UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Geoquímica de solo e geologia da região do depósito de ouro do Amapari - AP

Volume I - Texto

AUTOR: Élio Hiromi Horikava

ORIENTADORA: Prof. Dra. Lydia Maria Lobato

Nº 93

BELO HORIZONTE
DATA (30/07/08)

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

GEOQUÍMICA DE SOLO E GEOLOGIA DA REGIÃO DO DEPÓSITO DE OURO DO AMAPARI – AP

ÉLIO HIROMI HORIKAVA

Banca Examinadora:

Profa. Dra. Lydia Maria Lobato – UFMG (orientadora)

Prof. Dr. Friedrich Ewald Renger – UFMG

Prof. Dr. Raul Minas Kuyumjian – UnB

Dissertação de Mestrado apresentada junto ao Colegiado de Pós-graduação em Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial à obtenção do título de mestre.

Área de Concentração: Geologia Econômica

Belo Horizonte, 30 de julho de 2008.

H811g
2008

Horikava, Élio Hiromi.
Geoquímica de solo e geologia da região do depósito de ouro do Amapari – AP [manuscrito] / Élio Hiromi Horikava. – 2008.
2 v. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, 2008.
Área de concentração: Geologia Econômica.
Orientadora: Lydia Maria Lobato.
Bibliografia: f. 205-210.
Inclui anexos.

1. Geologia – Amapá – Teses. 2. Geoquímica – Amapá – Teses. 3. Ouro – Amapá - Teses. I. Lobato, Lydia Maria. II. Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências. III. Título.

CDU: 55(811.6)

Dissertação defendida e aprovada, em 30 de julho de 2008, pela Banca Examinadora constituída pelos professores:

Profa Dra. Lydia Maria Lobato

Prof. Dr. Friedrich Ewald Renger

Prof. Dr. Raul Minas Kuyumjian

À minha esposa Ana e meus
filhos Eduardo e Gabriel a
minha gratidão.

AGRADECIMENTOS

Expresso aqui meus agradecimentos às seguintes instituições e pessoas que contribuíram direta e indiretamente na elaboração deste trabalho.

À professora Dra. Lydia Maria Lobato o meu reconhecimento pela orientação e a forma dedicada e entusiasmada nas discussões sobre a geologia da área de estudo, pela amizade e seriedade. Com a convivência, o meu grau de admiração, como pessoa e orientadora, é cada vez mais crescente.

Ao geólogo Robert John Morrow pelo apoio e discussões no tratamento estatístico das amostras de solo do Amapari. Praticamente é meu co-orientador.

À mineração Pedra Branca do Amapari Ltda., especialmente aos geólogos Alfredo Rossetto Nunes, Luiz Fernando Barbosa Quirino, Maria Carolina Stellfed e Leandro Guimarães da Silva, pela liberação dos dados da pesquisa, apoio financeiro nas visitas à mina, confecção de lâminas delgadas polidas e análises químicas de testemunhos de sondagem, e excelente apoio de campo.

À mineração MMX, em especial ao geólogo Célio Araújo da Silva pelo fornecimento de amostras de testemunhos de sondagem.

À CPRM – Serviço Geológico do Brasil, na pessoa do geólogo Reginaldo Leão Neto pela gestão na liberação dos dados da Folha Macapá NA.22, escala 1: 1.0000.0000 para apresentação em seminário, de matéria do curso de pós-graduação.

À AngloGold Ashanti pela liberação em freqüentar o curso de pós-graduação da UFMG e disponibilizar sua a infra-estrutura durante o curso e na confecção desse estudo.

Aos colegas da AngloGold Ashanti que de alguma forma colaboraram na realização deste trabalho: geólogos - Paulo de Tarso Ferreira, Marco Antônio Fernandes da Mata, Cecília Germano Porto, Hebert Lopes Oliveira, Luiz Cláudio Lima, Luiz Camilo Pinto, Larissa Meirelles Andrade, Fred Vinícius Ribeiro, Pablo Luiz Noriega, Fernando Rosa Guimarães, Ulisses Cyrino Penha, Eduardo Zenha Cordeiro, geógrafos - Edvaldo Fiel Lopes e Ricardo Melo dos Santos, e à secretária - Nádia Gomes Vaz.

Ao Paulo de Tarso pelo apoio na reta final do mestrado.

Ao Hebert pelo apoio na minha reinicialização com o microscópio.

Aos geólogos Luiz Cláudio Lima e Carlos Roberto Paranhos Jr., coordenadores da amostragem de solo do Amapari.

Ao Edvaldo pelo apoio na elaboração de mapas e seções de sondagem.

À estagiária de geografia Simone Moreira Tosatti na montagem da dissertação.

Ao geólogo Roque Fernandes Coelho nas discussões da geoquímica de solo do Amapari.

Ao geólogo Frederico Wallace Reis Vieira pelo apoio nas descrições de lâminas delgadas polidas e discussões das mesmas.

À geóloga Maria Telma Lins Faraco nas discussões, ao longo de vários anos, sobre a geologia do Amapá.

À geóloga Rosaline Cristina Figueiredo e Silva nas discussões dos elementos terras raras, correções de textos e *slides*.

À geóloga Márcia Zucchetti nas discussões da geoquímica de rocha, ETR e correções do texto final.

Ao geólogo Franciscus Jacobs Baars nas discussões de ETR

Ao geólogo Valter Salino Vieira no suporte de material bibliográfico.

Ao geólogo Marco Aurélio da Costa pelo convívio, amizade e apoio há vários anos.

Ao geólogo Mike Schmulian pelo apoio recebido.

Finalmente, agradeço à minha família, pelo apoio, paciência com minha ausência em vários momentos. Divido com meus pais (Hiroshi e Misae) a educação que recebi e a conclusão desse trabalho. Dedico essa obra à minha esposa Ana e meus filhos Eduardo e Gabriel.

A todos que de alguma maneira me apoiaram e participaram desta etapa,

Muito Obrigado!

O mestrado é prazeroso,
porém doloroso

Élio Hiromi Horikava

RESUMO

O depósito de ouro do Amapari, de propriedade da Mineração Pedra Branca do Amapari Ltda. (Grupo Peak Gold), localiza-se na porção central do estado do Amapá. Inseri-se na Província Maroni-Itacaiunas, que constitui um extenso cinturão metavulcanossedimentar do Paleoproterozóico exposto nas porções norte/nordeste do cráton Amazônico. Litologias do Grupo Vila Nova, que hospeda o depósito do Amapari, compreendem ortoanfibolitos e paranfibolitos, biotita/muscovita-quartzo xistos, sillimanita quartzitos, formações ferríferas bandadas, rochas cálcio-silicáticas e rochas carbonáticas. Corpos máficos-ultramáficos acamadados e o granito peraluminoso Amapari, tardi-transamazônico de 1,99 Ga, também estão presentes próximo ao depósito. O depósito distribui-se em um cinturão N-S de aproximadamente 7 km de extensão, compreendendo de norte para sul os corpos mineralizados Urucum, Taperebá A, B, C e D.

As rochas encaixantes/hospedeiras da mineralização aurífera são: formações ferríferas bandadas (FFb), rochas carbonáticas e cálcio-silicáticas. De acordo com a associação dos principais minerais, definidas por estudo petrográfico, cada litotipo é separado em conjuntos distintos: 4 conjuntos de formação ferrífera; 3 de rochas carbonáticas; 1 de rochas cálcio-silicáticas. A rocha carbonática e, localmente a FFb, revelam minerais típicos de metamorfismo de contato, como vesuvianita, clinohumita e as granadas andradita, uvarovita e espessartita. Há íntima associação do ouro principalmente com a pirrotia e subordinadamente com a pirita. Os sulfetos calcopirita e arsenopirita são subordinados e intercrescidos com pirrotita.

A paragênese metamórfica regional com grunerita, hornblenda e diopsídio é condizente com a fácies metamórfica anfibolito. A paragênese mineral identificada nas rochas carbonáticas do Amapari, com as associações calcita-diopsídio-(quartzo), calcita-diopsídio-granada e diopsídio-vesuvianita-granada, indica predomínio da fácies metamórfica de contato hornblenda-hornfels.

A formação e transformação dos minerais, através dos mais variados estilos de substituição, indicam que: grunerita → se forma a partir da magnetita ; diopsído → se forma a partir da grunerita + magnetita; pirrotita → cresce à custas de magnetita e forma-se após o diopsídio.

Os minerais hidrotermais associados à mineralização aurífera, como sulfetos e quartzo de veio e fumê, formam-se, temporalmente, quase juntos com os minerais de metamorfismo de contato. As características texturais sugerem a seguinte seqüência de eventos: Metamorfismo regional → Metamorfismo de contato → Mineralização aurífera, sendo que esta última ocorre

imediatamente após ou tardiamente ao metamorfismo de contato; esse dois eventos são praticamente contemporâneos.

Os padrões de elementos de terras raras-ETR, normalizados para condrito, *PAAS* e água do mar, não revelam diferenças significativas entre os ETR de FFb, rochas carbonáticas e uma amostra de rocha cálcio-silicática. Os mesmos não discriminam entre amostras mineralizadas e estéreis. As anomalias tipicamente negativas dos ETR de FFb mostram claramente não existir registro do Arqueano. O comportamento muito semelhante dos ETR das FFb e das rochas carbonáticas sinaliza ausência de evento metamórfico retrógrado da fase escarnítica e o modelo indicado é o de mineralização aurífera orogênica. Três amostras de rochas carbonáticas com alto conteúdo de Fe_2O_3 estão mineralizadas em ouro e apresentam mais alto conteúdo em ETRP, quando normalizados para condrito.

O estudo estatístico univariado de amostras de geoquímicas de solo, pelo método analítico multielementar, das malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira, que recobrem uma área de 17 x 17 km, mostra que valores de Au da malha Silvestre-Vila do Meio e Bananeira (≥20 ppb Au), obtidos pelo método da probabilidade acumulativa, se superpõem com os da malha Taperebá-Urucum, obtidos pelo método do percentil ((≥130 ppb Au), indicando que, mesmo numa malha aberta, o depósito de ouro do Amapari poderia ser descoberto.

A análise de componentes principais (PCA) da zona mineralizada N-S indica: PC 1 → V, Cr, Ni e Fe → presença de pisólitos lateríticos no solo, e Zn e Fe → FFb. PC 2 → Hf, Zr e Th, → enriquecimento em minerais resistatos→ representa lateritas. PC 3→ Bi, Sn e Mo → zona de metamorfismo de contato.

