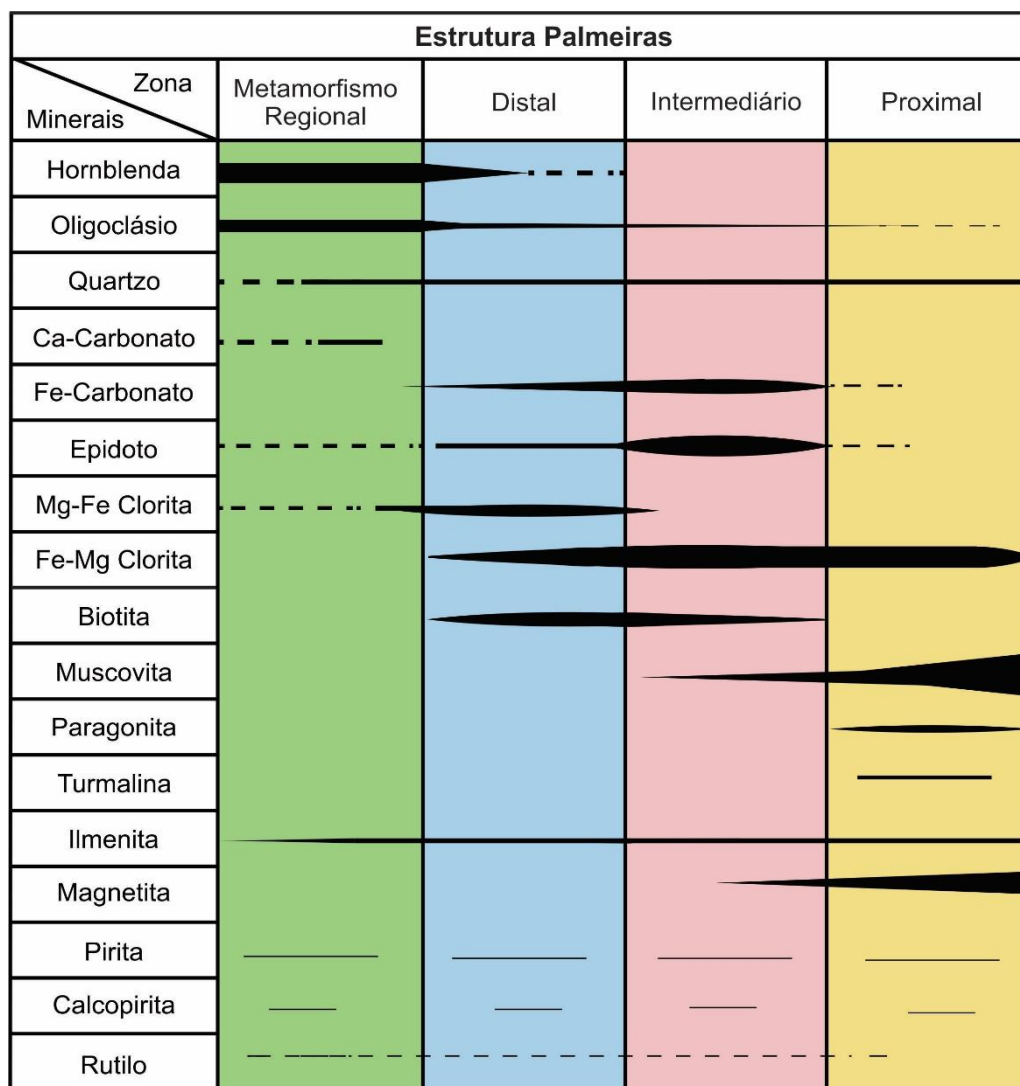


Figura III.29: Esquema representando a variação da assembleia mineralógica da Estrutura Palmeiras, Corpo IV, de acordo com as zonas de alteração hidrotermal.

O mapeamento mineral realizado pela espectroscopia de reflectância se mostrou eficaz na delimitação da Estrutura Palmeiras, onde foi possível mapear a clorita, mica branca e epidoto, além de identificar a variação composicional destes minerais (Figura III.31). Apesar de que os dados petrográficos tenham evidenciado zonas de carbonatação, os carbonatos não foram destacados no mapeamento mineral. Uma explicação plausível

é devido ao fato das rochas da Estrutura Palmeiras serem constituídas por uma variação grande de minerais com feições de absorção relacionadas ao FeOH e MgOH (cloritas, carbonatos, biotitas, epidotos e anfibólios), tornando comum a ocorrência de misturas minerais nos espectros e a sobreposição de feições. Segundo Pontual *et al.*, (2008), as feições de absorção associadas ao MgOH do carbonato e da clorita se sobrepõem entre 2320-2360 nm e se as proporções de carbonato não forem suficientes, a feição da clorita predomina, tornando mais complexa a identificação e separação do carbonato.

Destaca-se na geoquímica da Estrutura Palmeiras o aumento significativo na concentração dos elementos alcalis K₂O, Na₂O, Rb, Cs, Li e de Ba (Figura III.30 e 31). Tal enriquecimento foi identificado ao longo de todo o pacote de metabasalto hidrotermalizado, sendo maior nos halos de alteração da Estrutura Palmeiras. Pesquisas vem demonstrado que o aumento nas concentrações de elementos alcalis associados às mineralizações auríferas hospedadas em rochas máficas constituem halos muito maiores do que os halos de alteração hidrotermal visíveis. O estudo da mobilidade destes elementos, portanto, pode ser utilizado como uma ferramenta promissora na prospecção de ouro, visto que a distribuição dos alcalis pode indicar o caminho de percolação do fluido e quando identificado o aumento nas concentrações destes elementos próximo às mineralizações, torna-se um importante vetor de exploração em sistemas tipo lode (Xu, 1999; Heath & Campbell, 2004; Tunussi, 2012).

Segundo Heath & Campbell (2004), o ganho de elementos alcalis nas rochas máficas hidrotermalizadas ocorre devido à quebra do feldspato e perda de potássio e elementos LILEs como Cs e Rb. A partir de então, micas, argilas e outros minerais secundários enriquecem-se nestes elementos conforme os fluidos hidrotermais migram para porções mais distais dos veios. Cs e Rb comumente substituem o K em minerais hidratados como as micas por exemplo, causando o fracionamento dos LILE entre o fluido hidrotermal e a rocha e por isso esses elementos tendem a ser indicadores da percolação do fluido mais eficazes que o K (Melzer, 1999). Assim, o aumento da concentração de alcalis nos halos de alteração observados na Estrutura Palmeiras está relacionado à quebra dos feldspatos e posterior incorporação dos alcalis nas estruturas dos minerais hidratados identificados (muscovita e biotita).

A análise da mobilidade dos elementos químicos na Estrutura Palmeiras também indica o aumento nas concentrações de Al₂O₃, Fe₂O₃, Cr₂O e TiO₂ nos halos

intermediário e proximal, que possivelmente esté relacionada à presença de muscovita, paragonita e magnetita nestes halos. Também foram detectados ganhos menos expressivos em U, W, Th, Ta e ETR e pouco expressivos em Hf, Nb, Zr, Cd, Bi, Tm, V, In, Ni e Zn (Figura III.30).

Não foram realizados estudos termo-barométricos nos minerais da Estrutura Palmeiras e portanto não se pode definir as condições fisico-químicas do fluido hidrotermal. Por outro lado, com base nos dados geoquímicos e petrográficos entende-se que houve uma adição de CO₂ no sistema, indicado pelas zonas de carbonatação, bem como adição de Fe, K, Rb, Cs, Li, Ba, acompanhados da lixiviação de Ca e Mg.

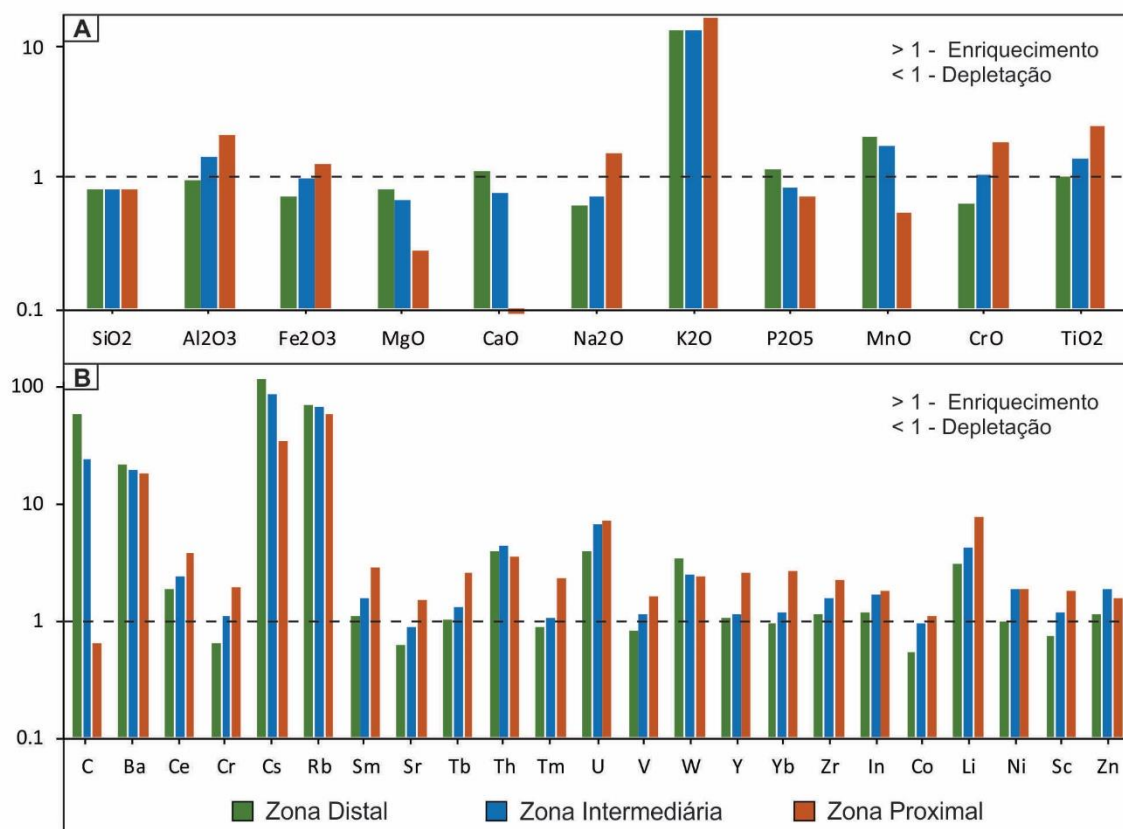


Figura III.30: Diagrama exibindo o comportamento dos elementos maiores e menores nos halos de alteração hidrotermal associados à Estrutura Palmeiras em relação ao metabasalto hospedeiro não hidrotermalizado. Para razões abaixo de 1, tem-se o empobrecimento dos elementos e para razões acima de

A assinatura magnética de mineralizações de ouro em terrenos *greenstone belts* comumente apresentam anomalias que podem auxiliar na caracterização e delimitação deste tipo de depósito mineral. A magnetização de um corpo depende da concentração de minerais magnéticos presentes na rocha, que podem ser gerados ou destruídos a partir dos

processos hidrotermais/ metamórficos associados às mineralizações. Além da proporção, a forma, o tamanho dos grãos de minerais ferromagnéticos e a concentração de Fe na rocha são fatores que interferem diretamente na sua susceptibilidade magnética (Gunn & Dentith, 1997; Airo, 2008; 2015; Dentith & Mudget, 2014).

Os materiais podem ser classificados como ferromagnético, diamagnético e paramagnético. Os minerais ferromagnéticos possuem as maiores susceptibilidades magnéticas e são representados por magnetita, o mineral mais magnético do ambiente terrestre, além de pirrotita monoclinica e ilmenita que não produzem respostas magnéticas tão significativas quanto a magnetita. Os minerais diamagnéticos apresentam valores negativos de susceptibilidade magnética e são incapazes de sofrer magnetismo remanescente. Este grupo é representado por argilominerais, quartzo, calcita, grafita, feldspatos, dentre outros. Os minerais paramagnéticos exibem baixos valores de susceptibilidade magnética e também não são afetados por magnetização remanescente. O paramagnetismo está relacionado à presença de Fe na estrutura cristalina dos minerais. Olivina piroxênios, anfibólios, granadas, carbonatos de Fe e micas são os principais componentes deste grupo (Dentith & Mudget, 2014; Airo, 2015).

Os dados de susceptibilidade magnética da Estrutura Palmeiras indicaram valores anômalos, com medidas variando entre 0.425 e 1425.00 x 10³ SI (Figura III.31). Ao observar os valores de susceptibilidade magnética de cada amostra individualmente, nota-se uma variação significativa nas medidas de uma amostra para outra (Tabela III.4). Esta variação está relacionada à variação nas proporções, tamanhos e formas dos minerais, ferromagnético, paramagnético e diamagnético, bem como a presença de Fe nas composições de uma amostra para outra.

Analisando cada halo de alteração separadamente, tem-se valores de susceptibilidade magnética média de 1.187 x 10³ SI, 10.457 x 10³ SI e 305.969 x 10³ SI para os halos distal, intermediário e proximal respectivamente. Nota-se assim um aumento crescente na média de susceptibilidade magnética em direção à zona interna da Estrutura Palmeiras. Este ganho se dá como resposta ao aumento nas proporções de magnetita na composição da rocha, responsável por gerar os valores anômalos identificados. Embora a Estrutura Palmeiras no testemunho de sondagem utilizado neste trabalho não esteja mineralizada, estudos preliminares exibiram a correlação direta entre as anomalias magnéticas da Estrutura Palmeiras com anomalias na concentração de ouro

(Almeida *et al.*, 2007) indicando, portanto, que as anomalias magnéticas podem ser utilizadas como um guia prospectivo no *greenstone belt* Crixás.

A densidade de uma rocha é defendida principalmente a partir dos seus componentes químicos/mineralógicos. Os principais elementos constituintes dos minerais como Si, Al, Ca, Na, Mg, Fe, K, C e O apresentam densidades relativamente baixas e dentre deles, o Fe e Mg se apresentam com maior valor de densidade. De maneira geral, os materiais máficos tendem a ser mais densos em relação aos materiais félsicos. Fatores texturais também afetam a densidade da rocha, como o empacotamento dos átomos e porosidade. Quanto maior a compactação atômica e menor a porosidade da rocha, maior é a sua densidade. Comumente os minerais de minério como óxidos e sulfetos apresentam densidades elevadas e quando abundantes em uma rocha eles tendem a aumentar a sua densidade significativamente (Dentith & Mudgett, 2014; Airo, 2015).

Os dados de densidade da Estrutura Palmeiras também se destacam por apresentar valores anômalos em relação à média geral das amostras do furo CPIVESD0031 (Figura III.31). De modo geral, quando analisadas as amostras individualmente, a densidade das amostras da Estrutura Palmeiras varia em uma ordem de magnitude muito inferior quanto à susceptibilidade magnética.

A densidade média calculada para os halos de alteração hidrotermal distal, intermediário e proximal correspondem a 2.808 g/cm³, 2.967 g/cm³, e 3.068 g/cm³ respectivamente. Assim como a susceptibilidade magnética, observa-se um aumento linear das densidades médias dos halos de alteração hidrotermal da Estrutura Palmeiras em direção à zona interna da estrutura. Este aumento de densidade está diretamente associado ao incremento nos valores de susceptibilidade magnética, onde nota-se que as amostras com as maiores anomalias magnéticas correspondem às amostras com valores altos de densidade, bem como são as amostras que evidenciam um ganho nas concentrações de Fe. Portanto, sugere-se que o incremento na densidade seja uma resposta direta à presença de magnetita nestas amostras. (Tabela III.4).

Por fim, conclui-se que o *footprint* da Estrutura Palmeiras é definido por um halo de alteração hidrotermal distal marcado pela cloritização ± biotitização e ± carbonatação, seguido do halo intermediário definido pelos processos de epidotização, carbonatação ± cloritização e por fim um halo proximal marcado pela alteração fílica ± cloritização. A espectroscopia de reflectância destacaram os níveis enriquecidos em muscovita e epidoto,

sugerindo que estes minerais possam ser utilizados como guias para o mapeamento da Estrutura Palmeiras. A geoquímica da Estrutura Palmeiras é marcada pelo ganho significativo nas concentrações de K₂O, Rb, Cs, Li, e Ba, além de ganhos menores em Na₂O, Fe₂O₃, Al₂O₃, TiO₂, U, W, Th, Ta e ETR. As propriedades físicas da Estrutura Palmeiras evidenciaram anomalias magnéticas significativas relacionadas à presença de magnetita no halo proximal, acompanhadas pelo pequeno incremento na densidade das rochas (Figura III.31; Tabela III.4).

Tabela III.4: Compilação dos dados das amostras de cada halo de alteração hidrotermal da Estrutura Palmeiras exibindo o tipo de alteração predominante, os valores de densidade e susceptibilidade magnética e as perdas e ganhos dos elementos químicos em relação ao metabasalto hospedeiro.

Estrutura Palmeiras						
Amostra	Zona de Alteração	Alteração Hidrotermal	DS	MS	Ganhos	Perdas
CPIVESD0031_338	Halo Distal	Cloritização ± biotitização ± carbonatação	2.863	0.650	Si, Al, Na, K, Ti, Mg, Ba, Rb, Cs, Li	Fe, Ca
CPIVESD0031_591			2.878	1.512	Ca, K, Ba, Rb, Cs, Li	Si, Al, Fe, Na, Ti, Mg
CPIVESD0031_339			2.851	2.657	Ca, K, Ba, Rb, Cs, Li	Si, Al, Fe, Na, Ti, Mg
CPIVESD0031_600			2.888	1.47	Si, Al, Na, K, Ti, Ba, Rb, Cs, Li	Fe, Ca, Mg
CPIVESD0031_345			2.869	0.362	Ca, K, Mg, Ba, Rb, Cs, Li	Si, Al, Fe, Na, Ti
CPIVESD0031_601			2.5	0.476	Ca, Mg, Ba, Rb, Cs, Li	Si, Al, Fe, Na, K, Ti
CPIVESD0031_592	Halo Intermediário	Epidotização + Carbonatação ± Cloritização	2.780	0.487	Ca, K, Ba, Rb, Cs, Li	Si, Al, Fe, Na, Ti, Mg
CPIVESD0031_340			3.022	1.680	Al, Fe, K, Ti, Ba, Rb, Cs, Li	Si, Ca, Na, Mg
CPIVESD0031_343			2.867	10.95	Al, Fe, Ca, Na, Ti, Ba, Rb, Cs, Li	Si, K, Mg
CPIVESD0031_344			3.370	36.08	Si, Al, K, Ti, Ba, Rb, Cs, Li	Fe, Ca, Na, Mg
CPIVESD0031_598			2.881	2.256	Al, Ca, Na, K, Ti, Ba, Rb, Cs, Li	Si, Fe, Mg
CPIVESD0031_599			2.887	11.29	Si, Al, Na, K, Ti, Ba, Rb, Cs, Li	Fe, Ca, Mg
CPIVESD0031_593	Halo Proximal	Alteração fílica ± cloritização	2.954	80.868	Al, Fe, K, Ti, Ba, Rb, Cs, Li	Si, Ca, Na, Mg
CPIVESD0031_594			3.116	403.00	Al, Fe, K, Ti, Ba, Rb, Cs, Li	Si, Ca, Na, Mg
CPIVESD0031_341			3.052	231.18	Al, Fe, K, Ti, Ba, Rb, Cs, Li	Si, Ca, Na, Mg
CPIVESD0031_395			2.865	0.4253	Al, Na, K, Ti, Ba, Rb, Cs, Li	Si, Fe, Ca, Mg
CPIVESD0031_596			2.964	0.63	Al, Na, K, Ti, Ba, Rb, Cs, Li	Si, Fe, Ca, Mg
CPIVESD0031_342			2.959	1.130	Al, Na, K, Ti, Ba, Rb, Cs, Li	Si, Fe, Ca, Mg
CPIVESD0031_597			3.57	1424.55	Al, Fe, K, Ti, Ba, Rb, Cs, Li	Si, Ca, Na, Mg

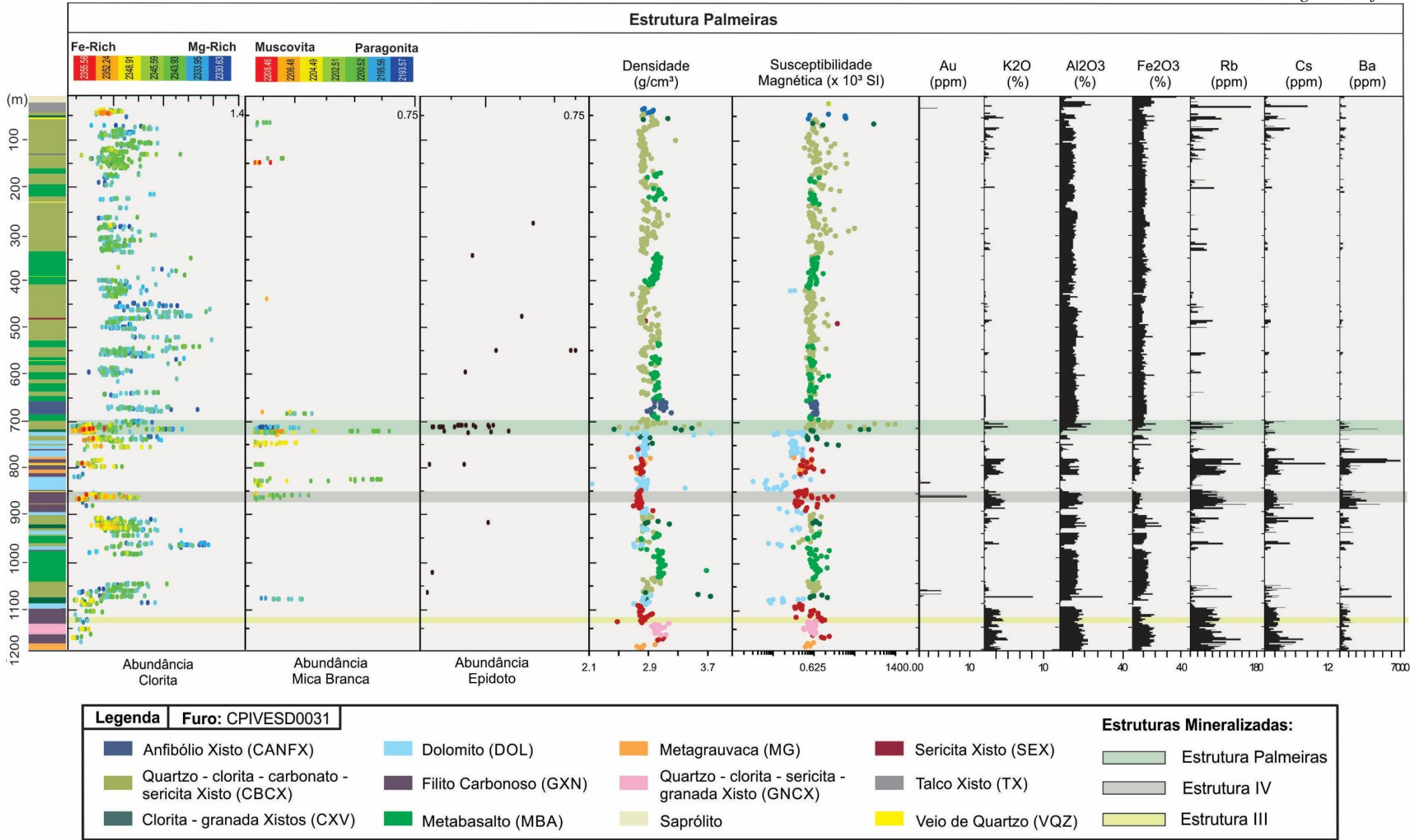


Figura III.31: Compilação dos dados espectrais, petrofísicos, e geoquímicos que caracterizam a Estrutura Palmeiras.