PCA da zona mineralizada NW: PC 1→ associação Fe, S e As indica sulfetos e V, Fe, Al, Zr e Hf → laterita (pisólitos no solo). PC 2 → Mo, Sn, W, Ag→ zona de metamorfismo de contato. PC 3 → Cs, Li, Tl, Y e Al → granitóides / pegmatitos. PCA da zona do granito Amapari: PC 1 → Cr, V, Ni, Fe→ laterita (pisólitos no solo), enquanto a associação Fe, Cu, Zn, As→ sulfeto. PC 2 → associação Li, Cs, La e Y → pegmatito. PC 3 → Nb, Mo e W→ pegmatitos/greisen e Bi, Mo e W→ metamorfismo de contato sobre biotita xisto. PCA da zona das rochas metassedimentares: PC 1 → associação Ba, Mn, Pb e Zn → rocha carbonática, enquanto Ba, Th e Sr→ granitóide. O Co e Ni (+Zn) → acompanham rocha máfica/ultramáfica, portanto tem-se uma miscelânea de prováveis litologias, indicando contribuição de várias fontes. PC 2 → Se, Rb, W, Cs, Y, La, não é possível correlacionar com rochas metassedimentares. PCA

da zona do ortoanfibolito: PC 1 → associação Co, Ni, Fe, V, Cr, Mn → confirmam a rocha máfica subjacente. PC 2 → associação Zr, Al, Hf, Ga, Hg, V e Sn → provável contaminação de biotita xistos adjacentes. Sn é estranho neste ambiente. PC 3 – Sb e Au → sulfeto. Li e Al → pegmatito, não possuem qualquer relação com ortoanfibolitos. PCA da zona dos granitóides indiferenciados: PC 1→ associação Sc, Fe e Be → granitóides (menos ácido) e Cu, Fe e Zn→ sulfetos. PC 2 → La, Th e Ba → granitóides. PC 3 → Zr e Sr → granitóide.

A ausência do ouro, nos PC principalmente das zonas mineralizadas N-S e NW, pode ser explicada pela grande quantidade de valores próximos ou abaixo do limite de detecção, presentes na população amostrada e que não participam com peso significativo quando a PCA é aplicada.

Aplicação de estatística multivariada e a técnica da PCA nos dados geoquímicos de solo das malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira demonstram ser importante aplicativo no tratamento de grande quantidade de amostras e valiosa ferramenta para prospecção mineral e auxílio no mapeamento geológico.

Palavras-chaves: Amapari; geologia; geoquímica multielementar; ouro

ABSTRACT

The Amapari gold deposit, owned by Mineração Pedra Branca do Amapari Ltda (Peak Gold Group), is located in central Amapá State, in the Maroni-Itacaiunas Province. It consists of an extensive Paleoproterozoic metavolcano-sedimentary belt, exposed in the north/northeastern portions of the Amazon shield. Lithologies of the Vila Nova Group, which hosts the Amapari deposit, comprise ortho- and paramphibolites, biotite/muscovite-quartz schists, sillimanite quartzites, banded iron formations (BIF), calc-silicate and carbonatic rocks. Bedded mafic and ultramafic bodies and the late Transamazonian 1.99 Ga, peraluminous Amapari granite are also present close to the deposit. The deposit is distributed over a N-S belt of approximately 7 km containing, from north to south, the Urucum, Taperebá C, B, A and D mineralised orebodies.

The gold mineralisation host rocks are: BIF, carbonatic and calc-silicate rocks. According to the association of the main minerals determined by petrographic studies, each lithotype is separated into distinct groups: 4 of iron formation; 3 of carbonate rocks; and 1 of calc-silicate rocks. Both carbonatic rock, and locally BIF show minerals that are typical of contact metamorphism, such as vesuvianite, clinohumite and andradite, uvarovite and spessartite garnets. There is close association of gold mainly with pyrrhotite and subordinately with pyrite. Chalcopyrite and arsenopyrite are very subordinate and intergrown with pyrrhotite.

The regional metamorphic paragenesis with grunerite, hornblende and diopside are consonant with the amphibolite metamorphic facies. The mineral parageneses identified in the carbonatic Amapari rocks encompass calcite-diopside-(quartz), calcite-diopside-garnet and diopside-vesuvianite-garnet; these are indicative of hornblende-hornfels contact metamorphic facies conditions.

The formation and transformation of the minerals by many kinds of replacement styles indicate that: grunerite → derives from magnetite; diopside → derives from grunerite + magnetite; pyrrhotite → grows after magnetite and forms after the diopside.

The hydrothermal minerals associated with gold mineralisation, such as sulphides and quartz vein and smoke quartz, are almost temporally formed together with the contact metamorphism minerals. Textural characteristics suggest the following sequence of events: Regional metamorphism → Contact metamorphism → Gold mineralisation, with the latter occurring just after or lately in relation to contact metamorphism; these two events are almost contemporary.

The rare earth elements (REE) patterns, normalised to condrite, PAAS and sea water, reveal no significant differences among BIF, carbonatic rocks and a sample of calc-silicate rock. Also, they do not differentiate between mineralised and non-mineralized samples. Typical europium negative anomalies of BIF clearly show no Archean record. Similar REE behaviour of BIF and the carbonatic rocks also suggest that skarnitisation did not include a retrograde metamorphic event. The preferred mineralisation model is therefore orogenic gold. Three samples of carbonatic rocks with high Fe_2O_3 content are mineralised in gold, presenting the highest HREE content when normalised to condrite.

A univariate statistical study of geochemical soil samples used the multi-element analytical method on the Silvestre–Vila do Meio and Bananeira grids, covering an area of 17 x 17 kms. The study obtained by the accumulative probability method shows that gold values in the Silvestre–Vila do Meio and Bananeira grid (≥ 20 ppb Au) superpose those of the Taperebá – Urucum grid obtained by the percentile method (≥ 130 ppb Au), indicating that even on an open grid the Amapari gold deposit would have been discovered.

The Principal Component Analysis (PCA) in the N-S mineralised zone indicate: PC 1 → V, Cr, Ni and Fe → presence of lateritic pisolites in the ground, and Zn and Fe → FFb. PC 2 → Hf, Zr and Th, → enriched with resistant minerals → represent laterites. PC 3 → Bi, Sn and Mo → contact metamorphism zone.

PCA of the NW mineralised zone: PC 1 → the association of Fe, S and As indicates sulphides and V, Fe, Al, Zr and Hf → laterite (ground pisolites). PC 2 → Mo, Sn, W, Ag → contact metamorphism zone. PC 3 → Cs, Li, T l, Y and Al → granitoids/pegmatites. PCA of the Amapari granite zone: PC 1 → Cr, V, Ni, Fe → laterite (ground pisolites), whereas the association of Fe, Cu, Zn, As → sulphide. PC 2 → association of Li, Cs, La and Y → pegmatite. PC 3 → Nb, Mo and W → pegmatites/greisen and Bi, Mo and W → contact metamorphism on biotite schist. PCA of the meta-sedimentary rock zone: PC 1 → association of Ba, Mn, Pb and Zn → carbonatic rock, and Ba, Th and Sr → granitoid. Co and Ni (+Zn) → accompany mafic/ultramafic rocks, therefore there is a miscellany of probable lithologies, indicating contribution from several sources. PC 2 → Se, Rb, W, Cs, Y, La, impossible to correlate with meta-sedimentary rocks. PCA of the orthoamphiboite zone: PC 1 → association of Co, Ni, Fe, V, Cr, Mn → confirm underlying mafic rock. PC 2 → association of Zr, Al, Hf, Ga, Hg, V and Sn → probable contamination by adjacent biotite schists. Sn is unusual in this environment. PC 3 – Sb and Au → sulphide s. Li and Al → pegmatite, with no relation to orthoamphibolites. PCA of the undifferentiated granitoids zone: PC 1 → association of Sc, Fe

and Be → granitoids (less acid) and Cu, Fe and Zn → sulphides. PC 2 → La, Th and Ba → granitoid. PC 3 → Zr and Sr → granitoid.

The absence of gold in the PCs, principally in the N-S and N-W mineralised zones can be explained by the large amount of values, close to or below the detection limit, present in the sampled population, which do not participate significantly when the PCA is applied.

The application of multivariate statistics and the PCA technique on the geochemical soil data in the Silvestre – Vila do Meio and Bananeira grids proves to be important when treating a large amount of samples and a valuable tool for mineral prospection and geological mapping.

LISTA DE ABREVIAÇÕES

Elementos químicos

Au - ouro

Ce - cério

Dy - disprásio

Er - érbio

Eu – europio

Gd - gadolínio

Ho – hólmio

La – lantânio

Lu – lutércio

Nd – neodímio

Pr – praseodímio

Sm – samário

Tb – térbio

Tm - túlio

Yb - ytérbio

Minerais

ap – apatita

aspy – arsenopirita

Au - ouro

bi – biotita

cb – carbonato

cl - clorita

clh – clinohumita

cpy – calcopirita

di – diopsídio

epi – epidoto

feox – óxido de ferro

flo – flogopita

gf – grafita

gr – granada

gru - grunerita

hbl – hornblenda

hm – hematita

mgcl – clorita magnesiana

mic – microclina

mt – magnetita

mu – muscovita

mz – monazita

plag – plagioclásio

po – pirrotita

py – pirita

qzo – quartzo

ru – rutilio

ser – sericita

serp – serpentina

tc – talco

ti – titanita

tu – turmalina

ves – vesuvianita

zr – zircão

Geral

am – amostra

ETR – elementos terras raras

ETRL - elementos terras raras leves

ETRL/ ETRP – razão elementos terras raras leves / elementos terras raras pesados

ETRM – elementos terras raras médio

ETRP - elementos terras raras pesados

FA – Fator Analysis (Análise de Fatores)

FFb - formação ferrífera bandada

fire assay – ensaio ao fogo (fusão)

ICP-AES / MS – inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry / mass spectrometry

MPBA – Mineração Pedra Branca do Amapari Ltda.

PAAS – Post-Archean Average Australian Sedimentary Rocks

PC – Principal Component (Componente Principal)

PCA - Principal Component Analysis (Análise de Componentes Principais)

PF – perda ao fogo

ppb – partes por bilhão

ppm – partes por milhão

SVD - Singular Value Decomposition (Decomposição por valor singular)

Tap A, B, C e D – Taperebá A, B, C e D

GLOSSÁRIO

Amostras branca – amostra isenta de ouro, utilizada para testar problemas de contaminação de amostras no laboratório.

Amostras de arquivo – amostra coletada no campo e armazenada em local adequado, para eventuais necessidades de reanálise.

Amostras duplicata – (duplicata de campo) amostras coletadas próxima, ou quase junto à amostra original, para ser analisada no laboratório químico. Tem o objetivo de verificar a variabilidade dos resultados para cada elemento químico.

Amostras originais – amostras coletadas para envio para análise no laboratório químico.

Amostras padrão – amostra comprada em laboratório credenciado, com certificado e reconhecida por outros laboratórios. Tem por objetivo testar a precisão do laboratório.

Geoquímica de solo multielementar – malha de solo com linhas e estações de amostragem bastante espaçadas. Análise de grande quantidade de elementos químicos, em média, mais que 25 elementos.

Geoquímica de solo tradicional – malha de solo com linhas e estações de amostragem pouco espaçadas. Análise de poucos elementos químicos.

Malha de solo – série de picadas (denominadas linhas) abertas paralelamente, com espaçamento entre linhas a distâncias regulares. Ao longo de cada linha são coletadas amostras de solo (estação de amostragem) em distâncias regulares.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de localização do depósito de ouro do Amapari – AP. Fonte Departamento Nacional de Infra-estrutura – DNIT (2002). 3

Figura 2 - Províncias Geocronológicas do Cráton Amazônico (Tassinari et al. 2000) 7

Figura 3 - Províncias Geocronológicas do Cráton Amazônico (Santos et al. 2000) 9

Figura 4 - Mapa geológico da região central do Amapá. Fonte Faraco et al. (2004) 12

Figura 5 - Geologia da Região do Amapari, modificado de Horikava & Ferrreira Filho (2003). 17

Figura 6 - Amapari - Mapa de localização dos alvos / cavas dos corpos mineralizados, Urucum, Taperebá (Tap) A, B, C e D. 20

Figura 7 - Amapari – localização dos furos de sondagem diamantada e dos corpos mineralizados, Urucum, Tap A, B, C e D e os alvos de Fe Martelo e Vila do Meio. 27

Figura 8 - Gráfico rocha carbonática x cálcio-silicática x rocha silicática com carbonato, de acordo com a composição modal dos minerais de Ca e Mg. Fonte SCMR (2007). 29

Figura 9 - Taperebá A, FD 708-23486, di-mt FFb, com alternância de bandas de qzo + di e bandas de mt + di. 35

Figura 10 - a**)** Alvo Taperebá B, FD 192-169, di-mt-gru FFb, com bandas de qzo branco e bandas de mt + gru. b) Alvo Taperebá A, FD 708-23504, gr-gru-py-mt FFb, com bandas e disseminações de piritita (py). 37

Figura 11 - Alvo Urucum, FD 815-69500, di-gru-po-hbl FFb, com bandas de quartzo (qzo) alternadas com bandas de grunerita (gru) + hornblenda (hbl) + diopsídio (di) + pirrotita (po) disseminada. 40

Figura 12 – Alvo Urucum FD 795-57438, gru-po-hbl FFb, a) e b) bandas de quartzo englobando massas de quartzo (qzo) fumê, concordantes com o banda-mento. b) Pirrotita (po) disseminada, ou formando lâminas junto a bandas ricas em anfibólio. 41

Figura 13 - Alvo Vila do Meio, FD 13-6, hm-gru-di FFb, com banda de hm parcialmente destruído. 44

Figura 14 - Alvo Vila do Meio, FD 65-4, gru-di-mt FFb, com bandas de qzo + gru alternadas com bandas de mt + gru + di. 44

Figura 15 - Alvo Martelo, FD 76-10, hm FFb, com alternância de bandas de hematita (hm) e bandas de quartzo (qzo), onduladas/dobradas. 45

Figura 16 - Alvo Martelo - FD 76-9, hm FFb, com bandamento paralelo, com alternância de bandas claras de qzo e escuras de hm. 45

Figura 17 - Alvo Taperebá A - FD 659-18621, mgcl-mt-serp- carbonato silicática. Pintas

pretas são de mt. 48

Figura 18 - Alvo Taperebá C - FD 162-192, serp-po-mt carbonato silicática com porções bandadas e porções isótropas, contendo po disseminadas ou em lâminas. 49

Figura 19 - Alvo Taperebá B - FD 703-23237, gru-di-mt carbonato silicática, cinza, localmente fraturadada. 51

Figura 20 - Alvo Taperebá D - FD 196-42, bi-gru-di carbonato silicática, cinza, levemente foliada. 52

Figura 21 - Alvo Taperebá D - FD 640-10210, bi-gru-di carbonato silicática, cinza, levemente foliada, com lâminas e bandas de biotita. 53

Figura 22 - Alvo Taperebá C - FD 162-182, serp-gru-po-mt mármore impuro, levemente foliado, com lâminas e bandas com anfibólio + mt + po. 56

Figura 23 - Alvo Urucum, FD 795-57451, gru-hbl-di cálcio-silicática, granoblástica, granulação média. 57

Figura 24 - Campo de estabilidade relativa dos minerais em formações ferríferas, em cada zona metamórfica. 63

Figura 25 – Seqüência de formação mineralógica de acordo com metamorfismo regional, de contato e mineralização aurífera. 67

Figura 26 – Paragênese mineral das zonas de alteração hidrotermal distal e proximal das FFb do Amapari. 72

Figura 27 - Paragênese mineral das zonas de alteração hidrotermal distal e proximal das rochas carbonáticas do Amapari. 73

Figura 28 - Paragênese mineral da zona de alteração hidrotermal proximal das rochas cálcio-silicáticas do Amapari. 74

Figura 29 – Diagramas a) CaO x SiO_2, b) MgO x SiO_2, que separam as rochas carbonáticas (vermelho), com pouca sílica e porcentagem mais elevada em CaO, MgO ou CaO + MgO, em relação à FFb (azul), com baixo conteúdo de CaO, MgO e elevado em SiO_2. Valores elevados em MgO do gráfico b, referem-se a rochas carbonáticas dolomíticas. Preto corresponde a cálcio-silicática. 80

Figura 30 - Diagrama a) Fe_2O_3T x SiO_2 e b) CaO x SiO_2 /Fe_2O_3T (total), mostrando a nítida separação entre as rochas carbonáticas (vermelho) pobres em Fe2O3T e SiO_2 e as FFb (azul) ricas nesses dois óxidos; a amostra de cálcio-silicática está em preto. 81

Figura 31 - Padrão de ETR de FFb + rochas metacarbonáticas normalizados para: a) condrito de Masuda et al. (1973), b) *PAAS* de McLennan (1989) e c) água do mar de Ederfield & Greaves (1982). Observar legenda na pág.80. 87

Figura 32 - Padrão de ETR normalizados para condrito de Masuda et al. (1973), para: a) FFb e b) rocha metacarbonática. Observar legenda na pág. 80. 93

Figura 33 - Padrão de ETR normalizadas para PAAS de McLennan (1989), para:

a) FFb e b) rochas metacarbonáticas. Observar legenda na pág. 80. 99

Figura 34 - Padrão de ETR normalizados para água do mar de Ederfield & Greaves (1982), para: a) FFb e b) rochas metacarbonáticas. Observar legenda na pág. 80. 102

Figura 35 - Provável sítio (em laranja) de formação das rochas FFb e carbonáticas do Amapari, região de transição entre o domínio de oxidos e carbonatos. Adap tado de James (1954). 106

Figura 36 - Diferentes tipos de depósito de ouro e seus respectivos ambientes geotectônicos. O depósito de ouro do Amapari situa-se em terreno de acresção. Fonte Melo (2001), segundo Groves et al. (1998). 108

Figura 37 - Mapa de localização das malhas de solo Silvestre, Vila do Meio, Bananeira e Taperebá-Urucum e dos corpos mineralizados em Au – Urucum, Taperebá (Tap) A, B, C e D. 112

Figura 38 – Detalhe da localização da malha de solo Taperebá-Urucum 114

Figura 39 - Pulverizador de disco de aço-cromo (Fonte – catálogo do Laboratório ALS Chemex, 2005). 116

Figura 40 - Amapari – comportamento das amostras extraídas pelo Geosoft™ – amostras brancas (a) e padrão (b) em relação a 2 desvios padrão e, amostras duplicatas x amostras originais (c). 119

Figura 41 - Valores de 20 ppb e de 130 ppb de Au nos pontos de inflexão dos gráficos de probabilidade acumulativa para: (a) malha Silvestre-Vila do Meio-Bananeira e (b) malha Taperebá-Urucum. 122

Figura 42 - Valores anômalos de Au nas malhas Silvestre-Vila do Meio-Bananeira (>19 ppb – gráfico de probabilidade acumulativa) e na malha Taperebá-Urucum (>119 ppb – método do percentil). 126

Figura 43 - Componente principal para duas variáveis – a) os pesos são os cossenos do vetor diretor; b) os escores são as projeções das amostras na direção da CP [11]. 129

Figura 44 - Distribuição das espécies num espaço tridimensional (Palmer, http://ordination. okstate.edu/PCA.htm). 131

Figura 45 - Variáveis após processamento pelo auto-escalamento, com centróide em zero (Palmer, http://ordination. okstate.edu/PCA.htm). 132

Figura 46 - Variáveis após a rotação da nuvem de pontos e aplicação do *PCA* (Palmer, http://ordination.okstate.edu/PCA.htm). 133

Figura 47 - Rotação dos eixos de coordenada PC1 para o eixo X e o PC2 para o eixo Y (Palmer,http://ordination.okstate.edu/PCA.htm). 134

Figura 48 - Amapari - Zona mineralizada N-S, a) PC 1 - maiores valores de PC1 em domínio de paranfibolitos e biotita xistos. b) PC 2 – maiores valores em domínio de biotita xistos. c) PC3 -maiores valores associados a granitóides

indiferenciados + paranfibolitos + rochas carbonáticas e FFb. 147

Figura 49 - Amapari - Zona mineralizada NW, a) PC 1 - maiores valores de PC1 em domínio de granitóides indiferenciados. b) PC 2 – maiores valores em domínio de granitóides indiferenciados. c) PC 3 - maiores valores associados a granitóides indiferenciados + biotita xistos. Observar legenda nos anexos 25 a 27. 157

Figura 50 - Amapari - Zona do granito Amapari, a) PC 1 - maiores valores de PC1 em domínio de biotita xistos e paranfibolitos. b) PC 2 – maiores valores em domínio do granito Amapari e biotita xistos. c) PC 3 - maiores valores associados ao granito Amapari e biotita xistos. 165

Figura 51 a - Amapari - zona das rochas metassedimentares. PC 1 – melhor associação com paranfibolitos e biotita xistos. 173

Figura 51 b - Amapari - zona das rochas metassedimentares. PC 2 - mostra melhor associação com o domínio do biotita xisto. 174

Figura 52 - Amapari - Zona do ortoanfibolito, a) PC 1 – boa associação com o ortoanfibolito amostrado. b) PC 2 – melhor relação próximo aos biotita xistos, na porção NW da faixa. c) PC 3 - melhor associação com a porção localizada entre a lente de biotita xisto e o ortoanfibolito. 182

Figura 53 - Amapari - Zona dos granitóides indiferenciados, a) PC 1 – boa associação com o granitóide envolvido pela FFb (mais comprido). b) PC 2 – melhor relação com os granitóides a .SW e SE do PC 1. c) PC 3 - associação com os três granitóides. 191