III. 8.2 Estrutura IV

A Estrutura IV é responsável pelo controle da mineralização em alguns dos principais corpos de minério do *greenstone belt* Crixás, sendo eles Corpo IV, Corpo V, Corpo Forquilha, Corpo Pequizão, Corpo Mangaba e Corpo Sucupira. A Estrutura IV é reconhecida como uma zona de intensa deformação dúctil-rúptil e está hospedada no filito carbonoso. Sua mineralização é predominantemente tipo minério disseminado com ocorrências menos frequentes de veio de quartzo. Estudos preliminares em determinados corpos controlados pela Estrutura IV determinaram que o minério ocorre associado a zonas de intensa silicificação acompanhadas por venulações de quartzo e sulfetos representados por arsenopirita, pirrotita e em menor proporção calcopirita. O ouro ocorre preferencialmente associado aos sulfetos, onde encontra-se preenchendo fraturas das arsenopiritas ou livre nos veios de quartzo e na ganga (Peterson, 2003; Sobesiak, 2011; Souza, 2018).

No furo CPIVESD0031, a Estrutura IV ocorre próximo ao contato entre o filito carbonoso e um nível dolomítico e compreende um intervalo de cerca de 6 m. Ao contrário da Estrutura Palmeiras, a Estrutura IV não exhibe halos de alteração hidrotermal tão pronunciados, tendo em vista que o filito carbonoso é uma rocha menos reativa à interação com os fluidos hidrotermais e, portanto, a alteração hidrotermal visível se concentra restritamente próximo ao veio de quartzo, onde foi possível identificar variações texturais e mineralógicas na estrutura.

O filito carbonoso é definido por uma assembleia mineralógica composta por material carbonoso + quartzo + biotita + plagioclásio (andesina ± oligoclásio) + granada + ilmenita ± muscovita ± clorita ± pirrotita ± arsenopirita ± calcopirita. A ausência de grafita na rocha indica que o protólito sedimentar foi submetido a condições de metamorfismo abaixo da fácies anfíbolito médio (Figura III.32).

O halo de alteração distal da Estrutura IV exhibe poucas modificações em relação ao filito carbonoso e apresenta uma assembleia mineralógica muito semelhante à rocha hospedeira, indicando uma menor atuação do processo hidrotermal. É caracterizado pelos processos de alteração fílica e cloritização, definidos pelo aumento nas proporções de muscovita e clorita, além de ser marcado também pela diminuição nas concentrações de material carbonoso, biotita e plagioclásio. Os sulfetos desta zona ocorrem com pouca expressão e são definidos por pirrotita e em menor proporção calcopirita, sempre associada a pirrotita. Destaca-se a alteração da

composição do plagioclásio em relação à rocha hospedeira, passando de andesina para oligoclásio (Figura III.32).

O halo de alteração intermediário apresenta maiores evidências da atuação do processo hidrotermal e é marcado pelos processos de carbonatação, silicificação e menos proeminente alteração fílica, indicado pelo ganho nas quantidades de ankerita, quartzo e muscovita. Clorita, turmalina, material carbonoso, biotita, oligoclásio, pirrotita, arsenopirita, calcopirita e ilmenita também constituem a assembleia mineralógica deste halo. Nota-se uma evidente diminuição nas proporções de material carbonoso, oligoclásio e biotita em relação ao halo distal. Localmente podem ser observados cristais de turmalina. A porção sulfetada é composta predominantemente por pirrotita, com menores proporções de arsenopirita e calcopirita (Figura III.32).

O halo de alteração proximal é marcado pela obliteração da foliação principal da rocha acompanhado de grandes diferenças mineralógicas. Este halo define-se predominantemente pelos processos de silicificação e albitização indicados pelo aumento nas proporções de quartzo, plagioclásio e turmalina, além de carbonatação menos proeminente devido à presença de ankerita, que é menos expressiva em relação ao halo intermediário. Biotita, apatita, alanita, muscovita, rutilo, arsenopirita, pirrotita e calcopirita também fazem parte da assembleia mineralógica deste halo. Destaca-se uma diminuição significativa das proporções de material carbonoso e ilmenita. A fase sulfetada ocorre também de forma pouco expressiva e é marcada pela predominância da arsenopirita em relação à pirrotita e calcopirita. Embora em processos hidrotermais de albitização o produto gerado seja plagioclásios com composições albíticas, os plagioclásios identificados na zona proximal da Estrutura IV apresentaram concentrações de Ca acima do esperado, sendo classificados como oligoclásio. A clorita neste halo ocorre como produto de alteração da biotita (Figura III.32).

Embora filitos carbonosos sejam rochas com baixas respostas espectrais, a espectroscopia de reflectância foi eficaz no mapeamento mineral de certos minerais presentes da Estrutura IV como a muscovita, clorita e o carbonato, auxiliando na delimitação da estrutura (Figura III.34).

Estrutura IV				
Zona Minerais	Metamorfismo Regional	Distal	Intermediário	Proximal
Material carbonoso	██████████	██████████	██████████	██████████
Quartzo	██████████	██████████	██████████	██████████
Biotita	██████████	██████████	██████████	██████████
Muscovita	-----	██████████	██████████	██████████
Fe-Mg Clorita	-----	██████████	██████████	-----
Oligoclásio	██████████	██████████	██████████	██████████
Andesina	██████████	██████████	██████████	██████████
Fe-Carbonato	██████████	██████████	██████████	██████████
Granada	-----	-----	██████████	██████████
Turmalina	██████████	██████████	-----	██████████
Zircão	-----	██████████	██████████	██████████
Apatita	██████████	██████████	██████████	██████████
Ilmenita	-----	██████████	██████████	-----
Rutilo	██████████	██████████	██████████	-----
Pirrotita	-----	██████████	██████████	██████████
Arsenopirita	██████████	██████████	-----	██████████
Calcopirita	-----	██████████	██████████	██████████

Figura III.32: Esquema representando a variação da assembleia mineralógica da Estrutura IV de acordo com as zonas de alteração hidrotermal.

Peterson (2003) definiu o caráter aquoso e de baixa salinidade dos fluidos relacionados à mineralização e geração de sulfetos no Corpo IV através de estudos de inclusões fluidas em veios de quartzo. Estudos anteriores nas arsenopiritas do Corpo Mangaba, hospedado na Estrutura IV, definiram duas gerações de arsenopiritas distintas associadas ao minério: uma enriquecida em S e depletada em As e outra depletada em S e enriquecida em As, onde o ouro preferencialmente associa-se (Souza, 2018).

O estudo do comportamento dos elementos químicos nos halos de alteração hidrotermal da Estrutura IV em relação à rocha hospedeira não hidrotermalizada está exibido na figura 2. Destaca-se o aumento em SiO₂, CaO, As e Sb ao longo de toda a zona hidrotermal, acompanhado do enriquecimento em Na₂O e P₂O nos halos distal e proximal, no halo intermediário o ganho em K₂O e Se, além do enriquecimento discreto em Ba, S, Mo, W, Bi, Re e Te nos halos intermediário e proximal. Por outro lado, Fe, Mg, Ti, Mn, Cr, Cs, Rb, Li, U, V,

In, Co, Cu, Li, No, Pb, Zn e REE exibiram depleção ao longo de toda zona hidrotermal da estrutura (Figura III.33).

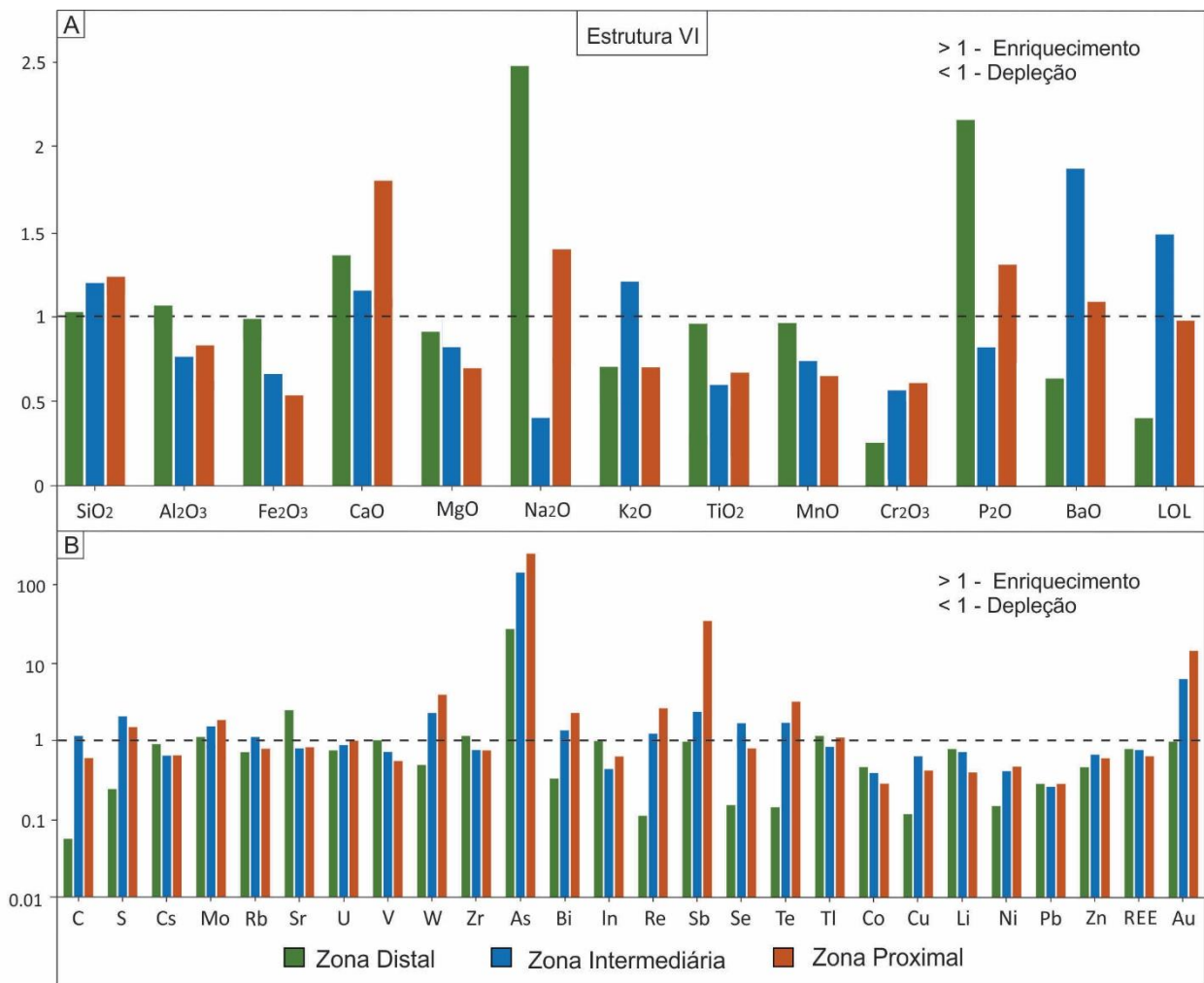


Figura III.33: Diagrama exibindo o comportamento dos elementos maiores e menores nos halos de alteração hidrotermal associados à Estrutura IV em relação ao filito carbonoso não hidrotermalizado. Para razões abaixo de 1, tem-se o empobrecimento dos elementos e para razões acima de 1 tem-se o enriquecimento.

As propriedades físicas das amostras correspondentes à Estrutura IV não apresentaram variações significativas em relação ao filito carbonoso hospedeiro (Figura 36; Tabela III.5). Os valores de densidade média dos halos distal, intermediário e proximal são de 2.77 g/cm³, 2.774 g/cm³ e 2.715 g/cm³ respectivamente, valores muito próximos à média geral de densidade de 2.781 g/cm³ obtida neste trabalho para o filito carbonoso do *greenstone belt* Crixás. Os valores de susceptibilidade magnética média dos halos distal, intermediário e proximal de 0.262 x 10³ SI, 0.290 10³ SI e 0.296 10³ SI também não indicam mudanças relevantes nas respostas magnéticas destas rochas. Deste modo, entende-se que o processo hidrotermal não gerou

modificações significativas nas propriedades físicas na zona hidrotermal associada à Estrutura IV, embora tenham sido identificadas mudanças químicas e mineralógicas nestas zonas.

Por fim, com base nos dados obtidos nesta pesquisa define-se que o *footprint* da Estrutura IV é caracterizado por uma zona hidrotermal definida pelos processos de silicificação, carbonatação, albitização e alteração fílica, processos nos quais estão evidenciados também no balanço geoquímico que destacou o ganho de certos elementos como Si, Ca, Na, K, P e Ba ao longo dos halos de alteração hidrotermal definidos. Também foi identificado o enriquecimento em elementos *pathfinders* como As, W, Sb, Re, Se, Te, Mo e Bi na zona hidrotermal associada à Estrutura IV. Sugere-se também que a muscovita seja um mineral guia para o mapeamento da Estrutura IV, como destacado pelo mapeamento mineral realizado pela espectroscopia de refletância (Figura III.36; Tabela III.5).

III.8.3 Estrutura III

A Estrutura III é a principal estrutura controladora da mineralização dos corpos Mina III, Mina Nova, Ingá e Corpo XI e é segmentada em dois níveis denominados Zona Superior e Zona Inferior. Estes, foram separados a partir do tipo de minério, alteração hidrotermal, geometria e posição dos corpos.

A Zona Superior (Yamaoka & Araújo, 1988) atualmente encontra-se exaurida e é a principal representante da mineralização tipo sulfeto maciço no *greenstone belt* Crixás. Caracteriza-se por um conjunto de lentes de sulfeto maciço descontínuas variando entre 50 e 200 m de extensão, compostas por pirrotita e arsenopirita e pirita subordinadamente.

A Zona Inferior, onde concentra-se o presente estudo, é definida por um veio de quartzo descontínuo com espessura entre 0,5 a 5m e 500 m de comprimento, que se estende por cerca de 1500m segundo o *plunge*, atingindo até mais de 700 m de profundidade. O veio hospeda-se em uma zona de cisalhamento de baixo ângulo que intercepta o pacote metassedimentar da sequência, especificamente no nível de filito carbonoso sobreposto à metagrauvaca, onde comumente é observada a disseminação de sulfetos como pirrotita e arsenopirita próximo ao veio de quartzo. O ouro ocorre preferencialmente em forma livre dentro no veio. (Fortes, 1996).

Ao longo do tempo, diversos estudos foram realizados nos corpos de minérios hospedados na Zona Inferior da Estrutura III, onde foram reconhecidos diferentes tipos de

alteração hidrotermal associada a estes corpos, nas quais compreendem silicificação, carbonatação, alteração fílica, cloritização, potassificação (Yamaoja & Araújo, 1988; Fortes et al., 1995; Fortes, 1996; Coelho, 1999 e Castoldi, 2015).

No furo de sondagem MNE3UD0033 foram estabelecidas três zonas de alteração hidrotermal associados à Estrutura III e, assim como observado na Estrutura IV, a alteração hidrotermal se mostra menos penetrativa em relação à Estrutura Palmeiras devido à baixa reatividade do filito carbonoso aos fluidos hidrotermais. Sendo assim, as alterações se concentram muito próximo ao veio de quartzo.

O halo externo é dominado pelo processo de cloritização. A assembleia mineralógica deste halo é composta predominantemente por clorita, acompanhada pela redução das proporções de biotita em resposta ao processo de cloritização, redução nas proporções de matéria carbonosa, plagioclásio e quartzo. Pontualmente ocorrem porfiroblastos de Fe-Tchermakita e granada hidrotermal. Estritamente identificou-se o aumento nas concentrações de sulfetos, sendo eles representados predominantemente por pirrotita, com calcopirita associada em menores proporções. Destaca-se também neste halo de alteração o aparecimento de zoizita, possivelmente produto de alteração do plagioclásio (Figura III.34).

O halo intermediário é definido pelo processo de carbonatação com silicificação menos proeminente, com uma assembleia mineralógica dominada por ankerita + quartzo, acompanhada por níveis compostos por material carbonoso, zoizita, plagioclásio e clorita. Os sulfetos nesta zona ocorrem em pequenas quantidades e são representados predominantemente por pirrotita (Figura III.34).

O halo proximal é dominado pelo processo de silicificação, sendo definido por uma assembleia mineralógica composta predominantemente por quartzo + ankerita + apatita. Destaca-se neste nível a diminuição nas proporções de material carbonoso, plagioclásio, clorita e ilmenita (Figura III.34).

De maneira geral nota-se que as proporções de plagioclásio diminuem progressivamente em direção ao veio de quartzo e destaca-se uma variação em sua composição em relação ao plagioclásio da rocha hospedeira, evidenciando um enriquecimento em Ca indicado pela transformação de andesina para bytownita. Destaca-se também uma diminuição progressiva nas proporções de material carbonoso em resposta à sua oxidação causada pelo processo hidrotermal.

Estrutura III				
Zona Minerais	Metamorfismo Regional	Distal	Intermediário	Proximal
Material carbonoso				
Quartzo				
Biotita				
Muscovita				
Ca-Fe-Mg Carbonato				
Fe-Mg Clorita				
Fe Tschermakita				
Andesina/ Oligoclásio				
Bytownita				
Granada				
Zoizita				
Turmalina				
Apatita				
Ilmenita				
Pirrotita				
Arsenopirita				
Calcopirita				

Figura III.34: Esquema representando a variação da assembleia mineralógica da Estrutura III de acordo com as zonas de alteração hidrotermal.