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais províncias geocronológicas propostas para o Cráton Amazônico, a partir dos modelos de evolução geodinâmica de Tassinari & Macambira (1999), Dall'Agnol et al (2000) e Santos et al. (2000). 10

Tabela 2 - Formação ferrífera – Principais Minerais da Formação Ferrífera do Amapari 34

Tabela 3 - Principais Minerais em Rochas Carbonáticas do Amapari. 47

Tabela 4 - Rochas carbonato silicáticas do Amapari com minerais de metamorfismo de Contatato (vesuvianita, granada e clinohumita). 55

Tabela 5 - Principais Minerais de Rocha Cálcio-Silicática do Amapari 57

Tabela 6 - Código dos métodos analíticos e limites de detecção inferior e superior. 76

Tabela 7 – Elementos Óxidos - FFb – Depósito de Ouro do Amapari. 78

Tabela 8 - Elementos Óxidos – rochas carbonáticas – Depósito de Ouro do Amapari 79

Tabela 9 - Resultados de ETR e razões ETRL/ETRP. 86

Tabela 10 - ETR – Resultados Analíticos - FFb do depósito de Ouro do Amapari – AP 89

Tabela 11 - ETR – Resultados Analíticos – Rocha carbonática do depósito de ouro do Amapari – AP. 90

Tabela 12 - Concentrações de ETR (ppm) e mineralogia (no geral > 5% em volume) de FFb e Rochas rochas carbonáticas. Qzo – quartzo, Carb – carbonato, hbl – hornblenda, Gru – grunerita, Di – diopsídio, Bi – biotita, Clo – clorita, MgCl – clorita magnesiana, Serp – serpentina, Mt – magnetita, hm- hematita, Py – pirita, Po – pirrotita e Gr – granada. 91

Tabela 13 - FFb – Valores Normalizados para Condrito 92

Tabela 14 - Rocha carbonática – Valores Normalizados para Condrito. 95

Tabela 15 - Média do coeficiente de distribuição (mineral / fusão ácida) de ETR em rochas riolíticas e dacíticas (Hendersen 1984). 96

Tabela 16 - FFb normalizado para PAAS. 98

Tabela 17 - Rocha carbonática – Valores Normalizados para PAAS 100

Tabela 18 - FFb – Valores Normalizados para Água do Mar. 103

Tabela 19 - Rocha carbonática – Valores Normalizados para água do mar. 104

Tabela 20 - Limites de detecção inferior e superior dos elementos químicos. 117

Tabela 21 - Resumo estatístico do arquivo *Master* das malhas de solo Silvestre-Vila do Meio e Bananeira. 120

Tabela 22 - Valores de Realce dos Elementos Químicos – Gráfico de Probabilidade Acumulativa – Malha Silvestre-Vila do Meio e Bananeira. 123

Tabela 23 - Valores de realce dos elementos químicos – Método do Percentil – Malha Silvestre-Vila do Meio e Bananeira. 123

Tabela 24 - Malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira – informações da análise de componentes principais da zona mineralizada N-S. 138

Tabela 25 - Malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira – correlação dos dados padronizados da zona mineralizada N-S. 139

Tabela 26 - Malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira – *Eigenvalues* de matriz de correlação da zona mineralizada N-S. 140

Tabela 27 - Malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira – *Eigenvectors* de matriz de correlação da zona mineralizada N-S. 141

Tabela 28 - Malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira – *Principal component Loadings* da zona mineralizada N-S. 142

Tabela 29 - Malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira – *Proportion of variables explained by factors* da zona mineralizada N-S. 143

Tabela 30 - Malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira – *Varimax Principal component loading* da zona mineralizada N-S. 144

Tabela 31 - Malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira – *Proportion of variables explained by varimax Factor* da zona mineralizada N-S. 145

Tabela 32 - Informações da análise de Componentes Principais da zona mineralizada NW. 149

Tabela 33 - Malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira – a correlação dos dados padro nizados da zona mineralizada NW. (Volume II - Anexo 24)

Tabela 34 - Malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira – *Eigenvalues* de matriz de correlação da zona Mineralizada NW. 150

Tabela 35 - Malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira – *Eigenvectors* de matriz de correlação da zona mineralizada NW. 151

Tabela 36 - Malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira – *Principal component Loadings da* zona mineralizada NW. 152

Tabela 37 - Malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira – *Proportion of variables explained by factors* da matriz de correlação da zona mineralizada NW. 153

Tabela 38 - Malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira – *Varimax Principal component loading* da zona mineralizada NW. 154

Tabela 39 - Malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira – *Proportion of variables explained by varimax Factor* da zona mineralizada NW. 155

Tabela 40 - Informações da análise de Componentes Principais da do granito Amapari. 159

Tabela 41 - Malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira – a correlação dos dados padro nizados da zona do granito Amapari. (Volume II - Anexo 29).

Tabela 42 - Malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira – *Eigenvalues* de matriz de correlação da zona do granito Amapari. 160

Tabela 43 - Malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira – *Eigenvectors* de matriz de correlação da zona do granito Amapari. 160

Tabela 44 - Malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira – *Principal component Loadings da* zona do granito Amapari. 161

Tabela 45 - Malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira – *Proportion of variables explained by factors* da matriz de correlação da zona do granito Amapari. 162

Tabela 46 - Malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira – *Varimax Principal component loading* da zona do granito Amapari. 163

Tabela 47 - Malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira – *Proportion of variables explained by varimax Factor* da zona do granito Amapari. 163

Tabela 48 - Informações da análise de Componentes Principais da zona das rochas metassedimentares. 166

Tabela 49 - Malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira – a correlação dos dados pa dronizados da zona das rochas metassedimentares. (Volume II - Anexo 34).

Tabela 50 - Malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira – *Eigenvalues* de matriz de correlação da zona das rochas metassedimentares. 167

Tabela 51 - Malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira – *Eigenvectors* de matriz de correlação da zona das rochas metassedimentares. 168

Tabela 52 - Malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira – *Principal component Loadings da* zona das rochas metassedimentares. 169

Tabela 53 - Malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira – *Proportion of variables explained by factors* da matriz de correlação da zona das rochas metassedimentares. 170

Tabela 54 - Malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira – *Varimax Principal component loading* da zona das rochas metassedimentares. 171

Tabela 55 - Malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira – *Proportion of variables explained by varimax Factor* da zona das rochas metassedimentares. 172

Tabela 56 - Informações da análise de Componentes Principais da zona do ortoanfibolito. 175

Tabela 57 - Malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira – a correlação dos dados padronizados da zona do ortoanfibolito. (Volume II - Anexo 38).

Tabela 58 - Malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira – *Eigenvalues* de matriz de correlação da zona do ortoanfibolito. 176

Tabela 59 - Malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira – *Eigenvectors* de matriz de correlação da zona do ortoanfibolito. 177

Tabela 60 - Malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira – *Principal component Loadings da* zona do ortoanfibolito. 178

Tabela 61 - Malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira – *Proportion of variables explained by factors* da matriz de correlação da zona do ortoanfibolito. 179

Tabela 62 - Malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira – *Varimax Principal component loading* da zona do ortoanfibolito. 180

Tabela 63 - Malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira – *Proportion of variables explained by varimax Factor* da zona do ortoanfibolito. 181

Tabela 64 - Informações da análise de Componentes Principais da zona dos granitóides indiferenciados. 184

Tabela 65 - Malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira – a correlação dos dados padro nizados da zona dos granitóides indiferenciados. (Volume II - Anexo 43).

Tabela 66 - Malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira – *Eigenvalues* de matriz de correlação da zona Dos granitóides indiferenciados. 185

Tabela 67 - Malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira – *Eigenvectors* de matriz de correlação da zona dos granitóides indiferenciados. 186

Tabela 68 - Malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira – *Principal component Loadings*

da zona dos granitóides indiferenciados. 186

Tabela 69 - Malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira – *Proportion of variables explained by factors* da matriz de correlação da zona dos granitóides indiferenciados. 187

Tabela 70 - Malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira – *Varimax Principal component loading* da zona dos granitóides indiferenciados. 188

Tabela 71 - Malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira – *Proportion of variables explained by varimax Factor* da zona dos granitóides indiferenciados. 189

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Foto 1 - Mina do Amapari - cava entre Taperebá A e B – granito cortando FFb mineralizado em Au. 23

Foto 2 - Mina do Amapari - cava entre Taperebá A e B – afloramento de FFB mineralizado em Au. 23

LISTA DE FOTOMICROGRAFIAS

Fotomicrografia 1 - Alvo Taperebá A, FD 708-23486, di-mt FFb. a) banda de qzo grosso e banda de mt, lente 2,5 X, nicóis cruzados, luz transmitida. b) agregados de mt idiomórficos a hipidiomórficos, lente 5 X, luz refletida.35

Fotomicrografia 2 - Alvo Taperebá B, FD 192-169, di-mt-gru FFb, bandado. a) bandas de: qzo, mt + qzo, mt + gru e, mt + gru + di, lente 2,5 X, nicóis cruzados, luz transmitida. b) pirrotita, envolvendo magnetita, lente 20 X, luz refletida. 37

Fotomicrografia 3 - Alvo Taperebá A, FD 708-23504, gr-gru-py-mt FFb. a) bandas de qzo e bandas de mt + py (opaco) + gru. Lente 2,5 X, nicóis cruzados, luz transmitida. b) trama da mt + py na FFb. Lente 2,5 X, luz refletida. 38

Fotomicrografia 4 - Alvo Taperebá A, FD 708-23504. Faces do cristal (seta) de granada (gr), possivelmente grossulária-andradita. Lente 50 X, nicóis paralelos, luz transmitida. 39

Fotomicrografia 5 - Grossulária-andradita, de Fujikaramari-Japão, Akizuki (1984). Polarização cruzada.. 39

Fotomicrografia 6 - Alvo Urucum, FD 815-69500, Di-gru-po-hbl FFb. a) po (opaco) entremeado em Gru + hbl + di. Lente 5 X, luz refletida. b) po envolvendo anfibólios e diopsídio. Lente 2,5 X, luz refletida. c) vesuvianita (ves) entremeados em carbonato. Lente 5 X, nicóis paralelos, luz transmitida. 40

Fotomicrografia 7 - Alvo Urucum, FD 7955-57438, gru-po-hbl FFb. a) bandas de qzo, alternadas com bandas de mt + gru + hbl. Lente 2,5 X, nicóis cruzados,

luz transmitida. b) po envolvendo anfibólios. Lente 2,5 X, luz refletida. c) massa de quartzo (fumê). Lente 2,5 X, nicóis cruzados, luz transmitida. 42

Fotomicrografia 8 - Alvo Urucum, FD 795-57438. a) trilha de calcopirita (cpy), intercrescida com pirrotita. Lente 5 X, luz refletida. b) cpy intercrescida e envolvendo po. Lente 20 X, luz refletida. 42

Fotomicrografia 9 - Alvo Vila do Meio – FD 65-4, poiquilobasto de diopsídio com inclusões de gru, mt e cb. Lente 5X, nicóis cruzados, luz transmitida. 44

Fotomicrografia 10 - Alvo Martelo - FD 76-9, Hm FFb. a) com bandamento paralelo de qzo e de hm (opaco), lente 2,5 X , nicóis cruzados, luz transmitida. b) mesma foto, com hm xenomórfica, às vezes em ripas paralelas ao bandamento,lente 2,5 X, luz refletida. 46

Fotomicrografia 11 - Alvo Taperebá A - FD 659-18621, Mgcl-mt-serp- carbonato silicática. Minerais de cb, mgcl, cb, serp e mt, dispersos na lâmina. Lente 2,5 X, nicóis cruzados, luz transmitida. 48

Fotomicrografia 12 - Alvo Taperebá C - FD 162-192. a) mostrando carbonato poligonizado e serpentina, em meio à pirrotita (opaco). Lente 2,5 X, nicóis cruzados, luz transmititda. b) po + mt, recristalizados preenchendo interstícios de cb. Lente 2,5 X, luz refletida. c) po consumindo e englobando mt semi-arrendondadas, ambas recristalizadas. Lente 10 X, luz refletida. 49

Fotomicrografia 13 - Alvo Taperebá B - FD 703-23237. a) textura granoblástica, com cb poligonizado e fratura preenchida por tc e di. Lente 20 X, nicóis cruzados, luz transmitida. b) lâminas de mt recristalizada. Lente 5 X, luz refletida. 51

Fotomicrografia 14 - Alvo Taperebá D - FD 196-42. a) trama dos minerais, textura granoblástica, com carbonato poligonizado, biotita e grunerita dispersos na lâmina e poiquiloblasto de di, englobando cb. Lente 10 X, nicóis cruzados, luz transmitida. b) po levemente orientada, segundo discreta foliação. Lente 2,5 X, luz refletida. c) cpy intercrescida com po. Lente 5 X, luz refletida. 52

Fotomicrografia 15 - Alvo Taperebá D - FD 640-10210. a) trama dos minerais – textura granoblástica, com cb poligonizado, trilha de bi segundo discreta foliação e di poiquiloblástico com inclusões de cb. Lente 5 X, nicóis cruzados, luz transmitida. b) trilha de po, segundo discreta foliação. Lente 2,5 X, luz refletida. c) cpy e arsenopirita (aspy) intercrescidas com po. Lente 20 X, luz refletida. 53

Fotomicrografia 16 - Alvo Taperebá C - FD 162-182. a) textura granoblástica, com cb poligonizado, gru e di dispersos na lâmina. Lente 10 X, nicóis cruzados, luz transmitida. b) bolsão alongado de tc + serp, entre cristais de cb. Lente 10 X, nicóis cruzados, luz transmitida. c) mt e po recristalizadas, dispersas na matriz carbonática. Lente 2,5 X. d) po com inclusões de mt. Lente 5 X, luz refletida. 56

Fotomicrografia 17 - Alvo Urucum - FD 795-57451, gru-hbl-di cálcio-silicática. Contato entre banda de di e banda de gru+hbl (canto inferior direito) e poiquiloblastos de di englobando anfibólios de granulação fina. Lente 5 X, nicóis cruzados, luz transmitida. 58

Fotomicrografia 18 - a) Alvo Taperebá B - FD 192-172, gr-di-flo-mt carbonato silicática com granada verde (uvarovita?- uv). Lente 10 X, nicóis paralelos, luz transmitida. b) Alvo Vila do Meio, FVD 002, hm-hbl-mt-di cálcio-silicática com clinohumita (chu). Lente 20 X, nicóis paralelos, luz transmitida. 58

Fotomicrografia 19 - FD 162-177 - Bandas de mt + gru, alternadas com bandas de qzo, mostram a associação comum da gru com a mt. Lente 2,5 X, nicóis cruzados, luz transmitida. 68

Fotomicrografia 20 - FD 192-169.- Poiquiloblasto de di repleto de inclusões de grunerita. Lente 10 X, nicóis cruzados, luz transmitida. 68

Fotomicrografia 21 - FD795-57477- Poiquiloblasto de di, com inclusões de gru + mt em bandas. Lente 10 X, nicóis cruzados, luz transmitida. 68

Fotomicrografia 22 - FD659-18600 - Poiquiloblasto de di, com inclusões de gru + mt e veio de cb cortando di. Lente 2,5 X, nicóis cruzados, luz transmitida. 68

Fotomicrografia 23 - FD659-18600.- Mesma banda de mt, registrada em dois poiquiloblastos de di. Lente 2,5 X, nicóis cruzados, luz transmitida. 68

Fotomicrografia 24 - FD708-23497 - Poiquiloblasto de di, com inclusões de gru, mt e agregados de grãos de cb. Lente 2,5 X, nicóis cruzados, luz transmitida. 68

Fotomicrografias 25 e 26 - FD703-23207. Poiquiloblasto de di, com inclusões de gru, mt e cb, e mt preenchendo fraturas no di. Lente 2,5 X, nicóis cruzados, luz transmitida e Lente 2,5 X, luz refletida. 69

Fotomicrografia 27 - FD192-169. Po envolve mt. Lente 20 X, luz refletida. 69

Fotomicrografia 28 - FD192-172. Po preenche fratura do di. Lente 2,5 X, nicóis cruzados, luz transmitida 69

Fotomicrografia 29 - FD192-172. Po preenche fratura do di. Lente 2,5 X, luz refletida. 69

Fotomicrografia 30 – FD795-57438. Fraturas no di, preenchidas por po. Lente 5 X, nicóis cruzados, luz transmitida. 69

Fotomicrografia 31 – FD795-57438. Fraturas no di, preenchidas por po. Lente 5 X, luz refletida. 70

Fotomicrografia 32 - FD659-18621. Serp incluindo diminutos grãos de mt. Lente 5 X, nicóis cruzados, luz transmitida. 70

Fotomicrografia 33 - FD829-A. Serp substitui o di. Lente 5 X, nicóis cruzados, luz transmitida. 70

Fotomicrografia 34 - FD192-180. Mt e po preenche fraturas na gru. Lente 10 X, nicóis cruzados, luz transmitida. 70

Fotomicrografia 35 - FD192-180. Mt e po preenche fraturas na gru Lente 10 X, luz refletida. 70

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA i
AGRADECIMENTOS ii
EPÍGRAFE iv
RESUMO v
ABSTRACT viii
LISTA DE ABREVIAÇÕES xi
GLOSSÁRIO xiv
LISTA DE FIGURAS xv
LISTA DE TABELAS xviii
LISTA DE FOTOGRAFIAS xxii
LISTA DE FOTOMICROGRAFIAS xxii
I – INTRODUÇÃO 1
I.1 Métodos de Trabalho 3
II – CONTEXTO GEOTECTÔNICO E GEOLOGIA REGIONAL 5
II.1 Breve histórico do *boom* mineral do estado do Amapá 5
II.2 Cráton Amazônico 6
II.3 Província Transamazonas 9
II.4 Geologia regional 11
II.4.1 Estruturas 15
III – GEOLOGIA LOCAL E O DEPÓSITO DE OURO DO AMAPARI 16
III.1 Litoestratigrafia 16
III.2 Metamorfismo 19
III.3 Estruturas 19
III.4 Geologia do depósito de ouro do Amapari 19
III.4.1 Geologia estrutural 22
III.4.2 Mineralização aurífera 22
IV - ESTUDOS PETROGRÁFICOS 25
IV.1 Revisão de estudos petrográficos do depósito de ouro do Amapari-AP 30
IV.2 Estudos petrográficos – presente Trabalho 33
IV.2.1 Formações ferríferas 33
IV.2.2 Rochas carbonáticas 46

IV.2.3 Rochas cálcio-silicáticas 57

IV.3 Discussão dos resultados 59

IV.3.1 Características das rochas encaixantes e hospedeiras da mineralização aurífera do Amapari 59

IV.3.2 Metamorfismo regional e de contato 62

IV.3.3 Relações texturais entre minerais 65

IV.3.4 Zonas de alteração hidrotermal do Amapari 71

V – GEOQUÍMICA DE ROCHA 75

V.1 Laboratório AcmeLabs 75

V.2 Tratamento dos dados 75

V.3 Elementos maiores (óxidos) 76

V.3.1 Formação ferrífera bandada (FFb), rochas carbonáticas e cálcio-silicáticas 76

V.3.2 Discriminação geoquímica entre rochas carbonáticas e FFb 80

V.4 Elementos Terras Raras 81

V.4.1 Revisão do conhecimento 81

V.4.2 ETR em sedimentos e rochas Sedimentares clásticas 82

V.4.3 Sedimentos e rochas sedimentares químicas 83

V.4.4 Água do mar e fluidos hidrotermais 83

V.4.5 A Transição Arqueano – Proterozóico 84

V.5 Tratamento dos dados do Amapari 84

V.5.1 ETR de formação ferrífera bandada e de rochas carbonáticas 86

V.5.2 ETR de formação ferrífera fandada normalizados para condrito 88

V.5.3 ETR de rocha carbonática normalizados para condrito 94

V.5.4 ETR de formação ferrífera bandada normalizados para *PAAS* 97

V.5.5 ETR de rocha carbonática normalizados para *PAAS* 99

V.5.6 ETR de FFb e de rochas carbonáticas normalizados para água do mar 101

V.6 Geoquímica de rocha total – Conclusões 105

V.6.1 Elementos maiores (óxidos) 105

V.6.2 Elementos terras raras 105

V.6.3 Mineralização aurífera do Amapari: escarnítico X orogênico 106

VI - GEOQUÍMICA DE SOLO 109

VI.1 Revisão de trabalhos geoquímicos multielementar na região do depósito de ouro do Amapari-AP 109