No presente trabalho não foram realizados estudos termo-barométricos para definição das condições de pressão e temperatura do fluido hidrotermal atuante na Estrutura III. Entretanto, estudos prévios de inclusões fluídas nos corpos mineralizados Mina III, Mina Nova e Ingá registraram a presença de fluidos precoces e penecontemporâneos associados aos corpos mineralizados, definindo o caráter aquo-carbônico saturado, carbônico, aquo-carbônico e aquoso dos fluidos destes corpos, com temperaturas mínimas de aprisionamento variando entre 250 – 350 °C e pressões entre 1,4 e 3,7 kb, indicando condições de alteração hidrotermal retrometamórficas em fácies xisto verde associada às mineralizações (Fortes *et al.*, 1995; Fortes, 1996). Também foram identificadas duas gerações de arsenopirita associada à mineralização da Zona Inferior da Estrutura III, onde a primeira geração é mais enriquecida em

S e a segunda em As, além de arsenopiritas zonadas com o núcleo enriquecido em S e as bordas em As, estando o ouro preferencialmente relacionado às arsenopiritas enriquecidas em As (Fortes, 1996; Castoldi, 2015).

O estudo do comportamento dos elementos químicos, contabilizando as perdas e ganhos dentro de cada halo de alteração em relação ao filito carbonoso não hidrotermalizado (Figura III.35), destacaram o aumento progressivo em SiO₂ a medida que se aproxima da zona interna da Estrutura III, bem como o ganho em CaO, As, Cd e Sb ao longo de toda zona hidrotermal associada à estrutura. Evidencia-se também o incremento de FeO, P₂O₅, BaO, S, Se, Te, Tl, W e Cu no halo distal e leve incremento de MgO, Ag e Hg nos halos distal e intermediário. Outros elementos como Al, Na, Ti, Mn, Rb, Cs, Th, U, V, Zr, Co, Bi, Zn e REE exibiram comportamentos semelhantes de empobrecimento em relação ao filito carbonoso hospedeiro da Estrutura III (Figura III.35; Tabela III.5).

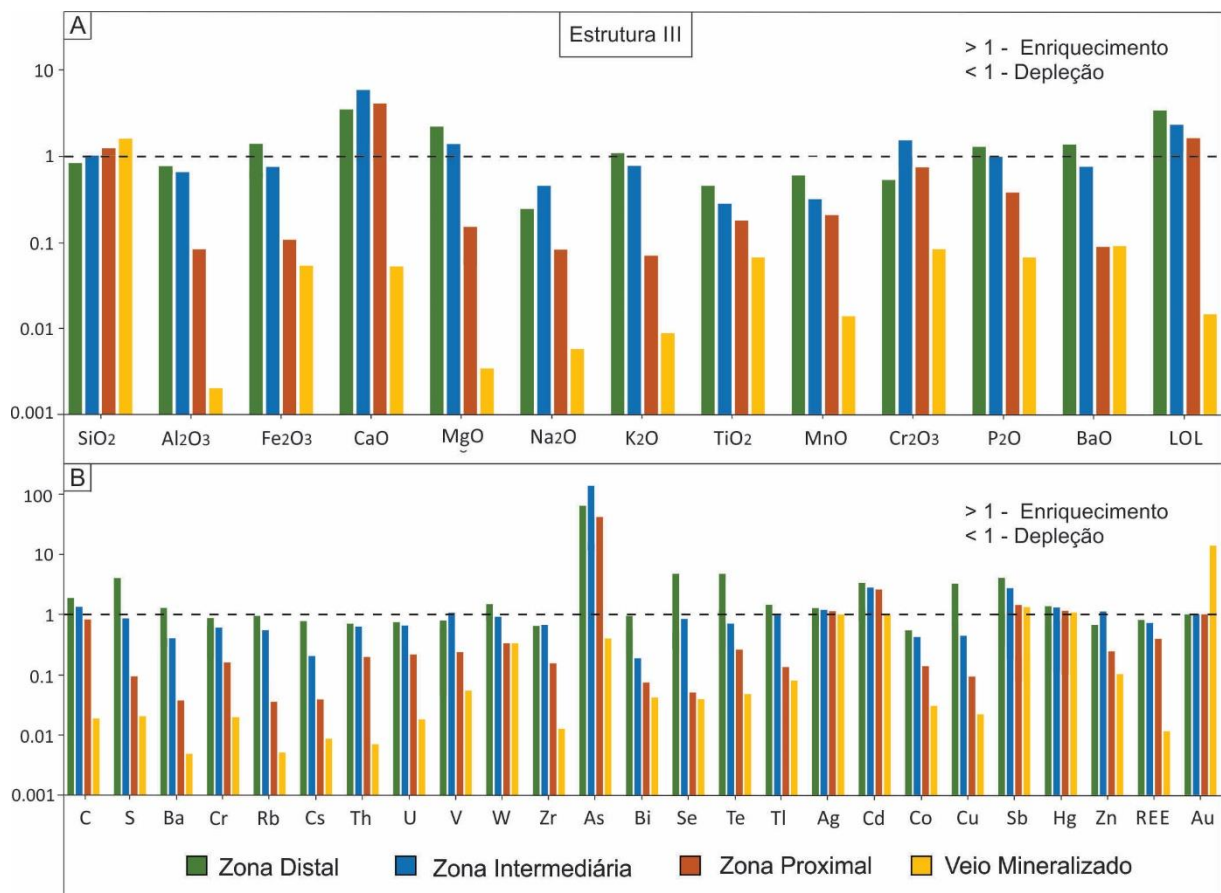


Figura III.35: Diagrama exibindo o comportamento dos elementos maiores e menores nos halos de alteração hidrotermal associados à Estrutura III em relação ao filito carbonoso não hidrotermalizado. Para razões abaixo de 1, tem-se o empobrecimento dos elementos e para razões acima de 1 tem-se o enriquecimento.

A análise das propriedades físicas das rochas da Estrutura III indicaram densidade média de 2.839 g/cm³, 2.79 g/cm³ e 2.642 g/cm³ para os halos distal, intermediário e proximal, respectivamente. As amostras do halo proximal se destacam por exibirem uma redução nos valores de densidade, o que é esperado visto que se trata de uma zona abundante em quartzo e carbonato, ambos minerais pouco densos. Destaca-se uma amostra no halo distal com densidade 3,031 g/cm³ (Tabela III.5), valor consideravelmente acima da média de densidade exibida anteriormente para o filito carbonoso hospedeiro de 2.781 g/cm³. O aumento na densidade desta amostra está associado ao ganho nas concentrações de sulfetos presentes na amostra. Minerais de minério como óxidos e sulfetos como arsenopirita, pirrotita, pirita, etc exibem densidades elevadas quando comparados aos outros minerais da ganga e quando presentes em quantidades suficientes, geram o aumento da densidade da rocha. Outros minerais considerados mais densos foram observados nesta amostra como porfiroblastos de granada e anfibólio, corroborando também para o aumento na densidade da amostra.

Os valores de susceptibilidade magnética média obtidos para os halos distal, intermediário e proximal correspondem a 0.259×10^3 SI, 0.297×10^3 SI e 0.22×10^3 SI, respectivamente. Nota-se uma queda significativa na susceptibilidade magnética no halo proximal, o que é esperado visto em vista que se trata de uma zona de intensa silicificação, composta predominantemente por minerais diamagnéticos como quartzo e carbonato.

No furo CPIVESD0031 a Estrutura III não apresentou evidências significativas do processo hidrotermal associado à estrutura (Figura III.36). Neste furo a Estrutura III não se encontra mineralizada e ocorre em aproximadamente 1033 m de profundidade. Por outro lado, no furo MNE3UD0033 a Estrutura III está mineralizada, com teores de Au de 4.58 ppm e ocorre em aproximadamente 680 m de profundidade. Neste, foram observadas mudanças químicas e mineralógicas significativas que definem a zona de alteração hidrotermal da estrutura. Portanto, entende-se que o registro hidrotermal da Estrutura III está diretamente relacionado com os níveis onde a estrutura encontra-se mineralizada, enquanto nos níveis não mineralizados não são observadas mudanças ocasionadas pela ação hidrotermal. Sugere-se também que possivelmente o processo mineralizante se torna menos eficiente a medida que a estrutura atinge profundidades maiores.

Cabe ressaltar também que embora as Estruturas III e IV estejam hospedadas na mesma unidade litológica, ambas no filito carbonoso, as diferenças mineralógicas, texturais e geoquímicas identificadas nas zonas de alteração hidrotermal das respectivas estruturas sugere

que o processo hidrotermal se deu de maneira distinta entre elas, sendo ele controlado preferencialmente pelas condições físico-químicas do fluido hidrotermal e não pela rocha hospedeira, indicando que o processo hidrotermal ocorrido no *greenstone belt* Crixás de deu de maneira heterogênea.

Por fim, com base nos dados obtidos na presente pesquisa conclui-se que o *footprint* da Estrutura III é caracterizado por halos de alteração hidrotermal distal, intermediário e proximal definidos predominantemente pelos processos de cloritização, carbonatação e silicificação respectivamente. Estes processos também são evidenciados nos dados geoquímicos, onde observa-se o aumento em SiO₂, CaO, MgO e Fe₂O₃ dentro dos halos de alteração acompanhando as variações mineralógicas. A geoquímica também destacou o incremento em elementos *pathfinders* dentro das zonas de alteração como As, Hg, Sb, Se, Re, Te, Tl e W. Em relação às propriedades físicas das rochas não foram observadas grandes anomalias na Estrutura III, embora tenha sido identificada uma pequena diminuição na densidade e susceptibilidade magnética nas zonas de silicificação, além do incremento nos valores de densidade nas amostras mais enriquecidas em sulfetos.

Tabela III.5: Compilação dos dados das amostras de cada halo de alteração associado às Estruturas III e IV, exibindo o tipo de alteração predominante, os valores de densidade e susceptibilidade magnética e as perdas e ganhos dos elementos químicos em relação ao filito carbonoso hospedeiro.

Estrutura IV – Furo CPIVESD0031						
Amostra	Zona de Alteração	Alteração Hidrotermal	DS	MS	Ganhos	Perdas
CPIVESD0031_416	Halo Distal	± Alteração Fílica ± Cloritização	2.769	0.160	Si, Al, Ca, Na, As, Tl	K, W, Se, Te, Re
CPIVESD0031_616			2.771	0.365	Si, Al, Ca, Na, As	Mg, K, W, Se, Te, Re, Ba, Cs, Rb
CPIVESD0031_613	Halo Intermediário	Carbonatação ± Alteração Fílica ± Silicificação	2.772	0.365	Si, Ca, Au, As, W, Sb, Se, Te, Tl	Al, Fe, Na, K, Re
CPIVESD0031_414			2.794	0.339	Ca, Au, As, W, Sb, Se, Te, Re, Mo	Al, Fe, Na, K, Mg,
CPIVESD0031_615			2.757	0.254	Al, Mg, K, As, W, Sb, Mo	Ca, Na
CPIVESD0031_415			2.773	0.205	Si, As, W, Sb, Se, Te, Re, Mo	Al, Fe, Ca, Mg, Na, K
CPIVESD0031_614	Halo Proximal	Silicificação + Albitização ± Carbonatação	2.715	0.296	Si, Ca, Na, Au, As, W, Sb, Te, Tl, Re, Mo	Al, Fe, Mg, K
Estrutura III – Furo MNE3UD0033						
MNE3UD0033_1	Halo Distal	Cloritização	2.745	0.031	Ca, Mg, P, As, Hg, Sb, Cd	Si, Al, Fe, Na, K, Ti, Mn, Re, Se, Te, Tl
MNE3UD0033_2			2.824	0.214	Si, Mg, K, As, Sb, Tl, W	Al, Fe, Ca, Na, Ti, Mn, Re, Se, Te
MNE3UD0033_3			2.761	0.226	Al, Fe, Mg, K, Ti, P, As, Hg, Re, Sb, Se, Te, Tl, W	Si, Ca, Na, Mn
MNE3UD0033_4			2.836	0.276	Al, Fe, Ca, Mg, K, Ti, Mn, P, As, Re, Sb, Tl, Cd, W	Si, Na, Se, Te
MNE3UD0033_5			3.031	0.549	Fe, Ca, Mg, As, Hg, Re, Sb, Se, Te, Tl, W, Cd	Si, Al, Na, K, Ti, Mn, Tl
MNE3UD0033_9	Halo Intermediário	Carbonatação	2.825	0.209	Ca, Mn, As, Re, Sb, Se, Te, Ag, Cd	Si, Al, Fe, Mg, Na, K, Ti, P, Tl
MNE3UD0033_10			2.781	0.292	Al, Ca, Mg, Na, K, Ti, P, As, Hg, Tl, W	Si, Fe, Na, Re, Se, Te
MNE3UD0033_11			2.792	0.390	Si, Mg, As	Al, Fe, Ca, Na, K, Ti, Mn, P, Re, Se, Te, Tl
MNE3UD0033_6	Halo Proximal	Silicificação ± Carbonatação	2.674	0.024	Si, Ca, Mn, As, Hg, Cd	Al, Fe, Mg, Na, K, Ti, P, Re, Se, Te, Tl
MNE3UD0033_7			2.611	0.020	Si, As, Sb	Al, Fe, Ca, Mg, Na, K, Ti, Mn, P, Re, Se, Te, Tl

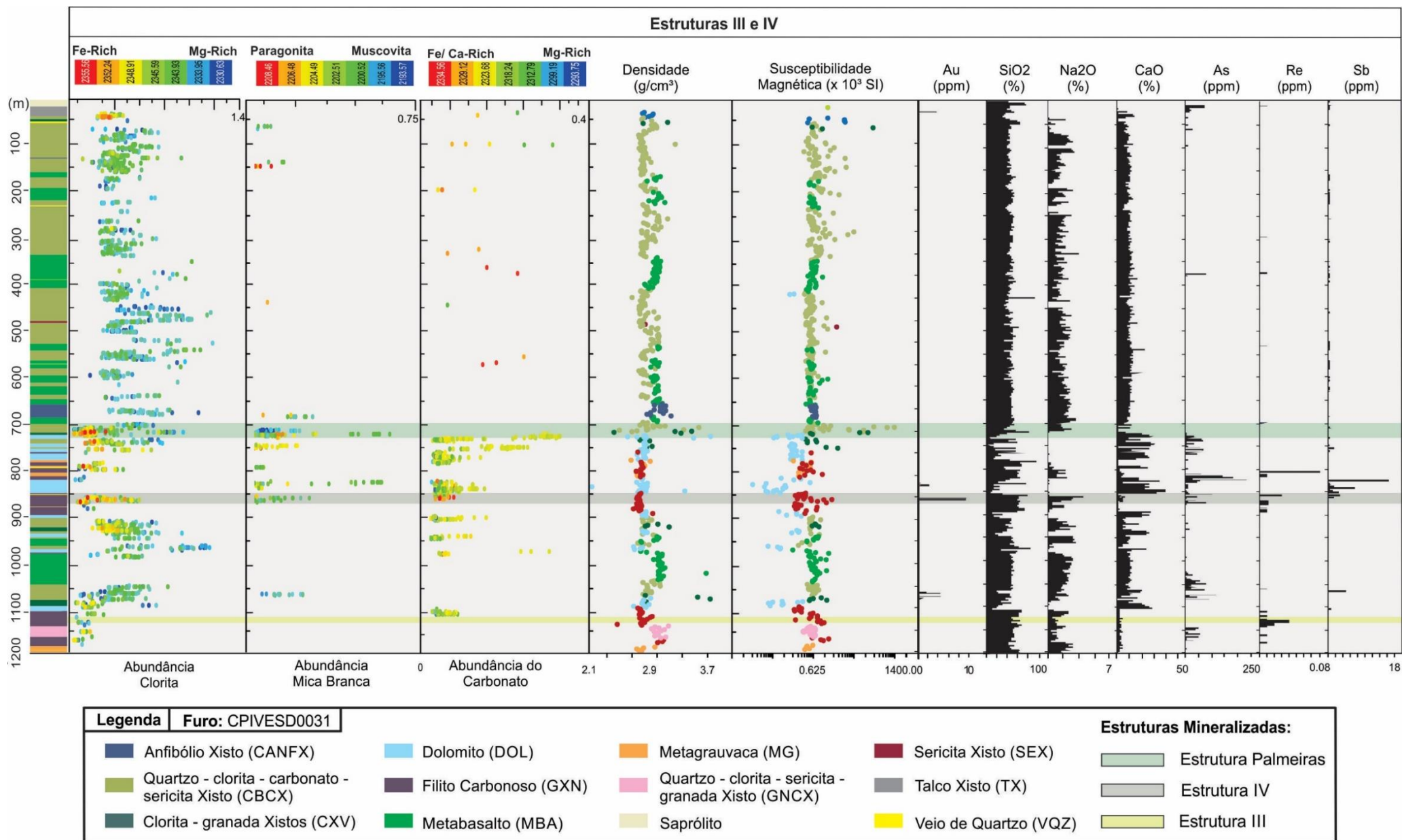


Figura III.36: Compilação dos dados espectrais, petrofísicos e geoquímicos que caracterizam o *footprint* das estruturas III e IV.

III.9. Conclusões

A integração de ferramentas como geoquímica, propriedades físicas, sensoriamento remoto (em várias escalas) e geologia de campo vem sendo cada vez mais utilizada para definir o *footprint* de zonas mineralizadas em diferentes tipos de depósitos, auxiliando na caracterização das zonas hidrotermais associadas à mineralizações e no entendimento dos diversos sistemas mineralizantes (Naghadehi *et al.*, 2014; Duuring *et al.*, 2016; Simpson & Christie, 2019).

No *greenstone belt* Crixás as estruturas mineralizadas exibiram registros bem definidos da atuação dos fluidos hidrotermais associados às mineralizações, através de modificações mineralógicas e geoquímicas identificadas a partir da integração de dados petrográficos, espectrais, geoquímicos e petrofísicos. Abaixo estão sumarizadas as principais características que definem o *footprint* das Estruturas Palmeiras, III e IV.

Estrutura Palmeiras:

- (1) O halo de alteração hidrotermal distal é caracterizado pelos processos de cloritização ± biotitização ± carbonatação, definido por uma assembleia composta por Fe clorita + biotita + ankerita ± epidoto. O halo de alteração intermediário é marcado pelos processos de epidotização, carbonatação ± cloritização, definidos por uma assembleia mineralógica composta por epidoto + ankerita + Fe-clorita. O halo proximal é destacado pela alteração fílica + cloritização, sendo um halo definido por mica branca (muscovita ± paragonita) + Fe-clorita + magnetita ± turmalina;
- (2) Com base no mapeamento mineral realizado pela espectroscopia de reflectância, foi identificado que a ocorrência do epidoto, mica branca (muscovita + paragonita) e clorita férrica nos níveis de rochas máficas é restrita às zonas de alteração hidrotermal da Estrutura Palmeiras. Portanto, sugere-se que estes minerais possam ser utilizados como guias para o mapeamento da Estrutura Palmeiras;
- (3) A geoquímica da Estrutura Palmeiras destaca-se pelo enriquecimento em K, Rb, Cs, Ba e Li em toda zona hidrotermal. Al, Na, Fe, e Ti exibem enriquecimento preferencialmente no halo proximal de alteração hidrotermal da Estrutura Palmeiras;
- (4) A anomalia magnética ocasionada pela abundância de magnetita no halo de alteração proximal na Estrutura Palmeiras pode ser utilizada como um guia prospectivo para mapeamento da estrutura;

- (5) Adicionalmente, foi identificado um segundo nível mineralizado hospedado no metabasalto. Este nível foi destacado pela espectroscopia de reflectância com o mapeamento da muscovita e através da geoquímica, onde foi observado o ganho nas concentrações de Au acompanhados pelo ganho em Te, Sb, W e As.

Estrutura IV

- (1) O halo de alteração distal da Estrutura IV é definido pelos processos de alteração fílica e cloritização, marcados pelo aumento nas proporções de muscovita e clorita. O halo intermediário é definido pelos processos de carbonatação + silicificação ± alteração fílica, registrados pela abundância de quartzo + ankerita + muscovita. O halo de alteração proximal é marcado pela silicificação + albitização ± carbonatação, definidos por uma assembleia composta por quartzo + plagioclásio + ankerita, acompanhados de turmalina + biotita ± rutilo;
- (2) O mapeamento mineral utilizando a espectroscopia de reflectância destacou o aumento na abundância de mica branca (muscovita), Fe clorita e ankerita em relação à rocha hospedeira, sugerindo que estes minerais podem ser utilizados como guias para o mapeamento da Estrutura IV;
- (3) A assinatura geoquímica da Estrutura IV evidenciou ganhos significativos nas concentrações de SiO₂, CaO, Na₂O, K₂O, P₂O e BaO ao longo dos halos de alteração hidrotermal definidos. Também foi identificado o enriquecimento em elementos *pathfinders* como As, W, Sb, Re, Se, Te, Mo e Bi na zona hidrotermal associada à Estrutura IV;
- (4) As propriedades físicas da Estrutura IV não exibiram mudanças significativas em relação à rocha hospedeira.

Estrutura III

- (1) O registro da percolação do fluido hidrotermal da Estrutura III está evidenciado apenas nas porções mais rasas, onde a estrutura encontra-se mineralizada (cerca de 680 m de profundidade). Em maiores profundidades (cerca de 1033 m de profundidade), a estrutura não está mineralizada e não foram observados registros de atuação da alteração hidrotermal.
- (2) O halo de alteração distal da Estrutura III é marcado pelo processo de cloritização, indicado pelo ganho nas proporções de clorita. O halo intermediário é representado pelo processo de carbonatação, onde é observado o enriquecimento em ankerita e a

diminuição nas proporções de material carbonoso, biotita, clorita e plagioclásio. O halo proximal é definido pelo processo de silicificação preferencialmente e carbonatação, representado pela abundância de quartzo e ankerita nesta zona.

- (3) A geoquímica da Estrutura III indica o aumento em SiO₂ e CaO dentro dos halos de alteração acompanhando as variações mineralógicas. A geoquímica também destacou o incremento em elementos *pathfinders* dentro das zonas de alteração como As, Sb, Se, Re, Te, Tl, W e Hg;
- (4) Em relação às propriedades físicas das rochas não foram observadas grandes anomalias na Estrutura III, embora tenha sido identificada uma pequena diminuição na densidade e susceptibilidade magnética nas zonas de silicificação, além do incremento nos valores de densidade nas amostras mais enriquecidas em sulfetos.

Sendo assim, a integração de dados mineralógicos, espectroradiométricos, geoquímicos e de propriedades físicas possibilitou a caracterização detalhada das estruturas mineralizadas e do *footprint* das zonas de alteração hidrotermal no depósito aurífero de Crixás. Adicionalmente, foram determinados guias prospectivos que certamente auxiliarão no mapeamento das estruturas mineralizadas e, conseqüentemente, na exploração mineral nos greenstones belts do Terreno Arqueano-Paleoproterozóico de Goiás.

Capítulo IV – Considerações Finais

VI. Considerações Finais

O presente trabalho visou caracterizar o *footprint* das zonas de alteração hidrotermal associadas à três estruturas controladoras das mineralizações de ouro no *greenstone belt* Crixás: Estrutura Palmeiras, Estrutura III e Estrutura IV. A metodologia utilizada consistiu na integração de ferramentas inovadoras que auxiliaram na determinação de vetores de exploração que poderão colaborar com a prospecção mineral nos *greenstone belts* do Terreno Arqueano-Paleoproterozóico do Goiás. Os resultados obtidos cumpriram com os objetivos do trabalho, onde foi possível caracterizar e definir guias prospectivos a partir do mapeamento mineral, assinaturas geoquímicas e das propriedades físicas das rochas de cada estrutura mineralizada. Abaixo estão listadas as principais considerações e sugestões desta pesquisa:

- (1) A espectroscopia de reflectância se mostrou uma ferramenta eficaz para o mapeamento mineral das rochas do *greenstone belt* Crixás e suas respectivas zonas mineralizadas, auxiliando na delimitação das estruturas através da identificação dos seus minerais, bem como identificação das suas variações composicionais;
- (2) O estudo de propriedades físicas das rochas foi eficiente principalmente para a caracterização e diferenciação das unidades litológicas constituintes do *greenstone belt* Crixás, além de destacar zonas de anomalias magnéticas associadas à Estrutura Palmeiras;
- (3) As assinaturas geoquímicas de cada estrutura mineralizada foram efetivamente definidas, auxiliando na identificação de elementos *pathfinders* para as zonas mineralizadas e seus respectivos halos de alteração hidrotermal.
- (4) Os dados obtidos nesta pesquisa evidenciaram uma quarta zona mineralizada hospedada no pacote de metabasalto hidrotermalizado ainda não descrita, fora dos intervalos das estruturas conhecidas.
- (5) Os resultados foram eficientes para diferenciar as características dos halos de alteração hidrotermal associados à Estrutura III nas zonas onde a estrutura encontra-se mineralizada e não mineralizada. Sugere-se que sejam feitos estudos posteriormente para melhor detalhamento e entendimento do processo mineralizante da Estrutura III.
- (6) Recomenda-se que sejam realizados estudos envolvendo o as respostas da mobilidade dos elementos álcalis associados às zonas mineralizadas hospedadas

em rochas máficas hidrotermalizadas, visto que foi identificado o enriquecimento nestes elementos (Rb, Cs e Li) ao longo do pacote de metabasalto hidrotermalizado e na zona hidrotermal associada à Estrutura Palmeiras. Portanto, sugere-se que o entendimento da mobilidade dos álcalis pode ser um instrumento de auxílio na prospecção mineral no *greenstone belt* Crixás.

Referências Bibliográficas

- Airo, M. L., & Mertanen, S. (2008). Magnetic signatures related to orogenic gold mineralization, Central Lapland Greenstone Belt, Finland. *Journal of Applied Geophysics*, 64(1-2), 14-24.
- Airo, M.-L., (2015). Geophysical signatures of mineral deposit types in Finland. *Geol. Surv. Finl.* 58, 9–70.
- Adams, J. B., 1974. Visible and near-infrared diffuse reflectance spectra of pyroxenes as applied to remote sensing of solid objects in the solar system. *Journal of Geophysical Research*. 79(32). 4829-4836.
- Almeida, B. S. (2006). Mineralização aurífera, alteração hidrotermal e indicadores prospectivos do Corpo Palmeiras, greenstone belt de Crixás, Goiás. Trabalho de Conclusão de Curso de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Almeida, B. S., Jost, H., Tassinari, C. C. G., Frantz, J. C., & Strikis, N. M. (2007). Alteração hidrotermal e mineralização aurífera do Corpo Palmeiras, Crixás, Goiás. SBG. Simpósio de Geologia do Centro-Oeste, Pirenópolis, Abstracts CD, Abstract# OR036, 1.
- ALS Schedule of Services and Fees, 2017 (<https://www.alsglobal.com/-/media/als/resources/services-and-products/geochemistry/fee-schedules/als-geochemistry-fee-schedule-usd.pdf>).
- Araújo Filho, J.O., 2000. The Pirineus Syntaxis: an example of two Brasiliano foldthrust belts in central Brazil and its implication for the tectonic evolution of western Gondwana. *Revista Brasileira de Geociências* 30 (2), 144–148.
- Arndt N.T., Teixeira N.A., White, W.M. 1989. Bizarre geochemistry of komatiites from the Crixás Greenstone Belt. *Contr. Mineral. Petrol.* 101:187-197.
- Barbosa, O., Baptista, M. B., Braum, O. P. G., & Cotta, J. C. (1969). *Geologia e Inventário dos Recursos Minerais da Região Central de Goiás (Projeto Brasília)*.
- Beghelli Junior, L.P., 2012. Charnockitos e ortognaisses da porção centro-oeste do Bloco Arqueano de Goiás: Dados geoquímicos e isotópicos. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 87 pp.
- Bishop J.L., Lane M.D., Dyar M.D., Brown A.J. 2008. Reflectance and emission spectroscopy study of four groups of phyllosilicates: smectites, kaolinite-serpentines, chlorites and micas. *Clay Miner.* 43, 35–54.

- Borges, C. C. A., Toledo, C. L. B., Silva, A. M., Junior, F. C., Jost, H., & de Carvalho Lana, C. (2017). Geochemistry and isotopic signatures of metavolcanic and metaplutonic rocks of the Faina and Serra de Santa Rita greenstone belts, Central Brazil: Evidences for a Mesoarchean intraoceanic arc. *Precambrian Research*, 292, 350-377.
- Chopping, R., & van der Wielen, S. E. (2011). Mapping the footprint of ore deposits in 3D using geophysical data. *AusGeo News*, 101, 3-7.
- Clark, R. N. & Roush, T. L., 1984. Reflectance spectroscopy: Quantitative analysis techniques for remote sensing applications. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*. 89(B7). 6329-6340.
- Clark R.N., King T.V.V., Klejwa M., Sways, G.A. 1990. High spectral resolution reflectance spectroscopy of minerals. *J. Geophys. Res.* 95, 12,653-12,680.
- Clark, D. A. (1997). Magnetic petrophysics and magnetic petrology: aids to geological interpretation of magnetic surveys. *AGSO Journal of Australian Geology and Geophysics*, 17, 83-104.
- Clark, R. N., 1999. Spectroscopy of rocks and minerals, and principles of spectroscopy. *Manual of remote sensing*. 3(3-58), 2-2.
- Clark, R. N., Swayze, G. A., Livo, K. E., Kokaly, R. F., Sutley, S. J., Dalton, J. B., & Gent, C. A., 2003. Imaging spectroscopy: Earth and planetary remote sensing with the USGS Tetracorder and expert systems. *Journal of Geophysical Research: Planets*. 108(E12).
- Castoldi, M.A.S. 2015. O distrito aurífero de Crixás – GO: Caracterização do novo corpo de minério Ingá. Trabalho de Conclusão de Curso de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 177 p.
- Coelho R.F. 1999. Caracterização Mineralógica do Minério das Jazidas Auríferas Mina III e Mina Nova, greenstone belt de Crixás (GO) – Dissertação – UnB – Universidade de Brasília.
- Danni, J. C. M., & Ribeiro, C. C. (1978). Caracterização estratigráfica da seqüência vulcano-sedimentar de Pilar de Goiás e de Guarinos, Goiás. *CONGR. BRÁS. GEOL*, 30, 582-596.
- Dentith, M., and Mudge, T.S., 2014, *Geophysics for the Mineral Exploration Geoscientist*: London, Cambridge University Press, 454p.
- Dubé, B. E. N. O. Í. T., & Gosselin, P. A. T. R. I. C. E. (2007). Greenstone-hosted quartz-carbonate vein deposits. *Mineral Deposits of Canada: A synthesis of major*

deposit-types, district metallogeny, the evolution of geological provinces, and exploration methods: Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, Special Publication, 5, 49-73.

- Ducart, D. F., 2004. Caracterização da alteração hidrotermal associada às ocorrências auríferas de Los Menucos, Argentina, por meio de técnicas de sensoriamento remoto e espectroscopia de reflectância.
- Ducart, D. F., Crósta, A. P., Filho, C. R. S., & Coniglio, J., 2006. Alteration mineralogy at the Cerro La Mina epithermal prospect, Patagonia, Argentina: Field mapping, short-wave infrared spectroscopy, and ASTER images. *Economic Geology*. 101(5), 981-996.
- Duuring, P., Hassan, L., Zelic, M., & Gessner, K. (2016). Geochemical and spectral footprint of metamorphosed and deformed VMS-style mineralization in the Quinns district, Yilgarn Craton, Western Australia. *Economic Geology*, 111(6), 1411-1438.
- Fortes P.T.F.O., Pimentel M.M., Teixeira W. 1993. Geocronologia Rb-Sr das rochas encaixantes do depósito aurífero Mina III, Goiás. In: SBGq, Cong. Bras.
- Fortes, P. T. F. O., Giuliani, G., Takaki, T., Pimentel, M. M., & Teixeira, W. (1995). Aspectos geoquímicos do Depósito Aurífero Mina III, greenstone belt de Crixás, Goiás. *Geochimica Brasiliensis*, 9(1).
- Fortes, P.T.F.O., 1996. Metalogênese dos depósitos auríferos Mina III, Mina Nova e Mina Inglesa, greenstone belt de Crixás, GO. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 176 pp.
- Fortes P.T.F.O., Cheilletz A., Giuliani G., Féraud G. 1997. A Brasiliano Age (500 ± 5 Ma) for the Mina III Gold Deposit, Crixás Greenstone Belt, Goiás State, Central Brazil. *Intern. Geol. Review*, 39:449-460.
- Fortes, P.T.F.O., Pimentel, M.M., Santos, R.V., Junges, S., 2003. Sm-Nd study of the Crixás greenstone belt, Brazil: implications for the age of deposition of the upper sedimentary rocks and associated Au mineralization. *Journal of South American Earth Sciences* 16, 503-512.
- Fuck, R. A., Dantas, E. L., Pimentel, M. M., Botelho, N. F., Armstrong, R., Laux, J. H., Junges, L. S., Soares & J. E., Praxedes, I. F. 2014. Paleoproterozoic crust-

- formation and reworking events in the Tocantins Province, central Brazil: A contribution for Atlantica supercontinent reconstruction." *Precambrian Research* 244 (2014): 53-74.
- Gaffey, S. J. (1986). Spectral reflectance of carbonate minerals in the visible and near infrared (0.35-2.55 microns); calcite, aragonite, and dolomite. *American Mineralogist*, 71(1-2), 151-162.
- Goetz, A. F., Rock, B. N., & Rowan, L. C., 1983. Remote sensing for exploration; an
- Gouvêa Luiz, J.; Da Costa e Silva, L.M. 1995. *Geofísica de Prospecção*. Belém. EDUFPA. p.
- Groves, D., Goldfarb, R., Gebre-Mariam, M., Hagemann, S., Robert, F., 1998. Orogenic gold deposits: A proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types. *Ore Geol. Rev.* 13, 7–27.
- Gunn, P. J., & Dentith, M. C. (1997). Magnetic responses associated with mineral deposits. *AGSO Journal of Australian Geology and Geophysics*, 17, 145-158.
- Harraden, C. L., McNulty, B. A., Gregory, M. J., & Lang, J. R., 2013. Shortwave infrared spectral analysis of hydrothermal alteration associated with the Pebble porphyry copper-gold-molybdenum deposit, Iliamna, Alaska. *Economic Geology*. 108(3), 483-494.
- Heath, C.J. & Campbell, I.H. 2004. A New Geochemical Technique for Gold Exploration: Alkali Element Mobility Associated with Gold Mineralization in the West Australian Goldfields. *Economic geology*, 99, p. 313-324.
- Hunt, G. R. (1970). Visible and near-infrared spectra of minerals and rocks: I silicate minerals. *Modern geology*, 1, 283-300.
- Hunt, G. R., 1977. Spectral signatures of particulate minerals in the visible and near infrared. *Geophysics*. 42(3), 501-513.
- Hunt, G. R., & Ashley, R. P., 1979. Spectra of altered rocks in the visible and near infrared. *Economic Geology*. 74(7), 1613-1629.
- Hunt, C. P., Moskowitz, B. M., & Banerjee, S. K. (1995). Magnetic properties of rocks and minerals. *Rock physics & phase relations*, 3, 189-204.
- IAEA, International Atomic Energy Agency, 2003. Guidelines for radioelement using gamma ray spectrometry data. Viena, 173p.
- Jost, H. & Oliveira, A.M., 1991. Stratigraphy of the greenstone belts, Crixás region, Goiás, Central Brazil. *Journal of South American Earth Sciences* 4, 201 -214.

- Jost, H., Dussin, I.A., Chemale Jr., F., Tassinari, C.C.G., Junges, S., 2008. U-Pb and Sm-Nd constraints for the Paleoproterozoic age of the metasedimentary sequences of the Goiás Archean greenstone belts. *South Am. Symp. Isotope Geology*, 6, San Carlos de Bariloche, Argentina, Proceedings, 4 pp.
- Jost, H., Chemale Jr., F., Dussin, I.A., Tassinari, C.C.G., Martins, R., 2010. A U-Pb zircon Paleoproterozoic age for the metasedimentary host rocks and gold mineralization of the Crixás greenstone belt, Goiás, Central Brazil. *Ore Geol. Reviews* 37, 127–139.
- Jost, H., Chemale Jr., F., Fuck, R.A., Dussin, R.A., 2013. Uv complex, the oldest orthogneisses of the Archean Paleoproterozoic terrane of central Brazil. *Journal of South American Earth Sciences* 47, 201-212.
- Jost, H., Carvalho, M.J., Rodrigues, V.G., Martins, R., 2014. Metalogênese dos greenstone belts de Goiás. In: Silva, M.G., Neto, M.B.R., Jost, H., Kuyumjian, R.M. (Orgs.), *Metalogênese das províncias tectnicas brasileiras*, Belo Horizonte, CPRM, pp. 141-168.
- Lovborg, L., Mose, E., 1987. Counting statistics in radioelement assaying with a portable spectrometer. *Geophysics*, 52, n.4, 555-563.
- Mantovani, M.S.M. & Brito Neves, B.B. 2005. The Paranapanema lithospheric block: its importance for Proterozoic (Rodinia, Gondwana) supercontinent theories. *Gondwana Research*, 8, 303–315.
- Melezhik V.A., Huhma H., Condon D.J., Fallick A.E., Whitehouse M.J. 2007. Temporal constraints on the Paleoproterozoic Lomagundi-Jatuli carbon isotopic event. *Geology*, 35:655.
- Melzer, S., & Wunder, B. (1999). Experimentally determined K-Rb-Cs exchange coefficients between micas, amphiboles and aqueous chloride solutions between 0.2 and 4 GPa. *Eos (Transactions, American Geophysical Union)*, 80, 361.
- Naghadehi, K. M., Hezarkhani, A., & Asadzadeh, S. (2014). Mapping the alteration footprint and structural control of Taknar IOCG deposit in east of Iran, using ASTER satellite data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 33, 57-66.
- Petersen Jr., K.J. 2003. Estudo das mineralizações auríferas do Corpo IV e V da Estrutura IV do greenstone belt de Crixás (GO). São Paulo, 195 p. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, USP

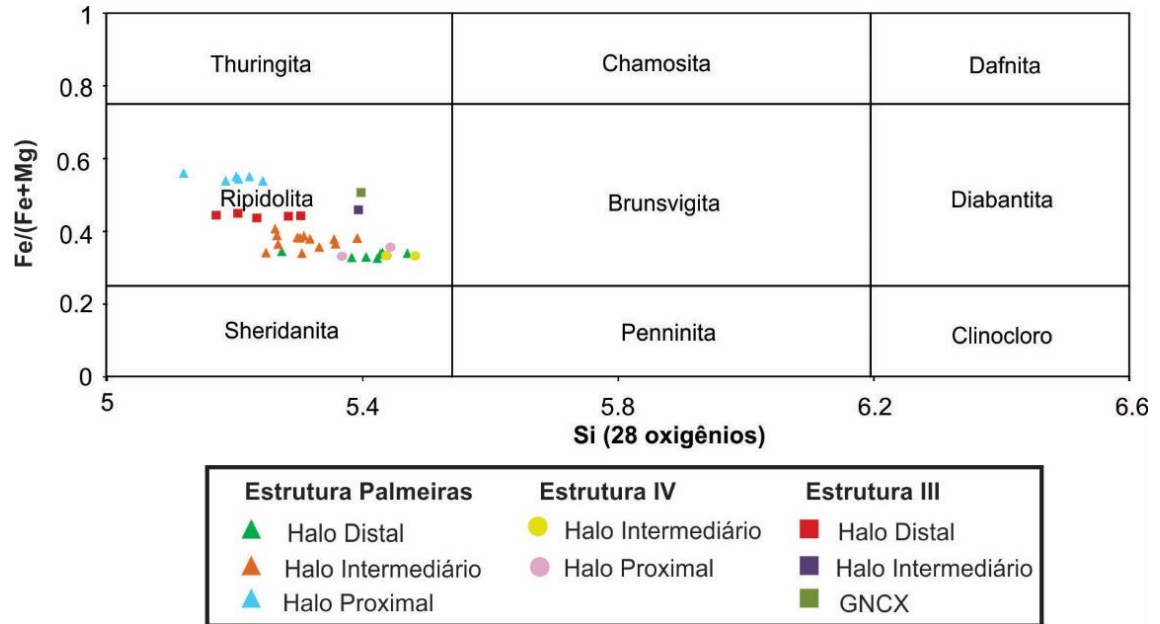
- Prado, E. M. G., Silva, A. M., Ducart, D. F., Toledo, C. L. B., & Assis, L. M. D., 2016. Reflectance spectroradiometry applied to a semi-quantitative analysis of the N4ws deposit, Carajás Mineral Province, Pará, Brazil.
- Pirajno, F. (2008). Hydrothermal processes and mineral systems. Springer Science & Business Media.
- Pimentel, M.M. and Fuck, R.A., 1992. Neoproterozoic crustal accretion in Central Brazil. *Nature* 20 (4), 375-379.
- Pimentel, M.M., Fuck, R.A., Jost, H., Ferreira Filho, C.F., Araújo, S.M., 2000. In: Cordani, U.G., Milani, E.J., Thomaz Filho, A., Campos, D.A. (Eds.), *Tectonic Evolution of South America*. Rio de Janeiro, 31st International Geological Congress. , pp. 151–182.
- Pimentel, M.M., Jost, H., Fuck, R.A., 2004. O embasamento da Faixa Brasília e o Arco Magmático de Goiás. In: Mantesso-Neto, V., Bartorelli, A., Carneiro, C.D.R., Neves, B.B.B. (Eds.), *Geologia do Continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Fávio Marques de Almeida*. Beca Produções Culturais Ltda, São Paulo, pp. 356-368.
- Pontual S., Merry N., Gamson P. 1997. *Spectral Interpretation Field Manual, Spectral Analysis Guide for Mineral Exploration, G-MEX Vol 1*, AusSpec International.
- Pontual S., Merry, N.J., Gamson P., 2008. *GMEX - Spectral analysis guides for mineral exploration: spectral interpretation field manual*. Auspec International Ltd. 1, p. 188.
- Ribeiro Filho, W. (1978). Projeto geologia da região de Pilar-Mara Rosa; relatório final. Goiania, DNPM/CRPM, 6-25.
- Sabins, F. F., 1999. Remote sensing for mineral exploration. *Ore Geology Reviews*. 14(3-4), 157-183.
- Sabóia, L.A., 1979. Os greenstone belts de Crixás e Goiás, GO. SBG, Núcleo Centro-Oeste, Boletim Informativo 9, 44-72.
- Simpson, M. P., & Christie, A. B. (2019). Hydrothermal alteration mineralogical footprints for New Zealand epithermal Au-Ag deposits. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, 1-30.
- Sobiesiak, M.S. 2011. Caracterização de depósito aurífero no Corpo Pequizão, Crixás-GO. Trabalho de Conclusão de Curso de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 100 p.