VI.2 Métodos de Amostragem 110
VI.2.1 Malha de Solo 110
VI.2.2 Geoquímica de solo tradicional 110
VI.2.3 Geoquímica de solo multielementar 110
VI.3 Malhas de solo 111
VI.3.1 Malha Taperebá- Urucum 111
VI.3.2 Malha Silvestre-Vila do Meio e Bananeira 114
VI.4 Laboratórios e métodos analíticos 115
VI.4.1. Laboratório Nomos 115
VI.4.2 Laboratório ALS Chemex 116
VI.5 Preparação dos dados e tratamento dos resultados geoquímicos - métodos 117
VI.5.1 Preparação dos dados 117
VI.5.2 Tratamento dos dados 118
VI.5.3 Histogramas dos Elementos Químicos 122
VI.5.4. Cálculo dos Valores de Realce dos Elementos Químicos 122
VI.5.5 Método de Probabilidade Acumulativa 122
VI.5.6 Método do Percentil 123
VI.6 Análise exploratória multivariada 127
VI.6.1 Organização dos dados 127
VI.6.2. Análise de componentes principais 127
VI.6.3. Exemplo gráfico do processamento por *PCA* 131
VI.7 Aplicação da técnica de análise de componentes principais nas malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira 135
VI.7.1 Zona mineralizada NS 138
VI.7.2 Zona mineralizada NW 149
VI.7.3 Zona do granito Amapari 159
VI.7.4 Zona das rochas metassedimentares 166
VI.7.5 Zona do ortoanfibolito 175
VI.7.6 Zona dos granitóides indiferenciados 184
VI.8 Interpretação dos resultados da análise de componentes principais 192
VI. 8.1 Zona mineralizada N-S 192
VI.8.2 Zona mineralizada NW 193

VI.8.3. Zona do granito Amapari 193
VI.8.4 Zona das rochas metassedimentares 193
VI.8.5 Zona do ortoanfibolito 194
VI.8.6 Zona dos granitóides indiferenciados 194
VII - CONCLUSÕES FINAIS 196
1) Estudos petrográficos 188
2) Geoquímica de rocha total 201
3) Geoquímica de solo 202
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 205

CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO

O objetivo deste trabalho é apresentar, interpretar e discutir os resultados obtidos nos estudos petrográficos de 61 lâminas polidas delgadas de testemunhos de sondagem, análises geoquímicas de 22 amostras de testemunhos de sondagem e estudo de estatística multivariada de 2241 amostras geoquímicas de solo, aplicando a técnica da análise de componentes principais (PCA) na região do depósito de ouro do Amapari – AP, de propriedade da Mineração Pedra Branca do Amapari Ltda. (Grupo Peak Gold).

As lâminas polidas delgadas objetivam caracterizar as rochas hospedeiras/encaixantes da mineralização aurífera do referido depósito, constituídas por formações ferríferas bandadas, rochas carbonáticas e cálcio silicáticas dos alvos, denominados de norte para sul, Urucum, Taperebá C, B, A e D, Martelo e Vila do Meio. Os dois últimos constituem alvos de pesquisa para ferro da empresa MMX.

As formações ferríferas e as rochas carbonáticas são as hospedeiras da mineralização aurífera do depósito de ouro do Amapari. O motivo da análise geoquímica dessas amostras é a suspeita de que algumas rochas carbonáticas ricas em magnetita e às vezes até bandadas, poderiam representar o produto de intensa alteração hidrotermal sobre formaçcões ferríferas. Pretendia-se também tentar distinguir possíveis diferentes protólitos para as rochas resultantes do metamorfismo de contato/escarnítico. As 22 amostras foram submetidas à análise de elementos maiores (óxidos) e elementos terras raras no laboratório Acme, de Vancouver – Canadá.

O primeiro trabalho sistemático de exploração mineral realizado na área do depósito do Amapari constou de geoquímica de solo, com a implantação da malha denominada Urucum-Taperebá (100 x 20 m) e análise de ouro, cobre, chumbo, zinco, níquel, cromo e cobalto. Este trabalho foi executado pela Unigeo Geologia e Mineração Ltda. (Grupo Anglo American) no ano de 1994.

Posteriormente, no ano 2000, a UGM (nova denominação da Unigeo) com o objetivo de pesquisar as extensões do depósito de ouro do Amapari e testar nova metodologia tanto de amostragem (mais aberta em relação ao Urucum-Taperebá) e de análise multielementar, implanta a malha de solo denominada Silvestre-Vila do Meio (1000 x 160 m), recobrindo a malha Urucum-Taperebá e outra malha denominada Bananeira (400 x 80 m), que cobriu a parte oeste do depósito, sem recobrir a malha Urucum-Taperebá.

O depósito de ouro do Amapari localiza-se na porção central do estado do Amapá, a 200 km NW de Macapá e aproximadamente 13 km a NE da cidade de Serra do Navio, ambos em linha reta (Figura 1).

A área pode ser acessada tanto por via terrestre, como por via aérea. Partindo de Macapá, toma-se a rodovia BR 156, asfaltada, até o Km 102, no entroncamento para a cidade de Porto Grande e a partir daí toma-se a rodovia BR 210 – Perimetral Norte, por 5 km, aonde se chega à cidade de Porto Grande. O trecho restante é por estrada de terra, em bom estado de conservação, por aproximadamente 60 km, até a cidade de Pedra Branca do Amapari, que conta com uma pista de pouso encascalhada, de aproximadamente 800m de extensão, operacional, para aeronaves do porte de Caravan e jato Citation. Prosseguindo por mais 30 km, chega-se à cidade de Serra do Navio e a partir daí, por mais 13 km até o depósito do Amapari.

Esta região está inserida no domínio geocronológico da Província Maroni-Itacaiunas de Tassinari et al. (2000), onde se insere a seqüência metavulcanossedimentar do Grupo Vila Nova (Lima et al. 1974), constituída por rochas metaultramáficas, metamáficas, rochas metassedimentares químicas (formações ferríferas bandadas, rocha cálcio-silicáticas e rochas carbonáticas) e rochas metassedimentares clásticas (quartzitos e mica xistos pelíticos).

As rochas do Grupo Vila Nova hospedam a mineralização aurífera do depósito de ouro do Amapari e estão distribuídos ao longo de 7 km de extensão e apresentam duas direções preferenciais, sendo uma NNW-SSE onde se alojam os corpos Urucum, Taperebá A, B e C, enquanto o corpo Taperebá D apresenta direção NW. As rochas encaixantes da mineralização primária são principalmente as formações ferríferas fácies óxido, escarnitos, rochas carbonáticas e subordinadamente anfibolitos (Borges 1999 in Dardenne & Schobbenhaus 2001).

O corpo Urucum estudado por Melo (2001) e Melo et al. (2001) é interpretado como do tipo ouro orogênico de Groves et al. (1998).

Estudos de Faraco et al. (2003) nos corpos Taperebá A, B e D, consideram como do tipo escarnítico, comparável ao depósito de Nevoria (Austrália).

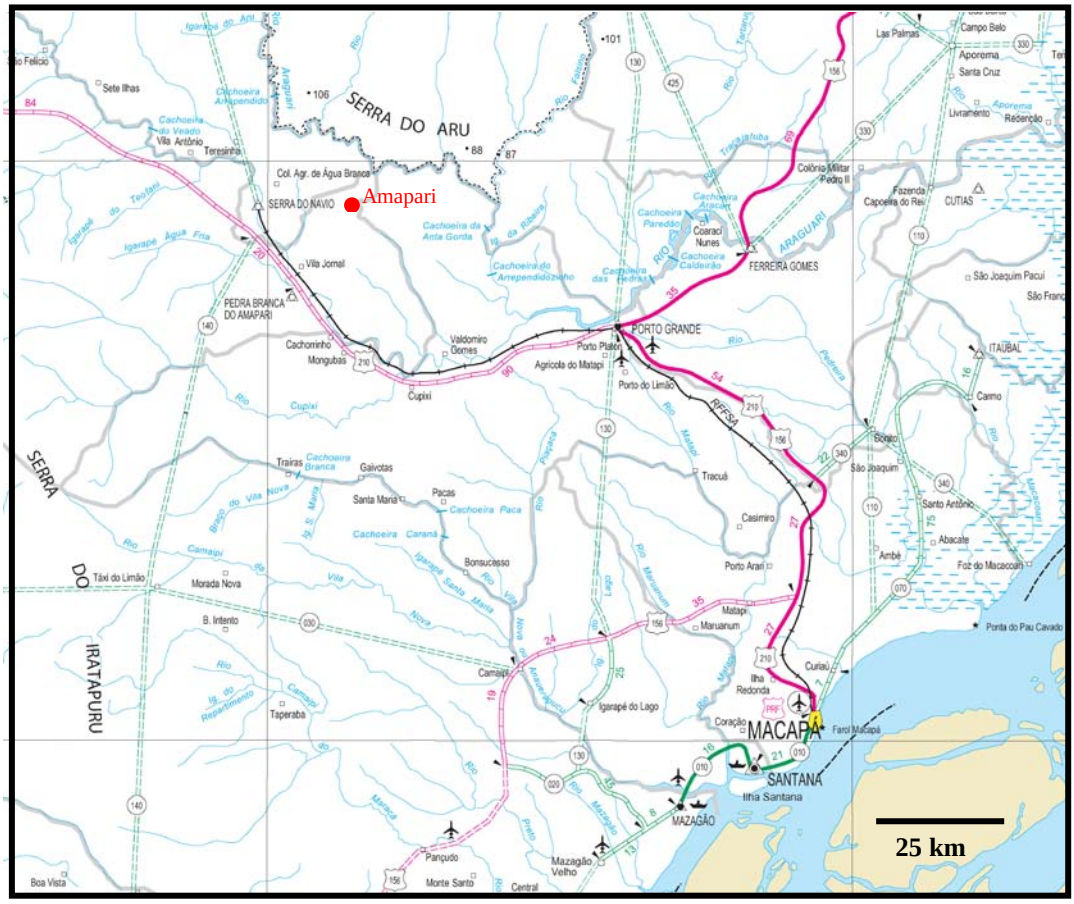


Figura 1: mapa de localização do depósito de ouro do Amapari – AP. Fonte Departamento Nacional de Infra-estrutura – DNIT (2002).

I. 1 Métodos de Trabalho

Etapa de escritório

Levantamento bibliográfico e validação dos dados das amostras analisadas de solo foram realizados em 2006, bem como as descrições macroscópicas das amostras de testemunhos de sondagem.

Etapa de campo

As amostras geoquímicas de solo tinham sido coletadas e analisada no período de 2000 a 2003.

Em maio de 2006 realizou-se visita ao depósito de ouro do Amapari onde foram coletadas aproximadamente 49 amostras de testemunhos de sondagem de aproximadamente 14 furos dos alvos Urucum, Taperebá A, B, C, D, Martelo e Vila do Meio, e observações em afloramentos nas cavas em operação.

Em novembro de 2007 retornou-se à área para nova coleta de 22 amostras de testemunhos de sondagem para descrição e análises químicas, visando caracterizar as hospedeiras e encaixantes da mineralização aurífera.

Etapa de laboratório

Em julho de 2006 foram confeccionadas as lâminas delgadas polidas no laboratório do Centro de Pesquisa Manoel Teixeira da Costa pelo técnico Fernando Soares de Souza.

As descrições petrográficas vêm sendo desenvolvidas desde outubro de 2006, com o microscópio, em luz transmitida e refletida, da marca Leica, pelas objetivas de 2,5 X, 5 X, 10 X, 20 X e 50X, e ocular 10 X.