- Souza, R. G. D. (2018). Caracterização do Corpo aurífero Mangaba, Estrutura IV, Greenstone Belt de Crixás-GO.
- Van der Meer, F., 2004. Analysis of spectral absorption features in hyperspectral imagery: International Journal of Earth Observation and Geoinformation Science. v. 5 (1). p. 55– 68.
- Xu, Y. (1999). The stable isotope and trace element geochemistry of the Victory gold deposit, Western Australia.
- Yamaoka, W.N., & Araújo, E.M. 1988. Depósitos de Ouro Mina III, Crixás, Goiás. In: C. Schobbenhaus & C.E.S. Coelho (Eds.). Principais Depósitos Minerais do Brasil, Brasília, NPM/CVRD, v. 3, cap. 34, p. 491-498

ANEXOS

ANEXO I

Figura A1: Classificação de química mineral para as cloritas das Estruturas Palmeiras, III e IV.



AEXO II

Tabela A1: Dados de composição química das cloritas obtidos através da microsonda eletrônica.

Estrutura	Estrutura Palmeiras - Clorita														
Alteração	Halo Distal							Halo Intermediário							
Lâmina	CPIVESD0031_338							CPIVESD0031_340							
Análises	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO ₂	26.743	26.289	26.755	26.466	26.172	26.414	25.168	26.253	26.449	25.993	26.541	25.76	25.836	33.94	48.537
TiO ₂	0.068	0.161	0.013	0.236	0.259	0.139	0	0.156	0.065	0.135	0	0.198	0.133	0.856	0.66
Al ₂ O ₃	21.786	22.682	21.129	21.318	21.829	21.89	20.93	22.801	22.11	22.706	22.772	23.065	22.742	23.236	32.636
FeO	18.457	19.078	18.598	18.361	17.464	17.324	16.932	20.789	20.388	20.328	19.517	18.157	17.888	5.167	2.669
MnO	0.11	0.125	0.152	0.055	0.16	0.166	0.043	0.352	0.303	0.224	0.186	0.254	0.177	0.164	0.018
MgO	20.175	20.263	20.236	19.958	19.984	20.041	19.25	18.408	18.5	18.359	18.928	19.615	19.449	4.235	1.695
CaO	0.012	0.017	0.026	0.041	0.034	0.036	0.035	0	0	0.034	0.045	0.02	0.036	0	0.048
Na ₂ O	0.056	0.017	0.036	0.092	0.017	0.032	0.058	0.002	0.084	0.045	0.05	0.02	0	0.423	0.563
K ₂ O	0.071	0.014	0.001	0.077	0.037	0.052	0.036	0.046	0.021	0.037	0.042	0.012	0.051	7.765	9.88
BaO	0	0	0	0.077	0.047	0	0	0	0	0.029	0.018	0.015	0	0.165	0.389
F	0.013	0	0	0.088	0	0	0.093	0	0.048	0.042	0	0	0.082	0	0
Cl	0.006	0.02	0.003	0.029	0.001	0.026	0.004	0	0	0.027	0.008	0.011	0.002	0	0.011
Cr ₂ O ₃	0.068	0.169	0.044	0.134	0.089	0.054	0.034	0.101	0.19	0.101	0.303	0.076	0.123	0.226	0.253
V ₂ O ₃	0.048	0.099	0.082	0.097	0	0.005	0.037	0.057	0.049	0.037	0.032	0.016	0.034	0.053	0.13
NiO	0.039	0.073	0.021	0	0.108	0	0.12	0.12	0.11	0.247	0.192	0.044	0.077	0.05	0.01
SrO	0.03	0	0.095	0.044	0	0	0.186	0	0.01	0.106	0	0.07	0	0.112	0.06
P ₂ O ₅	0.028	0	0.035	0	0	0	0	0	0.014	0	0.036	0.023	0	0.056	0.073
Total	87.704	89.002	87.225	87.029	86.201	86.173	82.886	89.085	88.321	88.426	88.668	87.354	86.595	76.448	97.63

Tabela A1: Dados de composição química das cloritas obtidos através da microsonda eletrônica (Continuação).

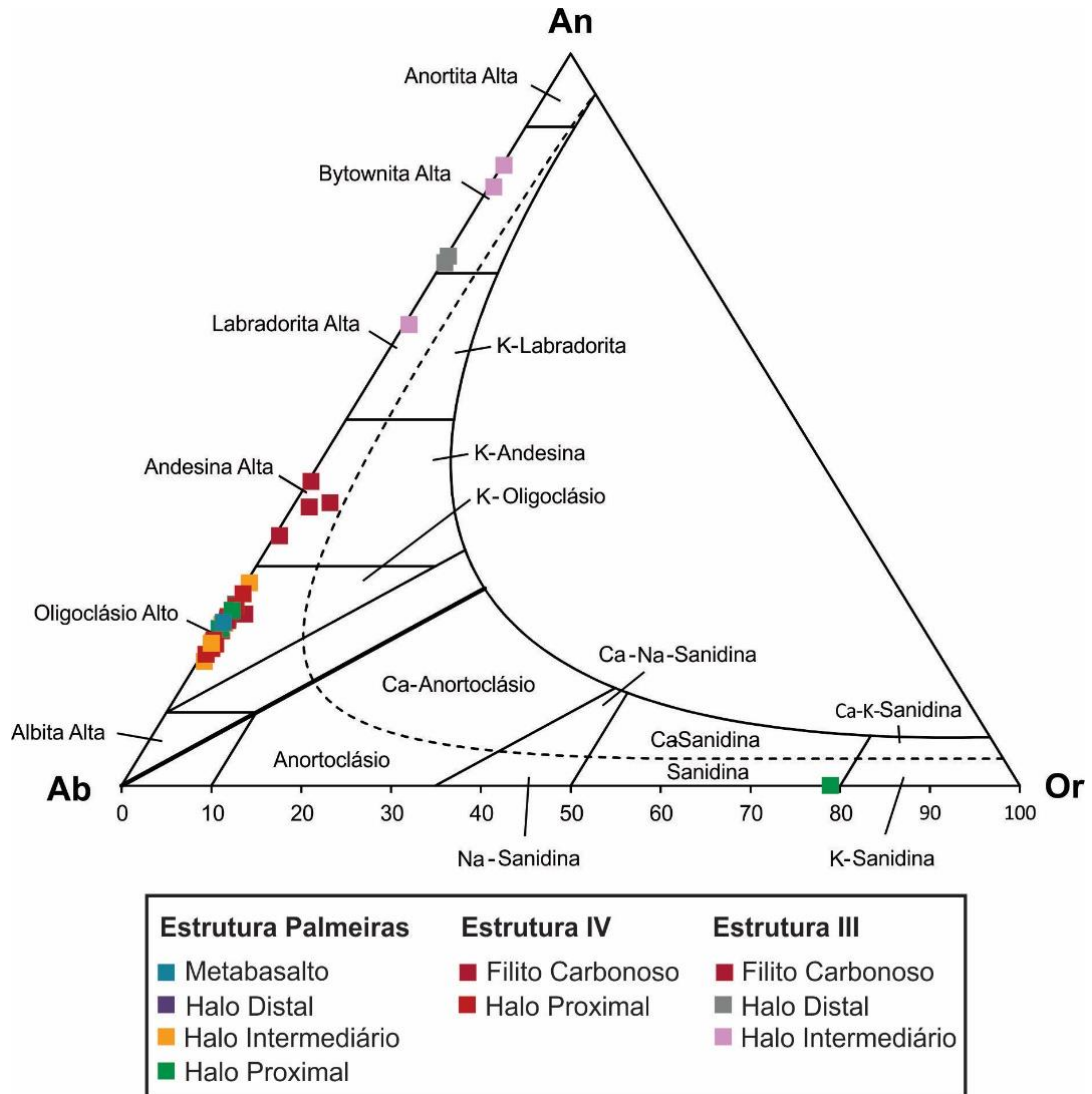
Estrutura	Estrutura Palmeiras - Clorita (continuação)													
Alteração	Halo Intermediário								Halo Proximal					
Lâmina	CPIVESD0031_340			CPIVESD0031_343					CPIVESD0031_341					
Análises	9	10	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
SiO2	42.847	26.143	24.804	25.598	24.73	24.912	24.342	24.999	24.509	23.517	24.792	24.358	24.246	24.378
TiO2	0.381	0	0.183	0	0	0.106	0	0.133	0.059	0.117	0.045	0.054	0.131	0.136
Al2O3	29.806	22.687	21.878	22.533	21.607	20.888	21.468	21.369	22.58	22.83	23.071	22.027	22.448	22.657
FeO	6.392	18.977	20.834	19.481	19.593	19.294	19.615	19.513	27.994	27.169	27.732	26.99	27.171	27.253
MnO	0.066	0.217	0.356	0.323	0.211	0.275	0.206	0.207	0.126	0.082	0.225	0.176	0.116	0.23
MgO	5.646	19.121	16.983	18.946	17.635	17.734	17.237	17.873	12.774	11.919	12.659	12.94	12.741	13.03
CaO	0.01	0	0.048	0	0.038	0.021	0.124	0.063	0	0.049	0.024	0.014	0	0.016
Na2O	0.424	0.022	0.04	0.016	0.025	0.113	0.084	0	0.073	0.101	0.08	0.029	0.013	0.019
K2O	8.425	0.051	0.094	0.035	0.051	0.084	0.12	0	0.049	0.088	0.073	0.028	0	0.02
BaO	0.333	0.032	0	0	0.034	0.044	0	0.02	0.003	0.073	0.021	0.024	0.144	0.024
F	0	0	0.046	0.082	0.108	0	0.107	0.061	0.04	0.016	0.053	0.023	0.039	0
Cl	0.033	0.029	0.02	0	0.01	0.031	0.035	0.004	0.012	0	0.003	0.015	0.025	0
Cr2O3	0.284	0.147	0.177	0.125	0.158	0.202	0.146	0.304	0.141	0.1	0	0.076	0.009	0.032
V2O3	0.105	0.025	0.002	0.096	0.037	0.036	0.085	0.113	0	0.002	0	0.054	0.019	0
NiO	0	0.112	0.11	0.068	0.035	0.104	0.199	0.07	0.184	0.201	0.196	0.177	0.258	0.146
SrO	0	0	0	0	0	0.005	0	0.025	0.01	0.01	0.019	0	0	0.01
P2O5	0.027	0	0.035	0.01	0.016	0	0.094	0	0	0	0	0	0	0
Total	94.772	87.556	85.586	87.278	84.241	83.842	83.809	84.727	88.534	86.267	88.97	86.972	87.338	87.951

Tabela A1: Dados de composição química das cloritas obtidos através da microsonda eletrônica (Continuação).

Estrutura	Estrutura IV - Clorita				Estrutura III - Clorita				
	Halo Intermediário		Halo Proximal		Halo Distal - Intermediário				GNCX
Alteração	CPIVESD0031_613		CPIVESD0031_614		MNE3UD0033_5				MNE3UD0033_19
Lâmina									
Análise	1	2	1	2	1	2	3	4	1
SiO2	25.09	25.535	26.229	26.613	24.797	24.867	24.972	24.822	25.268
TiO2	0	0.199	0	0.121	0.047	0.367	0	0.11	0.18
Al2O3	19.494	20.551	22.149	22.181	21.618	22.107	21.675	23.216	21.135
FeO	18.032	16.827	18.073	18.992	22.552	22.579	22.915	23.243	25.779
MnO	0.019	0.072	0.167	0.113	0.052	0.174	0.106	0.143	0.022
MgO	19.831	18.649	19.956	18.944	15.986	16.439	16.32	16.347	13.595
CaO	0.041	0.058	0.069	0.131	0.035	0.022	0.008	0.016	0.052
Na2O	0	0.255	0.105	0.079	0.055	0.028	0.032	0.033	0
K2O	0.184	0.524	0.064	0.056	0.056	0.092	0.048	0.033	0.212
BaO	0.015	0	0	0.007	0	0.118	0	0	0
F	0.231	0.11	0.028	0.113	0	0	0.076	0.018	0.06
Cl	0.007	0.029	0.02	0.015	0.001	0.016	0	0.027	0
Cr2O3	0.124	0.249	0.01	0	0.034	0.143	0.3	0.132	0.152
V2O3	0.002	0.049	0.024	0	0.045	0.089	0.149	0.101	0.092
NiO	0	0	0.023	0	0.002	0	0.025	0.014	0.122
SrO	0.066	0	0	0.008	0.004	0	0.03	0	0.043
P2O5	0.016	0.032	0.025	0.037	0.027	0.062	0.034	0	0.041
Total	83.053	83.086	86.925	87.359	85.311	87.099	86.658	88.241	86.728

ANEXO III

Figura A2: Classificação de química mineral para os plagioclásios das Estruturas Palmeiras, III e IV.



ANEXO IV

Tabela A2: Análises das composições químicas dos plagioclásios das Estruturas Palmeiras, III e IV.

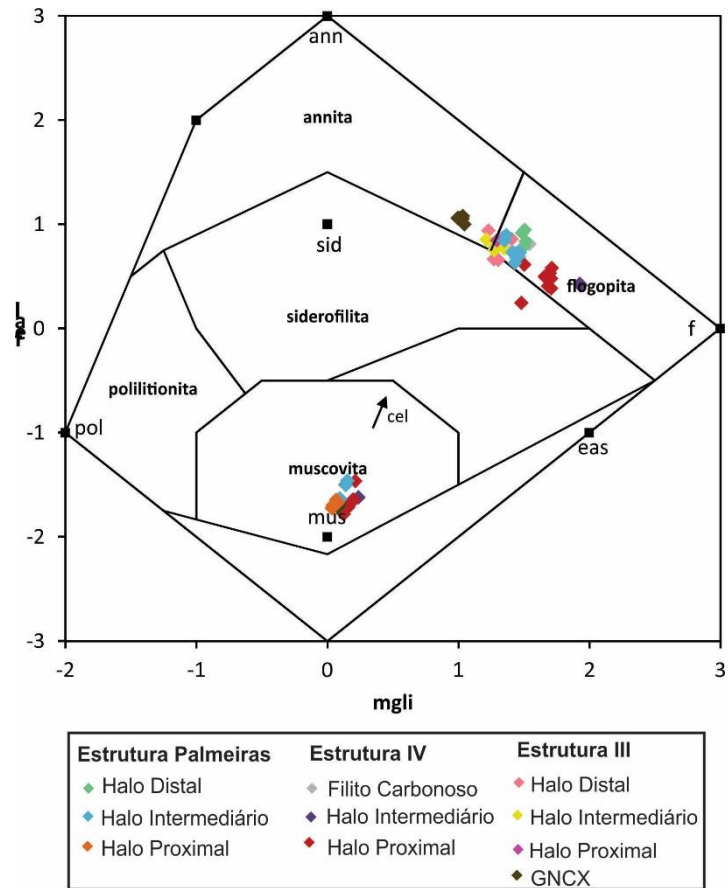
Estrutura	Estrutura Palmeiras										
Alteração	Metamorfismo Regional				Halo Distal						
Lâmina	CPIVESD0031_267				CPIVESD0031_338						
Análises	1	2	3	4	1	2	3	4	5	6	7
SiO ₂	43.229	43.22	56.025	54.216	44.148	43.546	44.204	46.422	45.133	44.848	44.123
TiO ₂	0.156	0.381	0.125	0.144	0.179	0.157	0.317	0.312	0.59	0.156	0.246
Al ₂ O ₃	13.004	12.3	1.521	2.026	13.646	15.12	13.603	10.147	10.822	10.832	11.211
FeO	14.807	15.08	9.603	10.055	16.154	16.491	15.885	15.479	16.386	15.305	15.769
MnO	0.176	0.157	0.203	0.35	0.287	0.233	0.051	0.01	0.236	0.091	0.06
MgO	10.411	10.22	17.966	17.569	10.874	10.002	10.587	11.835	11.262	11.612	11.204
CaO	11.573	11.66	12.447	12.149	11.318	11.449	11.194	11.182	10.912	10.76	10.727
Na ₂ O	1.351	1.331	0.128	0.217	1.715	1.647	1.357	1.372	1.386	1.4	1.478
K ₂ O	0.256	0.245	0.024	0.023	0.343	0.363	0.341	0.202	0.261	0.273	0.305
BaO	0.159	0.092	0.082	0.117	0	0.147	0.053	0	0	0	0.054
F	0	0	0	0	0.035	0	0	0	0	0	0.004
Cl	0.003	0.003	0	0	0.015	0	0.011	0.018	0.004	0.001	0.021
Cr ₂ O ₃	0.094	0.06	0	0.19	0.117	0	0	0.045	0.2	0.196	0.107
V ₂ O ₃	0.075	0.111	0.026	0.003	0.127	0.012	0.085	0.238	0.155	0.139	0.118
NiO	0.048	0.015	0.023	0.033	0.017	0	0.015	0.062	0	0.027	0.031
SrO	0.107	0.09	0.001	0.144	0.101	0	0.119	0.155	0.097	0	0.079
P ₂ O ₅	0.044	0	0.018	0	0.023	0.013	0.01	0.017	0	0	0
Total	95.492	94.95	98.192	97.236	99.081	99.18	97.83	97.492	97.443	95.64	95.53

Tabela A2: Análises das composições químicas dos plagioclásios das Estruturas Palmeiras, III e IV (Continuação).

Estrutura	Estrutura IV												Estrutura III					
	Metamorfismo Regional						Halo Proximal						Halo Distal		Halo Intermediário			
Alteração	CPIVESD0031_389						CPIVEDS0031_614						MNE3UD0033_5		MNE3UD0033_9			
Lâmina	CPIVESD0031_389						CPIVEDS0031_614						MNE3UD0033_5		MNE3UD0033_9			
Análise	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	1	2	3	
SiO2	57.201	54.35	52.74	60.377	61.412	58.449	60.461	61.997	62.79	62.442	63.485	61.052	49.875	49.204	51.158	45.558	46.883	
TiO2	0	0	0.005	0	0.003	0.043	0.039	0.034	0	0	0	0.135	0.019	0	0	0	0.023	
Al2O3	23.255	21.76	19.888	20.293	21.13	22.103	22.869	23.197	22.758	23.661	22.876	23.745	31.438	31.826	27.108	29.188	31.813	
FeO	0	0.203	0.037	0.044	0.065	0.084	0.016	0	0	0.033	0	0	0.126	0.138	0.029	0.102	0.067	
MnO	0.021	0	0.101	0.001	0	0	0.113	0	0	0	0	0	0.041	0.059	0	0.022	0	
MgO	0.027	0.087	0.033	0	0	0	0.009	0	0.02	0.002	0	0	0.014	0.034	0	0.057	0	
CaO	8.421	7.041	7.776	4.787	4.794	6.939	5.006	4.408	4.079	4.724	3.843	5.404	14.455	15.007	12.99	15.711	16.949	
Na2O	6.504	5.781	6.774	9.018	8.414	7.328	8.418	8.997	9.288	8.847	9.659	8.349	3.157	3.143	4.155	1.869	1.661	
K2O	0.056	0.593	0.318	0.09	0.341	0.086	0.074	0.099	0.142	0.091	0.079	0.07	0.046	0.035	0.087	0.087	0.033	
BaO	0	0	0.054	0.124	0.395	0.058	0.05	0	0	0.036	0.034	0.149	0	0	0	0	0	
F	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Cl	0	0	0.023	0	0	0.015	0.012	0.016	0	0	0.007	0.025	0.007	0	0.009	0	0	
Cr2O3	0	0	0	0.034	0.013	0.049	0	0	0	0	0	0	0	0.086	0.022	0	0.013	
V2O3	0	0.015	0.003	0.035	0	0	0.012	0	0	0.015	0	0.008	0.032	0	0.024	0.001	0	
NiO	0.043	0.039	0.021	0	0.027	0	0	0	0.061	0.039	0.01	0.012	0	0.027	0.029	0	0	
SrO	0.037	0.117	0.069	0.022	0	0.057	0.097	0.052	0.11	0.079	0.086	0	0	0.169	0.27	0.203	0.082	
P2O5	0	0.028	0.005	0	0	0	0.03	0.037	0.018	0.055	0.023	0.033	0.035	0.034	0.014	0	0.058	
Total	95.565	90.02	87.842	94.825	96.594	95.208	97.203	98.833	99.266	100.024	100.1	98.976	99.243	99.762	95.893	92.798	97.582	

ANEXO V

Figura A3: Classificação de química mineral para as micas das Estrutura Palmeiras, III e IV.



ANEXO VI

Tabela A3: Análises das composições químicas das micas das Estruturas Palmeiras, III e IV.

Estrutura	Estrutura Palmeiras														
	Halo Distal				Halo Intermediário										
Alteração	CPIVESDOO31_338				CPIVESD0031_340										
Lâmina	CPIVESDOO31_338				CPIVESD0031_340										
Análises	1	2	3	4	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
SiO ₂	37.597	38.312	38.107	37.443	37.46	37.462	37.109	36.808	37.658	37.558	37.521	37.1	44.786	45.29	46.607
TiO ₂	2.08	1.679	1.463	1.807	1.798	2.115	1.875	2.022	1.128	1.904	1.814	1.678	0.487	0.724	0.308
Al ₂ O ₃	16.74	16.95	17.224	16.648	17.566	17.051	17.667	17.733	17.989	17.858	18.154	17.696	32.659	30.621	33.79
FeO	17.038	16.369	16.238	16.909	17.262	17.064	15.047	15.067	15.17	14.965	15.288	15.336	3.082	2.845	2.557
MnO	0.076	0.15	0.068	0.179	0.044	0.192	0.19	0.229	0.22	0.063	0.15	0.216	0.06	0	0.016
MgO	13.699	13.865	13.752	13.383	12.161	12.256	13.169	12.555	12.837	13.03	13.11	12.961	1.382	1.474	0.98
CaO	0.024	0	0.025	0.009	0	0	0	0	0.002	0.011	0.022	0.012	0.018	0	0.017
Na ₂ O	0.254	0.224	0.212	0.19	0.208	0.185	0.192	0.172	0.229	0.135	0.266	0.21	0.441	0.569	0.602
K ₂ O	9.12	9.373	9.292	8.962	9.378	9.665	9.828	9.642	9.791	9.522	9.601	9.626	10.09	10.206	9.458
BaO	0.456	0.369	0.308	0.263	0.191	0.217	0.192	0.336	0.255	0.191	0.21	0.232	1.426	0.304	0.144
F	0.001	0.045	0	0.003	0.243	0.348	0.366	0.345	0.329	0.44	0.431	0.307	0	0	0
Cl	0.035	0.033	0.031	0.011	0.005	0.017	0.009	0.015	0.007	0.005	0.011	0.009	0.019	0.003	0.021
Cr ₂ O ₃	0.106	0.035	0.164	0.036	0.07	0.07	0.233	0.174	0.117	0.222	0.115	0.08	0.143	0.206	0.193
V ₂ O ₃	0.134	0.148	0.155	0.176	0.101	0.113	0.074	0.099	0.102	0.08	0.122	0.116	0.061	0.145	0.069
NiO	0.079	0.008	0.091	0.06	0.128	0.05	0.102	0.156	0.054	0.054	0.098	0.129	0.023	0.006	0
SrO	0.039	0.041	0	0.024	0	0.056	0	0	0.088	0.144	0	0	0	0.051	0
P ₂ O ₅	0.023	0.023	0	0.035	0	0.01	0	0	0.052	0.061	0.062	0	0.012	0	0.023
Total	97.493	97.598	97.123	96.135	96.512	96.72	95.897	95.205	95.887	96.057	96.792	95.577	94.685	92.443	94.78

Tabela A3: Análises das composições químicas das micas das Estruturas Palmeiras, III e IV (Continuação).

Estrutura	Estrutura Palmeiras									Estrutura IV								
Alteração	Halo Proximal									Metamorfismo Regional						Intermediário		
Lâmina	CPIVESD0031_341									CPIVESD0031_389						CPIVESD0031_613		
Análises	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	1	2	3
SiO ₂	46.502	46.718	46.495	48.232	47.062	48.629	46.608	47.372	47.365	38.643	37.696	36.746	35.75	37.117	36.999	38.906	47.26	48.228
TiO ₂	0.221	0.278	0.22	0	0.437	0.129	0	0.1	0.159	1.631	1.668	1.431	1.544	1.377	1.699	1.094	0.174	0.473
Al ₂ O ₃	35.67	36.252	35.605	40.733	36.042	32.612	34.263	34.8	40.133	16.06	16.584	15.963	15.706	16.292	16.368	16.45	32.84	31.099
FeO	2.301	2.121	2.42	0.942	2.208	2.13	2.378	2.83	1.042	15.38	15.395	15.228	15.086	14.792	14.56	11.183	1.094	1.101
MnO	0	0	0	0.01	0.044	0.107	0.076	0.041	0.027	0.021	0.091	0.145	0.144	0.111	0.008	0.125	0.077	0
MgO	0.418	0.367	0.418	0.053	0.532	0.806	0.669	0.695	0.035	12.747	12.612	12.75	13.105	12.471	12.717	17.368	1.645	2.382
CaO	0	0.048	0.024	0.265	0.024	0.048	0	0	0.5	0.023	0.006	0.006	0	0.02	0	0.017	0.019	0.012
Na ₂ O	1.721	1.882	1.687	6.94	1.763	1.299	1.493	1.513	7.11	0.157	0.199	0.142	0.127	0.062	0.113	0.176	0.671	0.536
K ₂ O	8.83	8.561	8.743	1.394	8.713	8.444	9.162	8.821	0.938	9.557	9.504	9.537	8.854	9.661	9.583	9.543	10.32	10.2
BaO	0.197	0.255	0.189	0.073	0.117	0.124	0.22	0.012	0.036	0.283	0.417	0.403	0.128	0.466	0.353	0.089	0.776	0.564
F	0	0	0	0	0	0.057	0	0	0	0.402	0.47	0.549	0.423	0.521	0.482	1.88	0.014	0.243
Cl	0.002	0.005	0.011	0.039	0	0.011	0.005	0	0	0.018	0.007	0.018	0.016	0.007	0.015	0.012	0	0
Cr ₂ O ₃	0.132	0.05	0.171	0.059	0.252	0	0.071	0.266	0.132	0.011	0	0.079	0.104	0.062	0.035	0.035	0	0.034
V ₂ O ₃	0.077	0.12	0.061	0.003	0.076	0.074	0.075	0.05	0.024	0.058	0.13	0.097	0.063	0.079	0.11	0.052	0.052	0.062
NiO	0.006	0	0	0.06	0	0.025	0	0	0	0.069	0.004	0	0.059	0	0	0	0	0.076
SrO	0	0.084	0.056	0	0.11	0	0	0.057	0	0	0.005	0.024	0.051	0.051	0.08	0.1	0	0
P ₂ O ₅	0.049	0.054	0	0	0.004	0	0	0.024	0	0.023	0.013	0.004	0.043	0.047	0.023	0	0.033	0.03
Total	96.126	96.794	96.098	98.794	97.384	94.469	95.019	96.581	97.501	94.91	94.601	92.887	91.021	92.915	92.939	96.235	94.96	94.938

Tabela A3: Análises das composições químicas das micas das Estruturas Palmeiras, III e IV (Continuação).

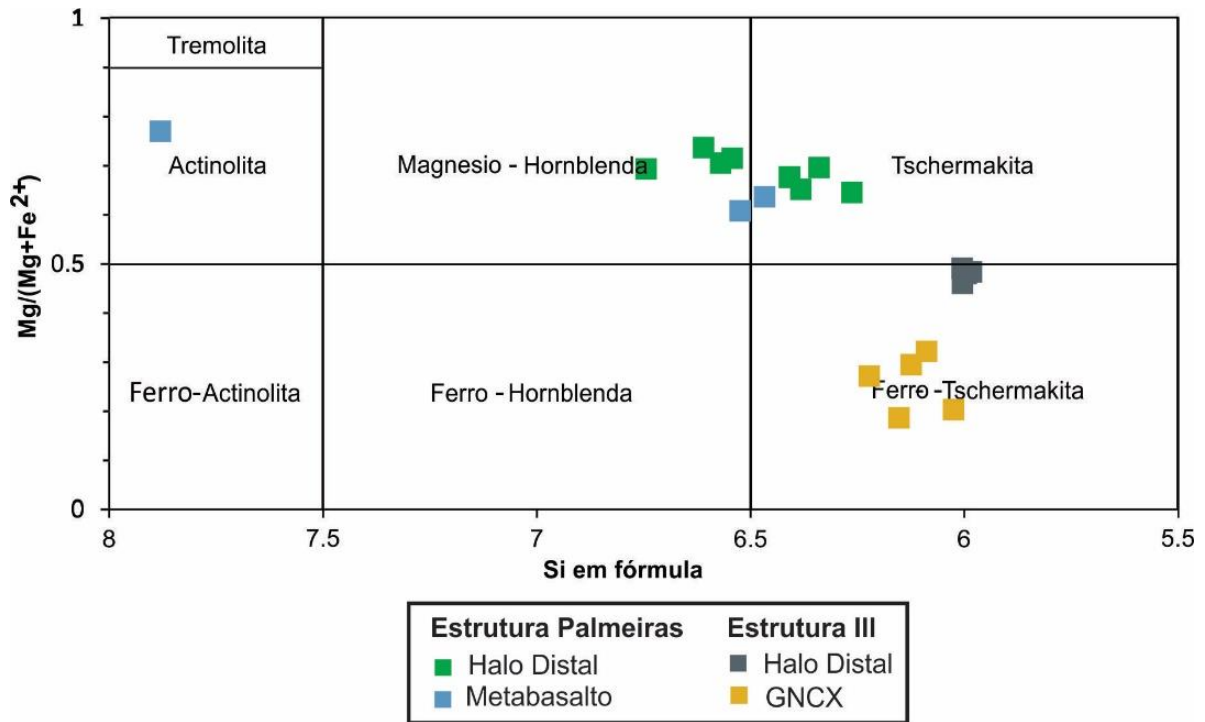
Estrutura	Estrutura IV												Estrutura III					
Alteração	Proximal												Halo Distal					
Lâmina	CPIVESD0031_614												MNE3UD0033_5					
Análise	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6
SiO2	47.549	46.454	38.039	30.758	56.103	47.991	47.001	38.112	48.126	47.127	38.292	37.296	36.509	36.827	36.398	36.83	35.671	36.209
TiO2	0.394	0.226	1.159	1.268	0.783	0.526	0.579	1.279	0.612	0.027	0.762	0.703	1.375	1.37	1.534	1.574	1.558	1.828
Al2O3	33.583	34.529	18.002	14.586	24.46	32.482	32.083	18.226	34.166	34.953	18.317	17.455	18.493	17.917	18.933	18.262	18.059	18.396
FeO	0.99	1.037	11.966	11.673	1.227	1.221	1.112	13.659	1.017	0.981	12.783	13.117	16.184	17.307	16.359	17.425	17.919	16.944
MnO	0	0.064	0.066	0.075	0.067	0	0	0.109	0.034	0	0.182	0.1	0	0	0	0.089	0.061	0.086
MgO	1.611	1.247	15.338	11.076	2.198	2.058	1.924	15.486	1.548	1.267	15.262	15.08	11.456	11.895	11.221	11.824	11.716	11.331
CaO	0.012	0.019	0	0.239	0.007	0	0.024	0	0.059	0.03	0.019	0.001	0	0.011	0	0	0.041	0.006
Na2O	0.661	0.739	0.132	0.256	0.294	0.587	0.705	0.157	0.637	0.851	0.236	0.189	0.155	0.146	0.179	0.154	0.235	0.232
K2O	9.84	9.721	9.608	8.301	9.351	10.127	10.037	9.176	9.979	10.295	9.578	9.357	9.372	9.234	9.308	9.365	8.884	9.299
BaO	0.724	1.364	0.35	0.345	0.593	0.402	0.444	0.257	0.679	0.469	0.196	0.264	0.325	0.25	0.424	0.313	0.244	0.437
F	0.05	0	1.239	0.596	0	0.11	0.095	1.117	0.034	0	1.13	1.137	0.667	0.627	0.611	0.656	0.698	0.502
Cl	0.02	0.018	0.033	0.068	0.057	0.003	0.028	0	0.019	0.027	0.039	0.033	0.016	0.012	0.024	0	0.006	0.046
Cr2O3	0.013	0.084	0	0.141	0.063	0	0.05	0.116	0.024	0	0.081	0.141	0.137	0.114	0.115	0.012	0.07	0.081
V2O3	0.089	0.068	0.062	0.023	0.104	0.042	0.017	0	0.064	0.101	0	0.048	0.182	0.195	0.248	0.147	0.197	0.172
NiO	0.016	0	0.085	0.089	0	0	0	0.021	0	0	0	0.019	0.05	0.004	0	0.004	0.021	0.015
SrO	0.129	0.041	0	0.057	0	0.121	0.029	0.091	0.108	0.037	0.086	0.047	0.019	0	0.072	0.004	0	0.025
P2O5	0.086	0	0.069	0	0	0.014	0.004	0.017	0.041	0.025	0	0	0.014	0	0	0.054	0.049	0
Total	95.741	95.607	95.619	79.285	95.294	95.637	94.086	97.353	97.129	96.184	96.478	94.501	94.669	95.642	95.164	96.437	95.134	95.388

Tabela A3: Análises das composições químicas das micas das Estruturas Palmeiras, III e IV (Continuação).

Estrutura	Estrutura III														
Alteração	Halo Intermediário					GNCX									
Lâmina	MNE3UD0033_6					MNE3UD0033_19									
Análise	1	1	2	3	4	1	2	3	4	5	6	7			
SiO2	35.507	37.222	37.347	37.262	36.801	35.748	36.942	34.827	35.322	35.213	46.41	46.199	44.79	44.971	47.225
TiO2	1.409	2.06	0.977	1.691	1.591	1.74	1.446	1.727	1.606	2.125	0.274	0.228	0.177	0.008	0.382
Al2O3	16.431	17.333	17.555	16.884	16.984	17.366	17.552	16.564	17.328	17.388	31.871	31.769	30.183	30.882	32.064
FeO	16.778	17.529	17.315	16.756	16.171	20.436	20.553	19.387	20.584	19.72	1.927	1.374	3.141	1.303	1.383
MnO	0.171	0.013	0.127	0.036	0.075	0.073	0	0.073	0.004	0	0.027	0	0	0.065	0
MgO	10.914	10.735	11.235	11.233	11.772	8.695	9.201	8.73	8.481	8.847	0.931	0.923	1.321	0.784	0.922
CaO	0.11	0.013	0	0.008	0.008	0.002	0.015	1.286	0.01	0.045	0.041	0.035	0	0.009	0
Na2O	0.265	0.156	0.148	0.147	0.121	0.168	0.235	0.298	0.179	0.197	0.638	0.723	0.618	0.767	0.723
K2O	9.367	9.269	9.492	9.259	9.254	9.526	9.369	9.039	8.999	9.438	10.147	10.334	10.332	9.755	10.188
BaO	0.381	0.47	0.59	0.358	0.667	0.251	0.242	0.152	0.215	0.3	0.654	0.715	0.499	0.601	0.638
F	0.69	0.271	0.242	0.311	0.32	0.102	0.167	0.071	0.117	0.213	0	0	0	0	0
Cl	0.037	0	0.01	0.019	0.009	0.038	0.038	0.047	0.011	0.024	0.037	0.011	0.021	0.064	0
Cr2O3	0.091	0.07	0.035	0	0.082	0.058	0.103	0.149	0.09	0.169	0.193	0.06	0	0.123	0.084
V2O3	0.072	0.086	0.018	0.117	0.01	0.11	0.06	0.08	0.102	0.116	0.099	0.039	0.046	0.102	0.091
NiO	0.063	0.025	0	0	0.04	0	0.113	0.065	0.025	0.044	0.066	0.002	0.004	0	0
SrO	0	0	0	0.02	0.061	0	0	0.051	0	0.195	0.013	0.084	0.023	0	0.005
P2O5	0.042	0	0.037	0	0	0.013	0	0.035	0.061	0	0.014	0.038	0.026	0.05	0.039
Total	92.029	95.138	95.024	93.966	93.829	94.274	95.957	92.54	93.083	93.939	93.334	92.532	91.176	89.47	93.744

ANEXO VII

Figura A4: Classificação de química mineral para os anfibólios das Estruturas Palmeiras, III e IV.



ANEXO VIII

Tabela A4: Análises das composições químicas das micas das Estruturas Palmeiras, III e IV (Continuação).

Estrutura	Estrutura Palmeiras											Estrutura III						
Alteração	Metamorfismo Regional				Halo Distal							Halo Distal		GNCX				
Lâmina	CPIVESD0031_267				CPIVESD0031_338							MNE3UD0033_5		MNE3UD0033_19				
Análises	1	2	3	4	1	2	3	4	5	6	7	1	2	1	2	3	4	5
SiO2	43.229	43.22	56.025	54.216	44.148	43.546	44.204	46.422	45.133	44.848	44.123	40.467	40.457	39.661	40.885	38.873	40.655	40.007
TiO2	0.156	0.381	0.125	0.144	0.179	0.157	0.317	0.312	0.59	0.156	0.246	0.198	0.278	0.077	0.452	0.212	0	0.131
Al2O3	13.004	12.3	1.521	2.026	13.646	15.12	13.603	10.147	10.822	10.832	11.211	19.317	19.045	18.742	16.962	18.764	19.324	18.728
FeO	14.807	15.08	9.603	10.055	16.154	16.491	15.885	15.479	16.386	15.305	15.769	17.722	17.612	19.42	21.843	21.937	19.889	22
MnO	0.176	0.157	0.203	0.35	0.287	0.233	0.051	0.01	0.236	0.091	0.06	0.186	0.143	0	0	0.122	0	0.053
MgO	10.411	10.22	17.966	17.569	10.874	10.002	10.587	11.835	11.262	11.612	11.204	6.052	6.272	4.405	3.903	2.767	4.039	2.535
CaO	11.573	11.66	12.447	12.149	11.318	11.449	11.194	11.182	10.912	10.76	10.727	10.987	10.9	11.14	10.79	11.231	11.096	10.867
Na2O	1.351	1.331	0.128	0.217	1.715	1.647	1.357	1.372	1.386	1.4	1.478	1.193	1.024	1.091	1.111	0.915	0.941	0.932
K2O	0.256	0.245	0.024	0.023	0.343	0.363	0.341	0.202	0.261	0.273	0.305	0.468	0.466	0.53	0.743	0.521	0.519	0.468
BaO	0.159	0.092	0.082	0.117	0	0.147	0.053	0	0	0	0.054	0	0	0	0.008	0.026	0	0.025
F	0	0	0	0	0.035	0	0	0	0	0	0.004	0.033	0.083	0.11	0	0.007	0	0
Cl	0.003	0.003	0	0	0.015	0	0.011	0.018	0.004	0.001	0.021	0.014	0.006	0.03	0.079	0.014	0.011	0.023
Cr2O3	0.094	0.06	0	0.19	0.117	0	0	0.045	0.2	0.196	0.107	0.058	0.115	0.044	0.045	0.067	0.148	0.043
V2O3	0.075	0.111	0.026	0.003	0.127	0.012	0.085	0.238	0.155	0.139	0.118	0.225	0.205	0.054	0.105	0.122	0.085	0.112
NiO	0.048	0.015	0.023	0.033	0.017	0	0.015	0.062	0	0.027	0.031	0.014	0.027	0	0	0.004	0.044	0.015
SrO	0.107	0.09	0.001	0.144	0.101	0	0.119	0.155	0.097	0	0.079	0	0	0	0.093	0	0	0
P2O5	0.044	0	0.018	0	0.023	0.013	0.01	0.017	0	0	0	0.011	0	0	0	0.061	0.029	0.01
Total	95.492	94.95	98.192	97.236	99.081	99.18	97.83	97.492	97.443	95.64	95.53	96.928	96.597	95.251	97.001	95.637	96.778	95.944

ANEXO IX

Tabela A5: Dados de composição química dos carbonatos obtidos através da microsonda eletrônica das Estruturas Palmeiras, III e IV.