Etapa de tratamento dos dados

No tratamento dos dados analíticos e construção de diagramas de distribuição de ETR e de CaO e MgO x SiO_2, Fe_2O_3T x SiO_2 e CaO x SiO_2/Fe_2O_3T utilizou-se o programa Minpet Mineralogical and Petrological Data Processing System versão 2.02, de autoria de Linda R. Richard. Os cálculos e razões entre ETR foram executados em programa Excel 2000.

Os resultados de solo foram processados em programa Geosoft^{TM}, próprio para tratamento de dados geoquímicos, utilizando a análise exploratória multivariada de Análise de Componentes Principais (PCA).

Os volumes finais da dissertação são o produto final desta etapa.

A presente dissertação é apresentada em dois volumes: volume I de texto e volume II de anexos.

CAPÍTULO II – CONTEXTO GEOTECTÔNICO E GEOLOGIA REGIONAL

II.1 Breve histórico do *boom* mineral do estado do Amapá

Historicamente, a região que compreende a porção norte do estado do Pará e o estado do Amapá foi submetida a um forte *boom* garimpeiro após os anos de 1930, devido à intensa "imigração" de garimpeiros e de *criollos*, provenientes da Guiana Francesa, interessados na garimpagem de cassiterita e ouro. Em todo o Amapá e na região próxima a Serra do Navio, são conhecidos alguns antigos garimpos desta época.

Na década de 1940, ocorre a descoberta do manganês da Serra do Navio.

Na década de 1970, as regiões de Serra do Navio e do rio Vila Nova, este último localizado a aproximadamente 50 km SSW do Amapari, viveram novo *boom* devido à garimpagem de cassiterita e tantalita. Nesse período surgem pequenas minas de cassiterita (Mineração Rio das Mortes, Mineração Estanífera, Cupixi Mines, etc.), todas na região dos rios Amapari-Araguari, há muitos anos abandonadas e não muito distantes do Amapari. Neste mesmo período, a ICOMI havia detectado anomalia de cromita na região do rio Vila Nova, enquanto a Unigeo (Anglo American) definia anomalias de Pb e Zn, em solo, na região do rio Amapari.

Na década de 1980 e início dos anos 1990, estas mesmas regiões viveram novo *boom*, desta vez voltada para atividade mineira e garimpagem de ouro. Muitos dos pequenos garimpos de aluvião de cassiterita foram retrabalhados para ouro, levando à descoberta de algumas ocorrências e alguns depósitos primários de pequeno porte.

Especificamente a região dos rios Vila Nova, Camaipi e Curumuri, foi objeto de intensa garimpagem para diamante, cassiterita e ouro, levando à descoberta de diversos garimpos menores e duas pequenas minas de ouro primário. Tratam-se dos depósitos de Santa Maria (Mineração Santa Maria, ex-Vila Nova) e mina do Vicente, situados às margens do rio Vila Nova. Ainda nesta região, na década de 80, a ICOMI realiza intenso programa de pesquisa e viabiliza a mina de cromita, com o nome de Companhia Ferro-Ligas do Amapá (CFA).

No início dos anos 90, o grupo **Anglo American** recomeça suas pesquisas na região, resultando na descoberta do ouro do depósito do Amapari, com a participação do autor deste trabalho.

II.2 Cráton Amazônico

O Cráton Amazônico localiza-se na porção norte da plataforma sul-americana, cobrindo uma superfície de aproximadamente 4,3 milhões de km^2. O mesmo é eograficamente dividido em dois escudos definidos como Escudo das Guianas e Escudo Brasil-Central ou Guaporé, separado pelas Bacias Paleozóicas do Solimões e Amazonas, ambas recobertas por sedimentos mesozóicos e cenozóicos, de acordo com Almeida et al. (1976) e Almeida (1978 in Avelar 2002).

Os principais aspectos da evolução do Cráton Amazônico foram sintetizados em Tassinari & Macambira (1999) e Tassinari et al. (2000) que consideram a existência de seis províncias geocronológicas principais para esse cráton: Província Amazônia Central (PAC), com padrão de idade superior a 2,3 Ga; Província Maroni-Itacaiúnas, que é a faixa paleoproterozóica mais antiga, que ocorre a norte e nordeste da PAC e apresenta idades entre 2,25-1,95 Ga; a Província Ventuari-Tapajós (PVT), com idade entre 2,0-1,8 Ga; a Província Rio Negro-Juruena (PRNJ), com idade entre 1,80-1,55 Ga; a Província Rondônia San-Ignácio (PRSI), com idade entre 1,55-1,30 Ga e a Província Sunsás (PS), com idade entre 1,30-1,10 Ga (Figura 2). As assinaturas isotópicas do Sr, Pb e Nd das rochas ígneas e ortognáissicas do Cráton Amazônico demonstram que o crescimento crustal pré-cambriano envolveu a adição de material juvenil durante o Arqueano e o Paleoproterozóico, bem como o retrabalhamento de crosta continental (Tassinari & Macambira 1999, Tassinari et al. 2000). As idades modelo Nd $T_{(DM)}$, determinadas para as rochas granitóides, sugerem que cerca de 30% da crosta continental foi derivada do manto durante o Arqueano e, cerca de 70% dessa crosta, no Proterozóico.

Ainda segundo os mesmos autores, os principais episódios de diferenciação manto-crosta ocorreram nos intervalos entre 3,1-2,5 Ga; 2,2-2,0 Ga; 2,0-1,9 Ga; 1,9-1,7 Ga e 1,6-1,5 Ga. Uma parte das províncias Maroni-Itacaiúnas e Rondônia-San Ignácio, bem como toda a Província Ventuari-Tapajós e a Província Rio Negro-Juruena, teriam se formado por acresção de material juvenil. Para a formação da Província Sunsás e para as outras partes das províncias Maroni-Itacaiúnas e Rondônia-San Ignácio são atribuídos, principalmente, processos de retrabalhamento crustal.

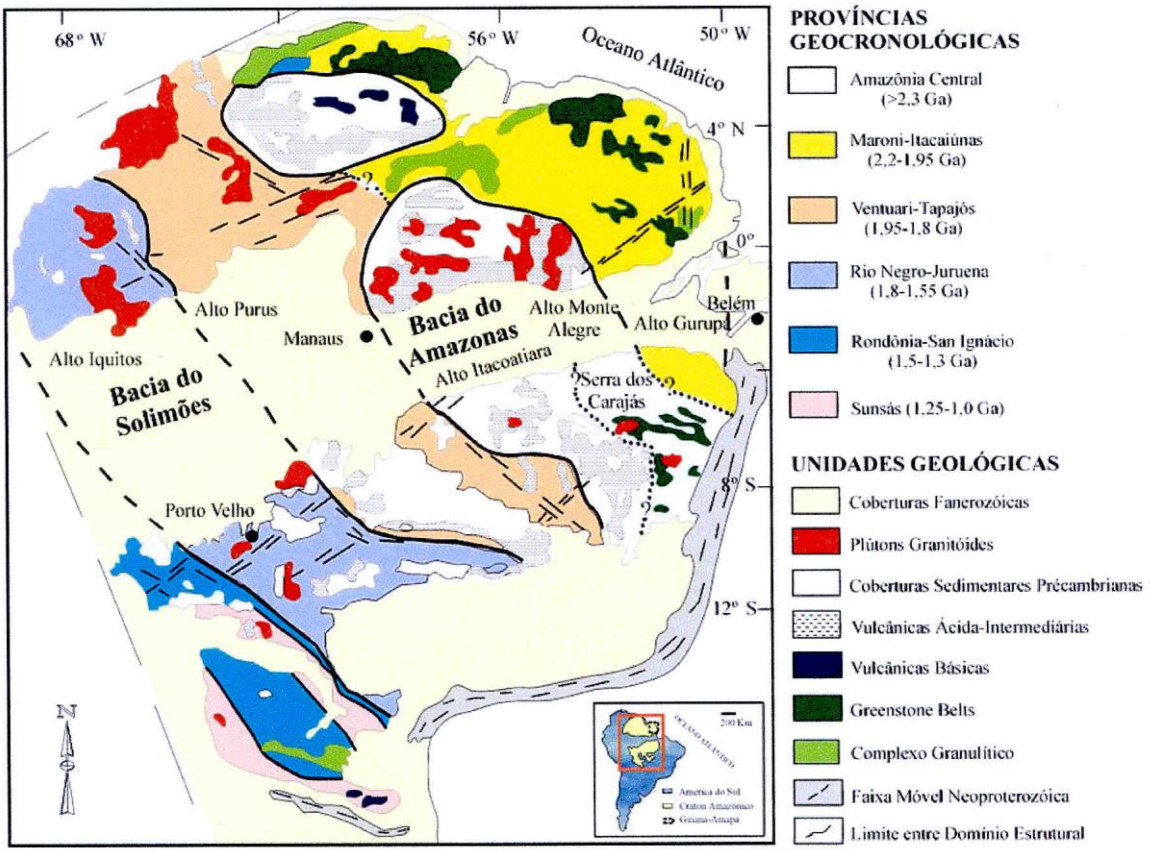


Figura 2: Províncias Geocronológicas do Cráton Amazônico (Tassinari et al. 2000)

Outras propostas de modelo foram apresentadas por Santos et al. (2000 in Avelar 2002) e Dall'Agnol et al. (2000 in Avelar 2002). Essas propostas, embora inspiradas no modelo de acresção crustal progressiva de Cordani et al. (1979 in Avelar 2002) e Tassinari & Macambira (1999), diferem do modelo desses dois últimos autores, na divisão das províncias e, sobretudo, na localização dos limites entre as mesmas.

A integração de informações geológicas e geocronológicas existentes e a incorporação de novos dados geocronológicos, pelos métodos U-Pb e Sm-Nd, obtidos na porção ocidental do Cráton Amazônico, permitiram a Santos et al. (2000 in Avelar 2002) propor a divisão do Cráton Amazônico em oito províncias principais, denominadas: Carajás-Imataca (3,10-2,53 Ga); Transamazonas (2,25-2,0 Ga); Tapajós-Parima (2,10-1,87 Ga); Amazônia Central (1,88-1,86 Ga); Rio Negro (1,86-1.52 Ga); Rondônia-Juruena (1,75-1,47 Ga); K'Mudku (~ 1,20 Ga) e Sunsás (1,33-0,99 Ga).

As províncias Carajás-Imataca, Transamazonas, Tapajós-Parima e Rondônia-Juruena foram, segundo essa proposta, originadas a partir de processos de arcos acrescionários, enquanto as províncias Amazônia Central, Rio Negro, K'Mudku e Sunsás foram geradas por reciclagem de crosta continental (Figura 3).