Estrutura	Estrutura Palmeiras - Carbonatos												
Alteração	Metamorfismo Regional					Halo Distal					Halo Intermediário		
Lâmina	CPIVESD0031_267					CPIVESD0031_338					CPIVESD0031_340		
Análise	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3
SiO ₂	0.027	0	0	0	0	0	0.04	0	0	0	0.006	0	0
TiO ₂	0.114	0.264	0.005	0	0	0	0.098	0	0.031	0	0.009	0	0
Al ₂ O ₃	0.02	0	0	0.017	0	0.006	0.053	0.004	0	0	0.009	0.033	0.004
FeO	1.538	1.548	1.379	1.548	1.259	1.883	7.974	2.188	1.976	7.489	9.532	9.734	9.542
MnO	0.774	0.501	0.722	0.684	0.807	0.611	0.683	0.736	0.6	0.922	1.054	1.345	1.098
MgO	1.422	1.202	1.004	1.381	1.222	1.771	14.839	2.026	1.849	15.053	14.031	13.913	14.021
CaO	55.877	54.18	54.952	48.574	50.178	48.874	28.258	48.126	48.261	28.009	28.198	28.009	28.028
Na ₂ O	0.006	0.014	0.001	0	0.005	0.012	0	0	0	0.023	0.06	0.018	0
K ₂ O	0.015	0	0	0	0.007	0	0.007	0	0	0	0.014	0.012	0
BaO	0.035	0.127	0	0.136	0	0	0	0	0	0	0	0	0.002
F	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cl	0	0.017	0.005	0	0	0.014	0.003	0	0	0.012	0.006	0.009	0
Cr ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0.024	0	0	0	0	0	0.01
V ₂ O ₃	0	0.012	0	0.019	0.02	0.022	0.024	0	0.029	0.046	0	0.031	0
NiO	0	0	0.002	0.012	0.042	0	0	0.021	0	0.021	0.023	0.042	0.054
SrO	0	0	0	0.072	0.008	0.008	0.069	0	0.064	0	0.048	0.112	0
P ₂ O ₅	0.033	0.016	0	0.058	0.007	0	0	0.022	0	0	0.001	0	0
Total	59.861	57.877	58.069	52.501	53.555	53.198	52.071	53.123	52.81	51.572	52.99	53.256	52.759

Tabela A5: Dados de composição química dos carbonatos obtidos através da microsonda eletrônica das Estruturas Palmeiras, III e IV.

Estrutura	Estrutura Palmeiras – Carbonatos (continuação)												
Alteração	Halo Intermediário												
Lâmina	CPIVESD0031_340							CPIVESD0031_343					
Análise	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6
SiO2	0.042	0	0	0.022	0	0	0	0.002	0	0	0	0.029	0.016
TiO2	0.005	0	0.073	0	0.039	0.014	0	0.024	0	0.084	0.077	0	0.151
Al2O3	0	0	0	0	0	0.022	0.015	0.006	0.017	0	0.001	0.006	0
FeO	9.648	5.02	5.721	5.607	0.72	1.106	0.735	8.456	9.156	8.064	9.02	9.294	9.254
MnO	1.307	0.96	1.032	0.826	0.462	0.858	0.74	2.264	2.135	1.985	1.859	1.686	1.734
MgO	13.891	16.545	16.721	17.047	19.982	19.82	19.92	13.735	13.607	13.704	13.385	13.446	13.012
CaO	27.872	29	27.794	27.963	28.276	28.647	28.518	27.814	27.751	27.469	27.83	27.644	27.478
Na2O	0.019	0.015	0.035	0.04	0.016	0.105	0.044	0.006	0.01	0.038	0.023	0.013	0.021
K2O	0.005	0.005	0	0	0.004	0	0	0.013	0.007	0.004	0	0.043	0
BaO	0	0.111	0.047	0	0	0	0.058	0	0.029	0.012	0.041	0.177	0
F	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cl	0.033	0.004	0.013	0	0.007	0.025	0.004	0	0	0.005	0.004	0.015	0.006
Cr2O3	0.002	0	0.095	0.072	0	0.059	0.014	0.034	0	0.035	0.071	0.119	0.048
V2O3	0	0.021	0.023	0.011	0	0	0.052	0.022	0	0.017	0	0.015	0.029
NiO	0.019	0.012	0.029	0.012	0.056	0	0.002	0	0	0.052	0.031	0	0.042
SrO	0	0	0.029	0.043	0.047	0	0.056	0.018	0	0.071	0.113	0	0
P2O5	0.03	0.025	0.023	0.036	0	0.036	0	0.013	0.004	0	0	0.002	0
Total	52.866	51.717	51.632	51.679	49.607	50.686	50.157	52.407	52.716	51.539	52.454	52.486	51.79

Tabela A5: Dados de composição química dos carbonatos obtidos através da microsonda eletrônica das Estruturas Palmeiras, III e IV (Continuação).

Estrutura	Estrutura IV - Carbonatos							Estrutura III												
Alteração	Halo Intermediário			Halo Proximal				Halo Proximal					Halo Intermediário							
Lâmina	CPIVESD0031_613			CPIVESD0031_614				MNE3UD0033_6					MNE3UD0033_9							
Análise	1	2	3	1	2	3	4	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO2	0	0	0	0	0	0.043	0	0.024	0.02	0.065	0.05	0.023	0	0.008	0	0.04	0.017	0	0.033	0
TiO2	0.029	0	0	0.014	0.078	0.099	0.117	0.043	0	0	0.064	0	0.03	0.102	0	0.024	0	0	0	0.03
Al2O3	0	0.042	0	0	0.009	0.029	0	0	0	0.005	0	0	0.035	0.018	0	0.01	0.015	0.005	0	0
FeO	10.295	6.753	11.017	7.428	7.365	7.424	7.543	3.04	2.636	2.391	2.057	2.167	2.313	2.575	2.46	2.691	2.764	2.594	2.29	2.486
MnO	0.494	0.627	0.46	0.839	0.766	0.789	0.767	1.179	0.633	0.862	0.782	0.574	0.861	0.876	1.032	0.967	1.431	0.978	0.883	0.801
MgO	14.446	16.882	14.095	15.765	15.74	15.909	15.658	1.497	1.568	1.147	1.081	1.151	1.472	1.775	1.58	1.607	1.654	1.581	1.453	1.578
CaO	27.796	27.931	27.497	27.899	28.044	28.021	27.607	54.05	48.286	50.341	49.973	49.869	49.53	49.615	48.67	53.39	52.312	49.931	49.48	49.01
Na2O	0	0.018	0.008	0.019	0	0.023	0.003	0.012	0	0	0	0.175	0.025	0.025	0.044	0.01	0	0.012	0.045	0.064
K2O	0.002	0	0	0.021	0.006	0.019	0.013	0	0.001	0	0.01	0.071	0.001	0.002	0.017	0	0.01	0.003	0.014	0.019
BaO	0	0	0	0	0	0	0.016	0.002	0	0	0	0.036	0.014	0.068	0	0.097	0	0	0	0.07
F	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cl	0	0.005	0.015	0	0.001	0	0.013	0.007	0.009	0.002	0	0.04	0.003	0	0.002	0.002	0.002	0.012	0.006	0.001
Cr2O3	0.01	0.061	0.012	0	0	0.001	0.071	0.073	0	0	0.134	0	0.071	0.061	0	0.014	0.112	0	0	0
V2O3	0	0.012	0.02	0	0	0	0	0	0.012	0.017	0	0	0.003	0.008	0	0	0	0	0	0.003
NiO	0.015	0	0	0.052	0	0.042	0	0	0.017	0.057	0	0.036	0.034	0.071	0.004	0	0.023	0.078	0.032	0.065
SrO	0.143	0.016	0.165	0.132	0	0.047	0.15	0.069	0.154	0.121	0	0.147	0.007	0.031	0.026	0.055	0.019	0.064	0.052	0.028
P2O5	0.005	0	0.007	0.009	0.003	0	0.028	0.048	0	0.046	0.041	0.03	0.106	0.011	0.017	0.01	0	0.041	0	0.019

ANEXO XI

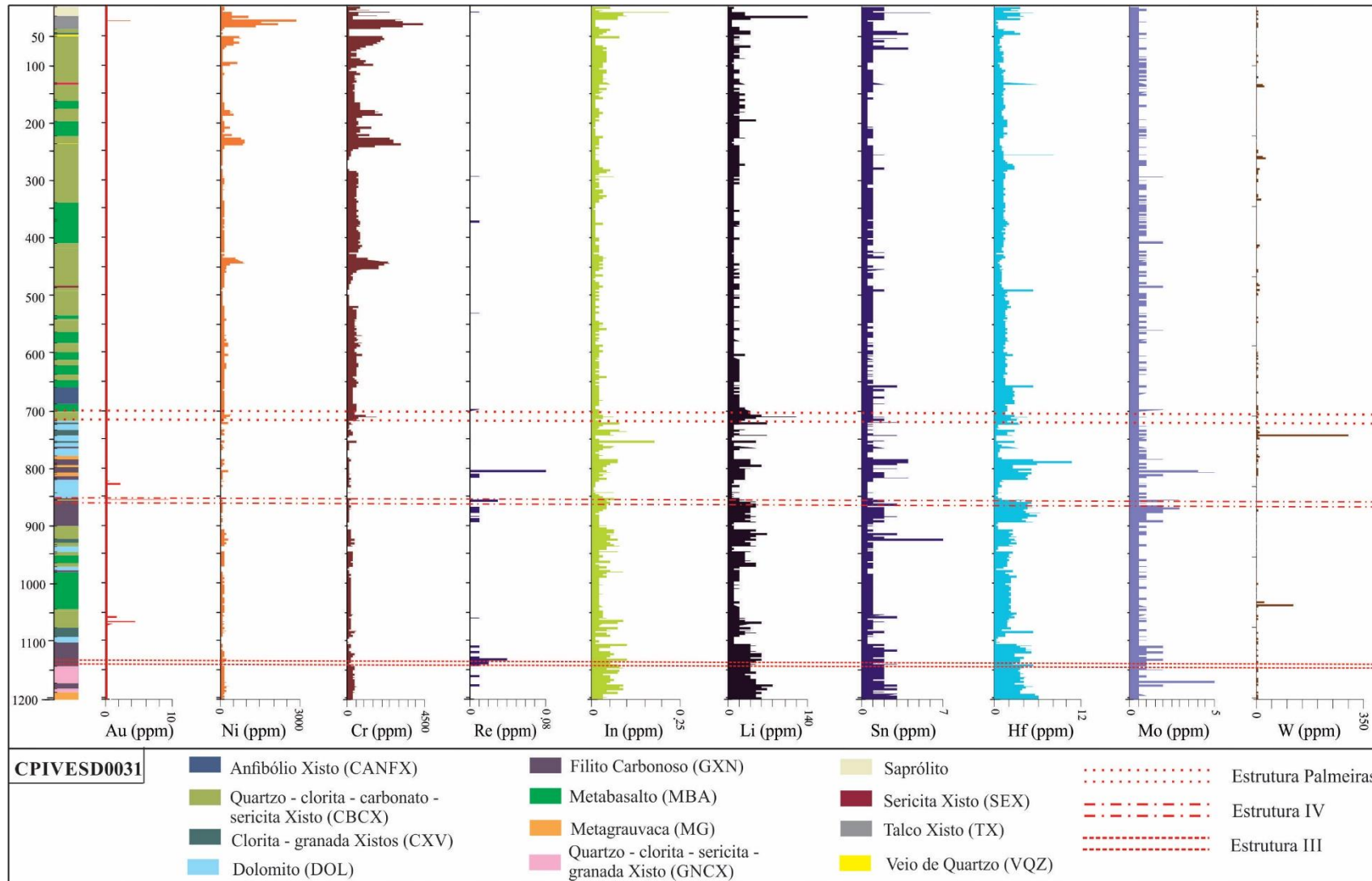


Figura A5: Scatter plots mostrando a variação dos elementos menores ao longo do furo CPIVESD0031.

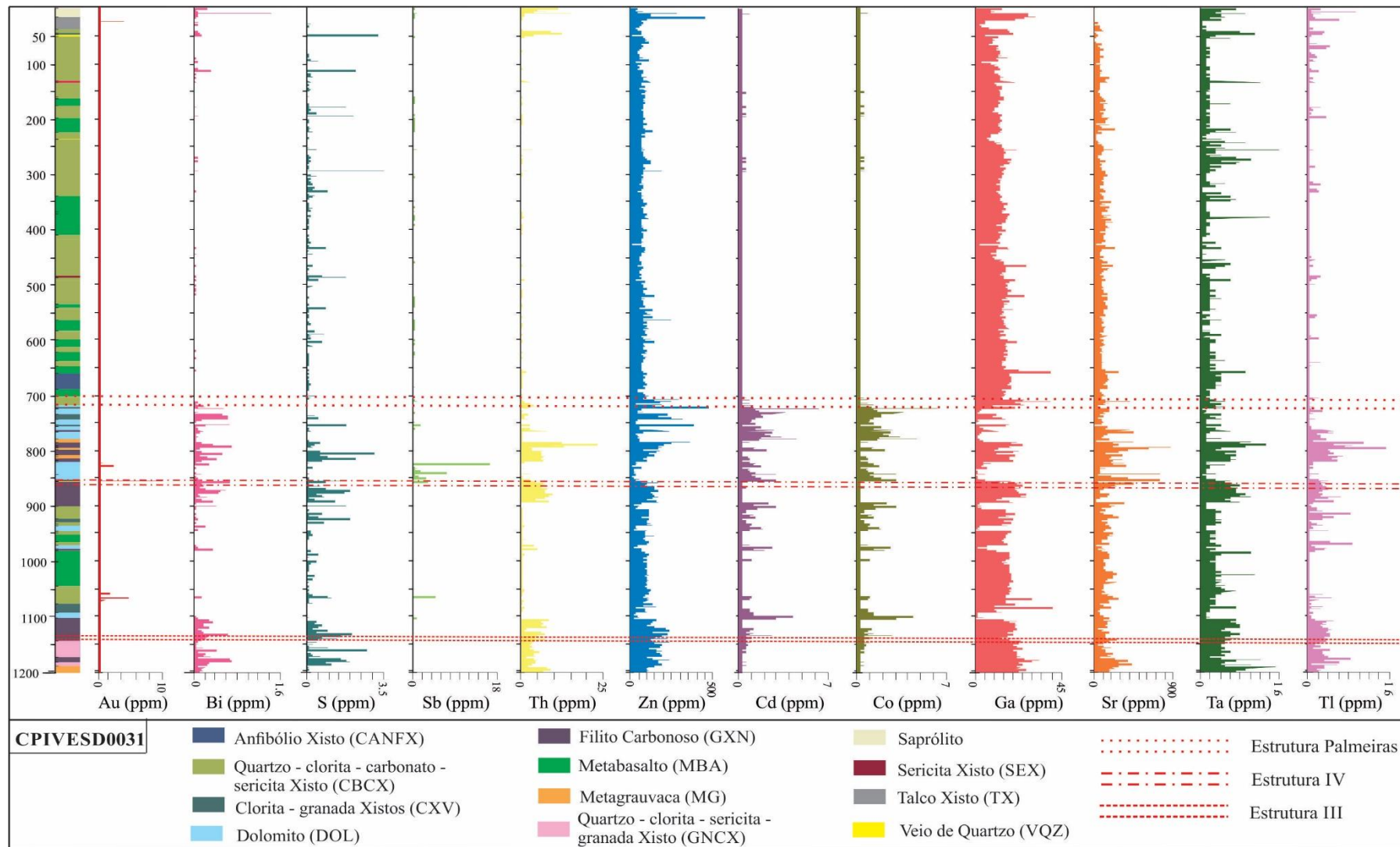


Figura A5: Scatter plots mostrando a variação dos elementos menores ao longo do furo CPIVESD0031.

ANEXO XII

Tabela A6: Análises químicas das amostras referentes aos halos de alteração hidrotermal da Estrutura Palmeiras.

Estrutura Palmeiras – Elementos Maiores																	
SAMPLE	LITO	ZONA DE ALTERAÇÃO	SiO2 %	Al2O3 %	Fe2O3 %	CaO %	MgO %	Na2O %	K2O %	Cr2O3 %	TiO2 %	MnO %	P2O5 %	SrO %	BaO %	LOI %	Total %
CPIVESD0031_171	MBA	METAMORFISMO REGIONAL	51.8	12.5	12.2	10.5	8.99	2.11	0.12	0.08	0.85	0.18	0.07	0.01	0.01	1.06	100.47
CPIVESD0031_338	CBCX		53	13	9.75	5.64	9.69	1.66	0.16	0.07	0.96	0.13	0.08	0.01	0.01	6.6	100.75
CPIVESD0031_591	CBCX		30.3	9.22	9.47	20	8.53	0.98	1.08	0.043	0.67	0.28	0.06	0.01	0.03	19.35	100.02
CPIVESD0031_339	CBCX		36.9	9.15	10.15	17.9	7.72	0.23	1.61	0.04	0.61	0.23	0.04	<0.01	0.06	15	99.64
CPIVESD0031_344	CBCX	ZONA DISTAL	57	20.8	9.3	1.16	0.94	2.2	4.03	0.07	1.41	0.06	0.08	0.01	0.12	2.64	99.82
CPIVESD0031_600	CBCX		53.4	20.8	10.9	1.8	1.55	3.01	3.2	0.091	1.4	0.08	0.07	0.01	0.12	2.47	98.9
CPIVESD0031_345	CBCX		30.1	7.75	5.42	17.15	10.75	0.84	1.03	0.03	0.53	1.43	0.06	<0.01	0.03	25.2	100.32
CPIVESD0031_601	CBCX		24.8	4.54	6.06	19.2	13.2	0.08	0.1	0.013	0.24	0.43	0.18	<0.01	0.01	29.6	98.45
CPIVESD0031_592	CBCX		46.3	11.2	9.63	12.1	8.17	1.69	0.79	0.052	0.78	0.18	0.06	0.01	0.02	9.85	100.83
CPIVESD0031_340	CBCX		39.8	18.85	14.35	9.9	7.4	0.04	1.16	0.12	1.46	0.26	0.05	0.01	0.04	5.21	98.65
CPIVESD0031_593	CBCX	ZONA INTERMEDIARIA	42.1	25.3	18.75	0.35	2.28	1.25	5.3	0.117	1.61	0.08	0.02	0.01	0.12	3.59	100.88
CPIVESD0031_343	CBCX		33.8	17.35	11.25	10.55	8.03	3.12	0.04	0.08	1.15	0.56	0.06	0.01	0.01	12.35	98.35
CPIVESD0031_598	CBCX		32.2	16.4	8.79	13.05	7.98	2.88	0.84	0.061	1.02	0.69	0.06	0.02	0.04	15.95	99.98
CPIVESD0031_599	CBCX		54	20	10.45	2.4	2.57	3.6	1.6	0.074	1.25	0.14	0.11	0.01	0.05	2.59	98.84
CPIVESD0031_594	CBCX		39.1	17.85	25.7	3.65	6.89	1.6	0.21	0.087	1.37	0.25	0.04	0.01	0.01	4.11	100.88
CPIVESD0031_341	CBCX		41.1	24.5	19.45	0.33	2.87	1.99	3.38	0.14	1.78	0.08	0.03	0.01	0.07	3.93	99.66
CPIVESD0031_595	CBCX		56.1	26.8	3.42	0.33	0.43	2.61	4.48	0.217	1.97	0.04	0.03	0.01	0.09	3.45	99.98
CPIVESD0031_596	CBCX	ZONA PROXIMAL	44.6	37	3.33	0.46	0.11	6.17	1.34	0.157	2.74	0.05	0.05	0.04	0.03	4.38	100.46
CPIVESD0031_342	CBCX		44.7	35	3.57	0.41	0.13	5.71	1.52	0.18	2.61	0.05	0.01	0.04	0.03	4.23	98.19
CPIVESD0031_597	CBCX		28.2	19.45	37.5	0.54	4.38	1.73	1.35	0.117	2.26	0.12	0.14	0.01	0.03	3.32	99.15

Tabela A6: Análises químicas das amostras referentes aos halos de alteração hidrotermal da Estrutura Palmeiras (Continuação).

Estrutura Palmeiras - Elementos Menores																			
SAMPLE	LITO	ZONA DE ALTERAÇÃO	C ppm	S ppm	Ba ppm	Cr ppm	Cs ppm	Ga ppm	Hf ppm	Nb ppm	Rb ppm	Sn ppm	Sr ppm	Ta ppm	Th ppm	U ppm	V ppm	W ppm	Zr ppm
CPIVESD0031_171	MBA	METAMORFISMO REGIONAL	0.06	0.1	21.7	590	0.01	15.8	1.3	2.3	0.6	1	137	0.1	0.24	0.08	270	1	47
CPIVESD0031_338	CBCX	ZONA DISTAL	0.84	0.01	35	460	0.21	14.4	1.5	2.6	2.7	1	89.7	0.1	0.24	0.06	224	3	53
CPIVESD0031_591	CBCX		4.9	0.22	318	340	2.51	12	1.3	1.3	42.3	1	94.5	0.1	0.17	0.08	231	1	38
CPIVESD0031_339	CBCX		3.68	0.03	500	310	3.8	10.9	0.9	1.6	52.4	1	53.7	0.1	0.2	0.17	218	1	35
CPIVESD0031_344	CBCX		0.05	0.01	1055	530	0.85	23.7	3	4.5	90.7	2	111.5	0.4	2.84	0.42	331	3	101
CPIVESD0031_600	CBCX		0.02	0.01	1065	690	0.76	25.3	3.1	5.2	77.7	1	124	0.4	1.88	0.76	319	3	92
CPIVESD0031_345	CBCX		7.53	0.01	289	220	0.32	10.3	1	2.3	23.2	1	66.8	0.2	1.05	0.31	128	5	38
CPIVESD0031_601	CBCX		8.19	0.01	55.5	100	0.17	6.9	0.8	1.1	4.7	<1	50.3	0.1	0.35	0.42	94	8	16
CPIVESD0031_592	CBCX		2.24	0.12	241	410	1.79	13.9	1.5	2.5	29.5	1	84.6	0.2	0.23	0.09	259	1	47
CPIVESD0031_340	CBCX	0.29	0.01	331	870	1.43	22.9	2.2	3.5	37.2	1	127.5	0.2	0.4	0.63	369	1	74	
CPIVESD0031_593	CBCX	ZONA INTERMEDIARIA	0.06	0.01	1190	960	1.01	25.5	2.7	5	115.5	1	77.6	0.3	0.51	1.16	387	4	91
CPIVESD0031_343	CBCX		2.67	0.01	23.4	610	0.05	21.3	2.1	4	0.8	1	135.5	0.2	1.14	0.33	319	4	73
CPIVESD0031_598	CBCX		3.62	0.01	353	470	0.52	18.9	2.2	3.6	23.6	1	153.5	0.4	0.86	0.29	239	3	64
CPIVESD0031_599	CBCX		0.03	0.01	434	550	0.46	21.8	3.2	5.3	38.1	1	165	0.4	3.29	0.72	258	2	99
CPIVESD0031_594	CBCX	0.05	0.04	83.7	690	0.08	21.4	2.1	3.6	4.5	1	104	0.2	0.4	1.08	294	1	67	
CPIVESD0031_341	CBCX	0.02	0.01	567	1040	0.73	24.5	2.7	5	62.2	1	133	0.3	0.78	0.6	364	3	88	
CPIVESD0031_595	CBCX	ZONA PROXIMAL	0.09	<0.01	907	1690	0.84	30.8	2.8	3.9	89.4	2	158.5	0.3	0.67	0.45	592	1	92
CPIVESD0031_596	CBCX		0.03	0.01	269	1230	0.18	39.2	4.4	7.4	14.9	2	398	0.4	0.85	0.29	341	5	150
CPIVESD0031_342	CBCX		0.02	0.01	299	1270	0.21	37.6	3.9	5.6	17.6	2	363	0.4	1.33	0.22	326	2	139
CPIVESD0031_597	CBCX		0.02	<0.01	283	930	0.36	25.7	2.8	9.3	26.8	1	94.5	0.5	1.13	0.87	750	<1	96
Estrutura Palmeiras - Elementos Menores (Continuação)																			
SAMPLE	LITO	ZONA DE ALTERAÇÃO	As ppm	Bi ppm	Hg ppm	In ppm	Sb ppm	Se ppm	Te ppm	Tl ppm	Cd ppm	Co ppm	Cu ppm	Li ppm	Ni ppm	Pb ppm	Zn ppm	ETR pm	Au ppm
CPIVESD0031_171	MBA	METAMORFISMO REGIONAL	0.5	<0.01	0.015	0.012	0.18	0.4	<0.01	<0.02	<0.5	55	73	10	124	2	79	86.87	0.33
CPIVESD0031_338	CBCX		0.4	0.01	0.007	0.018	0.09	0.3	0.02	<0.02	<0.5	46	1	40	154	<2	84	82.56	0.33

CPIVESD0031_591	CBCX		1	0.01	0.006	0.017	0.11	0.4	0.03	0.16	<0.5	35	6	40	126	<2	66	69.78	0.33
CPIVESD0031_339	CBCX	ZONA	0.3	<0.01	0.009	0.01	0.09	0.8	0.02	0.21	0.6	47	170	40	124	<2	70	76.53	0.33
CPIVESD0031_344	CBCX	DISTAL	0.2	0.03	0.007	0.009	0.07	<0.2	0.03	<0.02	<0.5	13	1	30	109	4	32	138.24	0.33
CPIVESD0031_600	CBCX		0.2	0.03	<0.005	0.019	0.08	<0.2	0.02	<0.02	<0.5	15	1	30	140	<2	64	167.29	0.33
CPIVESD0031_345	CBCX		0.1	0.02	<0.005	0.018	0.05	0.2	0.07	0.02	1.2	32	1	20	128	<2	138	73.92	0.33
CPIVESD0031_601	CBCX		1	0.02	<0.005	0.008	0.05	<0.2	0.01	<0.02	0.9	17	6	20	90	<2	185	33.46	0.33
CPIVESD0031_592	CBCX		0.5	<0.01	0.005	0.015	0.12	<0.2	0.01	0.11	<0.5	36	3	40	137	<2	75	80.92	0.33
CPIVESD0031_340	CBCX		0.5	0.01	0.013	0.016	0.13	0.3	0.02	0.13	0.5	90	26	60	354	5	244	75.14	0.33
CPIVESD0031_593	CBCX	ZONA	0.1	0.01	<0.005	0.016	0.07	<0.2	0.02	<0.02	<0.5	89	5	30	321	<2	132	146.99	0.33
CPIVESD0031_343	CBCX	INTERMEDIARIA	0.3	0.07	0.014	0.029	0.05	0.2	0.04	<0.02	<0.5	42	1	50	188	6	177	108.9	0.33
CPIVESD0031_598	CBCX		0.3	0.03	0.007	0.022	0.08	<0.2	0.02	0.05	0.9	32	4	40	122	3	161	88.73	0.33
CPIVESD0031_599	CBCX		0.3	0.04	0.007	0.025	0.11	<0.2	0.03	<0.02	<0.5	26	1	40	259	<2	96	189.02	0.33
CPIVESD0031_594	CBCX		0.2	0.01	<0.005	0.027	0.08	<0.2	0.04	<0.02	0.9	159	1	60	390	<2	290	222.8	0.33
CPIVESD0031_341	CBCX		0.3	0.01	0.006	0.026	0.3	<0.2	0.01	<0.02	<0.5	106	14	60	388	<2	147	125.63	0.33
CPIVESD0031_595	CBCX	ZONA	0.3	0.01	0.006	0.007	0.72	<0.2	0.03	<0.02	<0.5	5	1	50	48	<2	21	411.99	0.33
CPIVESD0031_596	CBCX	PROXIMAL	0.3	0.01	<0.005	0.007	0.15	<0.2	0.01	<0.02	<0.5	4	1	120	26	<2	28	176.38	0.33
CPIVESD0031_342	CBCX		0.3	0.01	0.006	0.006	0.11	<0.2	<0.01	<0.02	<0.5	15	1	110	299	<2	21	129.07	0.33
CPIVESD0031_597	CBCX		0.1	0.01	0.007	0.059	0.24	<0.2	0.08	<0.02	<0.5	69	105	70	238	<2	251	214.85	0.33

ANEXO XIII

Tabela A7: Análises químicas das amostras referentes aos halos de alteração hidrotermal da Estrutura IV.

Estrutura IV – Elementos Maiores																	
SAMPLE	LITO	ZONA DE ALTERAÇÃO	SiO2 %	Al2O3 %	Fe2O3 %	CaO %	MgO %	Na2O %	K2O %	Cr2O3 %	TiO2 %	MnO %	P2O5 %	SrO %	BaO %	LOI %	Total %
CPIVESD0031_546	GXN	METAMORFISMO REGIONAL	62.4	14.95	7.84	1.78	2.92	1.74	2.28	0.03	0.72	0.12	0.15	<0.01	0.11	4.1	99.14
CPIVESD0031_416	GXN	ZONA DISTAL	64.4	15.4	7.6	2.21	2.96	3.99	1.47	0.008	0.71	0.09	0.19	0.03	0.1	1.66	100.82
CPIVESD0031_616	GXN		64.3	15.75	7.37	2.65	2.38	4.66	0.9	0.01	0.68	0.06	0.46	0.04	0.04	1.65	100.95
CPIVESD0031_613	GXN	ZONA INTERMEDIÁRIA	77.8	4.63	4.46	3.17	2.4	0.21	1.58	0.027	0.34	0.05	0.08	<0.01	0.09	5.47	100.31
CPIVESD0031_414	GXN		62.3	11.85	5.74	3.24	2.19	0.91	2.94	0.012	0.51	0.07	0.1	0.03	0.21	8.01	98.11
CPIVESD0031_615	GXN		62.3	17.85	5.45	0.74	4.03	0.99	3.76	0.015	0.75	0.06	0.19	<0.01	0.32	4.84	101.3
CPIVESD0031_614	VQZ	ZONA PROXIMAL	71.8	11.1	4.02	3.18	2.4	2.4	1.18	0.017	0.52	0.06	0.19	0.02	0.06	4.42	101.37
CPIVESD0031_415	GXN		80.7	7.47	4.41	0.78	1.67	0.23	2.03	0.011	0.42	0.03	0.13	0.02	0.18	3.61	101.69

Tabela A7: Análises químicas das amostras referentes aos halos de alteração hidrotermal da Estrutura IV (Continuação).

Estrutura IV – Elementos Menores																			
SAMPLE	LITO	ZONA DE ALTERAÇÃO	C ppm	S ppm	Ba ppm	Cr ppm	Cs ppm	Ga ppm	Hf ppm	Nb ppm	Pr ppm	Rb ppm	Sr ppm	Ta ppm	Th ppm	U ppm	V ppm	W ppm	Zr ppm
CPIVESD0031_546	GXN	METAMORFISMO REGIONAL	2.14	0.49	970	200	2.06	19.4	4.4	10.2	8.22	58.8	127.5	0.7	7.14	2.76	147	3	159
CPIVESD0031_416	GXN	ZONA DISTAL	0.15	0.1	855	70	2.03	22.5	4.6	8.3	6.97	52.7	205	0.6	6.34	1.94	147	2	185
CPIVESD0031_616	GXN		0.09	0.14	331	90	1.78	21.8	5	8.7	7.45	33.1	437	0.6	6.57	2.31	158	1	189
CPIVESD0031_613	GXN	ZONA INTERMEDIÁRIA	1.7	1.29	731	190	1.78	7.5	1.7	4.1	2.21	49.4	56.4	0.3	2.6	0.62	46	5	47
CPIVESD0031_414	GXN		4.85	1.66	1850	90	1.17	18.9	4.1	8.1	7.7	74.1	168	0.6	7.76	3.66	114	8	150
CPIVESD0031_615	GXN		1.01	0.14	2980	130	1.11	25.1	4.7	12	10.15	78.5	89.4	0.6	7.42	3.17	164	8	175
CPIVESD0031_614	VQZ	ZONA PROXIMAL	1.26	0.65	551	120	1.18	11	3.8	8.1	5.69	37.2	173	0.6	5.67	2.77	77	13	122
CPIVESD0031_415	GXN		1.36	0.85	1495	80	1.56	12.7	2.9	6.3	4.68	57.9	42.3	0.5	4.58	2.87	88	11	122

Estrutura IV – Elementos Menores (Continuação)																			
SAMPLE	LITO	ZONA DE ALTERAÇÃO	As ppm	Bi ppm	In ppm	Re ppm	Sb ppm	Se ppm	Te ppm	Tl ppm	Co ppm	Cu ppm	Li ppm	Mo ppm	Ni ppm	Pb ppm	Zn ppm	ETR ppm	Au ppm
CPIVESD0031_546	GXN	METAMORFISMO REGIONAL	1	0.24	0.046	0.009	0.05	2.3	0.21	0.25	33	137	50	1	122	14	137	227.75	0.33
CPIVESD0031_416	GXN	ZONA DISTAL	9.5	0.03	0.043	0.001	0.05	0.5	0.02	0.34	15	18	40	1	19	5	127	180.1	0.33
CPIVESD0031_616	GXN		46.4	0.13	0.05	0.001	0.05	0.2	0.04	0.25	16	14	40	<1	17	3	99	184.13	0.33
CPIVESD0031_613	GXN	ZONA INTERMEDIÁRIA	102.5	0.31	0.015	0.005	0.1	2.7	0.46	0.38	12	111	30	1	60	2	75	63.4	1.79
CPIVESD0031_414	GXN		260	0.64	0.024	0.027	0.17	4.3	0.6	0.16	19	135	30	3	77	7	38	216	4.18
CPIVESD0031_615	GXN		83.6	0.05	0.022	0.002	0.09	0.3	0.04	0.1	8	19	50	2	15	2	166	252.52	0.33
CPIVESD0031_614	VQZ	ZONA PROXIMAL	260	0.45	0.021	0.021	0.33	1.3	0.54	0.32	13	74	20	3	50	6	103	149.17	9.35
CPIVESD0031_415	GXN		260	0.67	0.038	0.027	3.22	5.1	0.82	0.24	6	42	20	2	66	2	64	144.7	0.33

ANEXO XIV

Tabela A8: Análises químicas das amostras referentes aos halos de alteração hidrotermal da Estrutura III.

Estrutura III – Elementos Maiores																	
SAMPLE	LITO	ZONA DE ALTERAÇÃO	SiO2 %	Al2O3 %	Fe2O3 %	CaO %	MgO %	Na2O %	K2O %	Cr2O3 %	TiO2 %	MnO %	P2O5 %	SrO %	BaO %	LOI %	Total %
MN3EUD0033_17	GXN	METAMORFISMO REGIONAL	45.9	14.7	15.95	8.42	6.12	1.28	1.04	0.018	2.32	0.19	0.41	0.02	0.03	1.92	98.32
MN3EUD0033_1	GXN		31.2	0.34	0.67	22.1	13.15	0.03	0.08	0.002	0.03	0.07	0.25	0.01	0.01	31.9	99.84
MN3EUD0033_2	GXN	ZONA DISTAL	67.6	13.1	6.31	1.36	2.97	0.75	3.18	0.013	0.5	0.07	0.14	0.01	0.17	3.74	99.9
MN3EUD0033_3	GXN		57.8	17.65	8.19	1.43	3.26	0.49	4.2	0.026	0.76	0.05	0.19	0.01	0.27	6.25	100.57
MN3EUD0033_4	GXN		55.2	18.15	9.25	1.83	3.73	0.58	3.97	0.032	0.9	0.2	0.18	0.01	0.25	6.41	100.68
MN3EUD0033_5	VQZ	ZONA INTERMEDIÁRIA	55	9.45	23.3	2.4	4.59	0.24	0.37	0.03	0.64	0.1	0.14	0.01	0.01	5.38	101.65
MN3EUD0033_10	GXN		55.6	19.5	7.76	4.96	4.09	2.31	2.45	0.018	0.83	0.12	0.23	0.04	0.13	2.63	100.67
MN3EUD0033_11	GXN		71.8	8.14	7.8	0.79	7.06	0.03	0.26	0.021	0.42	0.05	0.04	0.01	0.01	4.18	100.6
MN3EUD0033_6	VQZ	ZONA PROXIMAL	71.5	1.74	1.37	12.2	0.65	0.09	0.04	0.004	0.08	0.17	0.04	<0.01	0.01	11	98.88
MN3EUD0033_7	VQZ		96.9	0.67	0.68	0.41	0.17	0.03	0.06	0.002	0.04	0.01	0.01	<0.01	0.01	0.69	99.67
MN3EUD0033_9	GXN		47.5	5.21	5.26	21.9	1.54	0.31	0.38	0.01	0.33	0.31	0.12	0.03	0.03	16.05	98.98
MN3EUD0033_8	VQZ	ORE	100	0.03	0.42	0.04	0.01	0.01	0.02	0.002	0.01	0.01	0.01	<0.01	0.01	0.06	>102.00

Tabela A8: Análises químicas das amostras referentes aos halos de alteração hidrotermal da Estrutura III (Continuação).

Estrutura III – Elementos Menores																				
SAMPLE	LITO	ZONA DE ALTERAÇÃO	C ppm	S ppm	Ba ppm	Cr ppm	Cs ppm	Ga ppm	Hf ppm	Nb ppm	Rb ppm	Sr ppm	Ta ppm	Th ppm	Tm ppm	U ppm	V ppm	W ppm	Zr ppm	Hg ppm
MN3EUD0033_17	GXN	METAMORFISMO REGIONAL	0.39	0.15	304	120	2.11	21.4	4.3	12.1	43.9	234	0.9	2.26	0.49	0.56	197	0.8	173	<0.005
MN3EUD0033_1	GXN	ZONA DISTAL	8.98	0.01	24.7	20	0.12	0.7	0.3	0.2	2.2	120.5	0.1	0.21	0.03	0.23	7	1	3	0.009
MN3EUD0033_2	GXN		1.84	0.31	1435	90	3.45	16.2	3.7	7.7	85.6	81.9	0.4	5.91	0.36	2.42	109	3	114	<0.005
MN3EUD0033_3	GXN		3.09	1.08	2490	210	2.6	25.3	5.3	11.9	97.5	92.2	0.8	8.91	0.46	3.51	144	6	189	0.006
MN3EUD0033_4	GXN	ZONA INTERMEDIÁRIA	3.38	0.48	2130	230	2.88	23.9	5.1	11.7	91.7	86.2	0.8	8.6	0.47	3.56	148	6	168	<0.005
MN3EUD0033_5	VQZ		0.8	6.94	120.5	210	0.46	13.4	1.3	3.9	11.4	45.6	0.3	0.6	0.21	0.59	236	1	37	0.006
MN3EUD0033_10	GXN		1.13	0.03	1150	130	2.48	22.5	4.5	9.1	70.7	338	0.6	8.22	0.27	2.94	192	3	191	0.008
MN3EUD0033_11	GXN		0.19	0.01	72.3	150	0.42	10.2	0.8	9.1	9.6	9.2	0.8	0.51	0.09	0.13	175	1	30	0.005
MN3EUD0033_6	VQZ	ZONA PROXIMAL	3.41	0.04	30.9	30	0.1	2.3	0.6	0.8	2.2	141	0.1	1.01	0.33	0.41	23	1	14	0.006
MN3EUD0033_7	VQZ		0.26	0.04	19.3	20	0.05	0.9	0.5	0.4	1.5	8.7	0.1	0.37	0.03	0.16	12	1	7	<0.005
MN3EUD0033_9	GXN		6.39	1.15	244	70	0.44	7.8	1.4	3.7	12.2	270	0.5	2.83	0.41	1.23	69	1	52	<0.005
MN3EUD0033_8	VQZ	ORE	0.04	0.01	3.9	20	0.01	0.5	0.3	0.2	0.3	1.1	0.1	0.05	0.01	0.05	8	1	2	<0.005

Estrutura III – Elementos Menores (Continuação)																				
SAMPLE	LITO	ZONA DE ALTERAÇÃO	Bi ppm	As ppm	In ppm	Re ppm	Sb ppm	Se ppm	Te ppm	Tl ppm	Ag ppm	Cd ppm	Co ppm	Cu ppm	Li ppm	Ni ppm	Pb ppm	Zn ppm	ETR ppm	Au ppm
MN3EUD0033_17	GXN	METAMORFISMO REGIONAL	0.02	0.3	0.028	<0.001	0.05	0.2	0.02	0.32	<0.5	0.5	54	72	70	116	9	153	183.13	0.03
MN3EUD0033_1	GXN	ZONA DISTAL	0.01	1.8	<0.005	<0.001	0.21	0.2	0.01	0.02	<0.5	0.8	3	5	10	4	4	24	5.84	0.03
MN3EUD0033_2	GXN		0.09	77.2	0.028	0.004	0.1	0.6	0.18	0.63	<0.5	0.5	17	61	70	57	10	131	157.47	0.03
MN3EUD0033_3	GXN		0.3	112	0.034	0.013	0.14	2.7	0.56	0.43	<0.5	0.5	34	217	70	113	14	121	280.17	0.03
MN3EUD0033_4	GXN	ZONA INTERMEDIÁRIA	0.18	51.3	0.029	0.011	0.11	1.4	0.24	0.46	<0.5	1.1	26	99	70	113	17	148	223.49	0.03
MN3EUD0033_5	VQZ		0.58	2.3	0.037	0.014	0.07	26.5	2.22	0.1	1.1	3.5	47	1680	40	120	7	207	61.71	0.03
MN3EUD0033_10	GXN		0.03	2.4	0.044	0.007	0.05	0.3	0.01	0.36	<0.5	0.5	14	3	60	67	16	150	191.98	0.03
MN3EUD0033_11	GXN		0.01	3.3	0.014	<0.001	0.05	0.2	0.02	0.06	<0.5	0.5	28	2	40	90	4	109	48.35	0.03
MN3EUD0033_6	VQZ	ZONA	0.02	8.7	0.014	0.003	0.05	0.3	0.03	0.02	<0.5	1.7	3	12	10	11	12	25	99.96	0.03

MN3EUD0033_7	VQZ	PROXIMAL	0.04	39.2	<0.005	0.005	0.08	0.2	0.04	0.02	<0.5	0.5	6	18	10	11	8	28	8.63	0.03
MN3EUD0033_9	GXN		0.14	<0.005	0.023	0.018	0.16	4.9	0.4	0.06	0.7	2.2	20	151	10	83	17	47	107.29	0.03
MN3EUD0033_8	VQZ	ORE	0.01	<0.005	<0.005	<0.001	0.07	0.2	0.01	0.02	<0.5	0.5	1	3	10	5	2	14	2.11	4.58