Em linhas gerais, o modelo proposto por Santos et al. (2000 in Avelar 2002) difere do modelo de Tassinari & Macambira (1999) pela definição de duas novas províncias no âmbito do Cráton Amazônico, que são as províncias Carajás-Imataca e K'Mudku, e pela redefinição das demais províncias de acordo com os novos dados geocronológicos disponíveis. O modelo limita os núcleos arqueanos às regiões de Carajás e de Imataca, enquanto os blocos arqueanos Iricoumé e Roraima de Tassinari & Macambira (1999) foram incluídos na Província Amazônia Central, de idade paleoproterozóica. O núcleo arqueano de Carajás foi estendido até a região sudoeste do Amapá. A extensão da Província Ventuari-Tapajós foi reduzida, enquanto que a Província Rio Negro-Juruena foi desmembrada em províncias Rio Negro e Rondônia-Juruena. As províncias Rondônia-San Ignácio e Sunsás foram agrupadas. A Província K'Mudku representa uma faixa de cisalhamento NE-SW que afeta as unidades geológicas das províncias Transamazonas, Amazônica Central e Tapajós-Parima. Datações na região localizada a norte de Carajás revelaram idades paleoproterozóicas, indicando que a inclusão do núcleo arqueano de Carajás até a porção sudoeste do Amapá não era consistente e a configuração da Província Transamazonas volta a ser semelhante àquela proposta por Tassinari et al. (2000).

Os autores Dall' Agnol et al. (2000 in Avelar 2002) discutem estes dois modelos para a evolução do Cráton Amazônico e apresentam uma proposta baseada naquelas de Tassinari & Macambira (1999) e de Santos et. al. (2000) integrando novos dados geológicos e geocronológicos, sobretudo da porção oriental do Cráton. De acordo com essa proposta, o domínio arqueano do Cráton se restringe ao Complexo Imataca e à Província de Carajás. As províncias Guiana Norte, Tapajós Parima, Amazônica Central e Faixa Guiana Central constituem um domínio paleoproterozóico, relacionadas à Orogênese Transamazônica, enquanto as províncias Rio Negro, Rondônia-Juruena e Sunsás são relacionados a um domínio mesoproterozóico. Neste trabalho são realçadas as similaridades entre a evolução paleoproterozóica do Cráton Amazônico e a do Cráton Oeste Africano. Segundo os autores, a evolução mesoproterozóica do Cráton Amazônico assemelha-se àquela do Escudo Laurentia-Báltica.

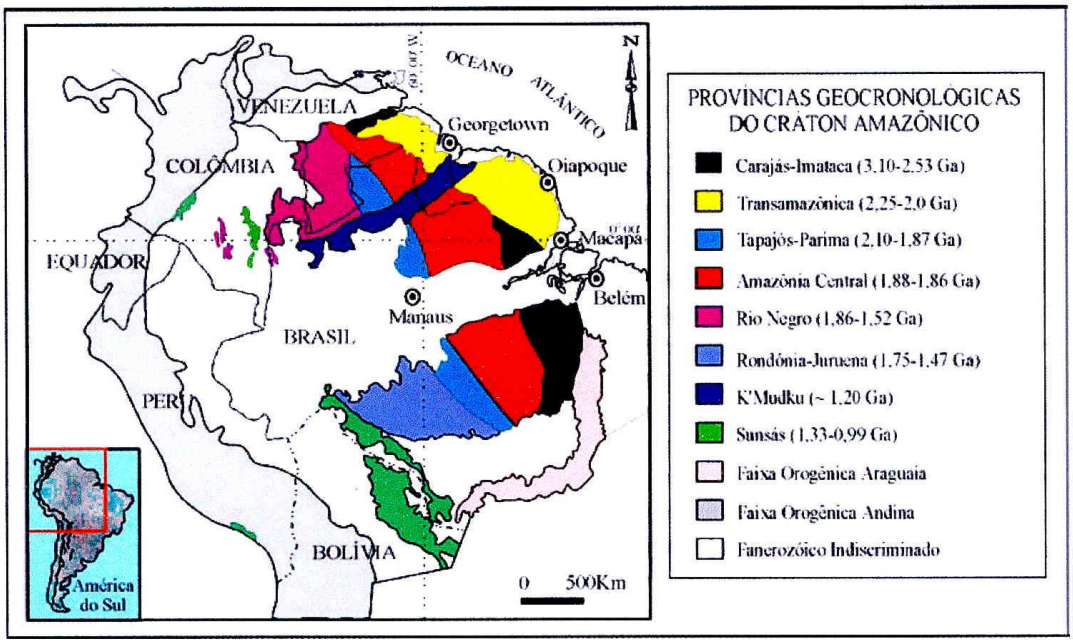


Figura 3: Províncias Geocronológicas do Cráton Amazônico (Santos et al. 2000)

As principais diferenças com o modelo de Tassinari & Macambira (1999) residem na redução área dos domínios Arqueanos, na individualização da Faixa Guiana Central e na redefinição dos limites entre a Província Carajás e a Província Guiana Norte.

As províncias geocronológicas definidas de acordo com os modelos de evolução geodinâmica propostos para o Cráton Amazônico, nos trabalhos de Tassinari & Macambira (1999), Santos et al. (2000) e Dall' Agnol et al. (2000), encontram-se na tabela 1.

Embora estas propostas tenham evoluído significativamente, as diferenças existentes entre elas indicam que muitos problemas ainda precisam ser esclarecidos. A questão dos limites entre as províncias arqueana e paleoproterozóica continua bastante polêmica, particularmente nas porções central e oriental do cráton, bem como o envolvimento de crosta continental arqueana nas províncias proterozóicas Carajás e Maroni-Itacaiúnas ou Transamazonas.

II.3 Província Transamazonas

A Província Transamazonas de Santos et al. (2000), compreende o estado do Amapá, e se estende até a norte de Carajás (Santos et al. 2003).

A Província Transamazonas constitui-se de cinco tipos básicos de unidades litoestratigráficas:

a) Complexo Guianense, que representa regiões desconhecidas

b) rochas de alto grau, arqueanas ou com importante herança arqueana

c) supracrustais de terreno granito-greenstone transamazônico, tipo Vila Nova

d) granitóides transamazônicos com idades entre 2206 e 2060 Ma, representando diversas fases de evolução orogênica transamazônica

e) granitóides pós-Transamazonas gerados em situação intraplaca no final do Paleoproterozóico

Estas unidades litoestratigráficas são comentadas com mais detalhe no item seguinte.

Tabela 1 - Principais províncias geocronológicas propostas para o Cráton Amazônico, a partir dos modelos de evolução geodinâmica de Tassinari & Macambira (1999), Dall'Agnol et al (2000) e Santos et al. (2000).

Tassinari & Macambira (1999)	**Santos et al. (2000)**	**Dall'Agnol et al. 2000**
Amazônia Central (> 2,3 Ga)	Carajás-Imataca* (3,10-2,53 Ga) Amazônia Central (1,88-1,70 Ga)	Carajás-Imataca (3,7-2,73 Ga) Amazônia Central (2,0-1,83 Ga)
Maroni-Itacaiúnas* (2,2-1,95 Ga)	Transamazonas (2,25-2,00 Ga)	Guiana Norte** (2,17-2,08 Ga) Faixa Guiana Central (< 2,0-1,5 Ga)
Ventuari-Tapajós (1,95-1,80 Ga)	Tapajós-Parima (2,0-1,87 Ga)	Tapajós-Parima (2,10-1,88 Ga)
Rio Negro-Juruena (1,8-1,55 Ga)	Rio Negro (1,86-1,52 Ga)	Rio Negro (1,86-1,5 Ga)
Rondônia-San Ignácio (1,5-1,3 Ga)	Rondônia-Juruena (1,75-1,47 Ga)	Rondônia-Juruena (1,5-1,3 Ga)
Sunsás (1,25-1,0 Ga)	Sunsás (1,20-1,99 Ga)	Sunsás (1,30-0,95 Ga)
	Faixa K'Mudku (1,25-1,10 Ga)	

* Incluindo a porção sudoeste do Amapá e a região de Bacajás

** Excluindo a região de Bacajás

II.4 Geologia regional

A região do depósito de ouro do Amapari está inserida na Província Geocronológica Transamazonas de Santos et al. (2000), ou Maroni-Itacaiúnas de Tassinari (2000).

A litoestratigrafia e a geologia deste capítulo baseiam-se na proposta de Faraco et al. (2004), onde o empilhamento das unidades geológicas apresenta boa consistência, pois estão suportadas, principalmente, por datações Pb-Pb e Sm-Nd e subordinadamente pelo método Rb-Sr (Figura 4). Compreende unidades arqueanas (meso e neoarqueana); proterozóicas (paleo e mesoproterozóica); do Mesozóico e Cenozóico.

O Mesoarqueano está representado pelo Complexo Tumucumaque, Complexo Guianense e Metatonalito Cupixi. O Complexo Tumucumaque constitui-se de ortognaisses tonalíticos a granodioríticos e, subordinadamente quartzo-dioritos e ortomigmatitos, com idade Sm-Nd em rocha total de 3010 ± 19 Ma. O Complexo Guianense compreende gnaisses e migmatitos, com idade Pb-Pb em zircão de 2865 ± 28 Ma a 2105 ± 16 Ma. O metatonalito Igarapé Água Fria apresenta composição tonalítica a granodiorítica, cuja datação pelo método Pb-Pb, em zircão, forneceu idade de 2349 ± 6 Ma (Avelar et al. 2001).

O Neoarqueano compreende os terrenos de médio a alto grau metamórfico, com idades Pb-Pb e Rb-Sr variando entre 2790 Ma ± 15 Ma a 2524 ± 3 Ma, e estão representados pelo Complexo Jari-Guaribas, com ortognaisse enderbítico a charnoenderbítico e que ocorre no norte do Pará-SW do Amapá; Complexo Baixo Mapari, com ortognaisse granítico da transição anfibolito-granulito; Granulitos Indiferenciados; Charnockito Cuatá, com álcali-feldspato granulito charnockítico, cordierita-álcali-feldspato granoblastito; Complexo Iratapuru, com quartzito, paragnaisse aluminoso, *BIF* e xisto quartzoso, de fácies anfibolito alto a granulito; e Ortognaisse Indiviso (ortognaisse TTG)

No Paleoproterozóico estão inseridas as seqüências metavulcanossedimentares do tipo *greenstone belt* (Grupo Vila Nova, Formações Igarapé Araújo e Serra das Coambas); Complexo Bacuri (2200 ± 13 Ma, Pimentel et al. 2002); os granitóides orogênicos representando diversas fases de evolução orogênica transamazônica e as unidades de alto grau metamórfico Cobra e Mutum. O Complexo Bacuri corresponde a um corpo máfico-ultramáfico, acamadado, e encerra um depósito de cromita da região do rio Vila Nova.

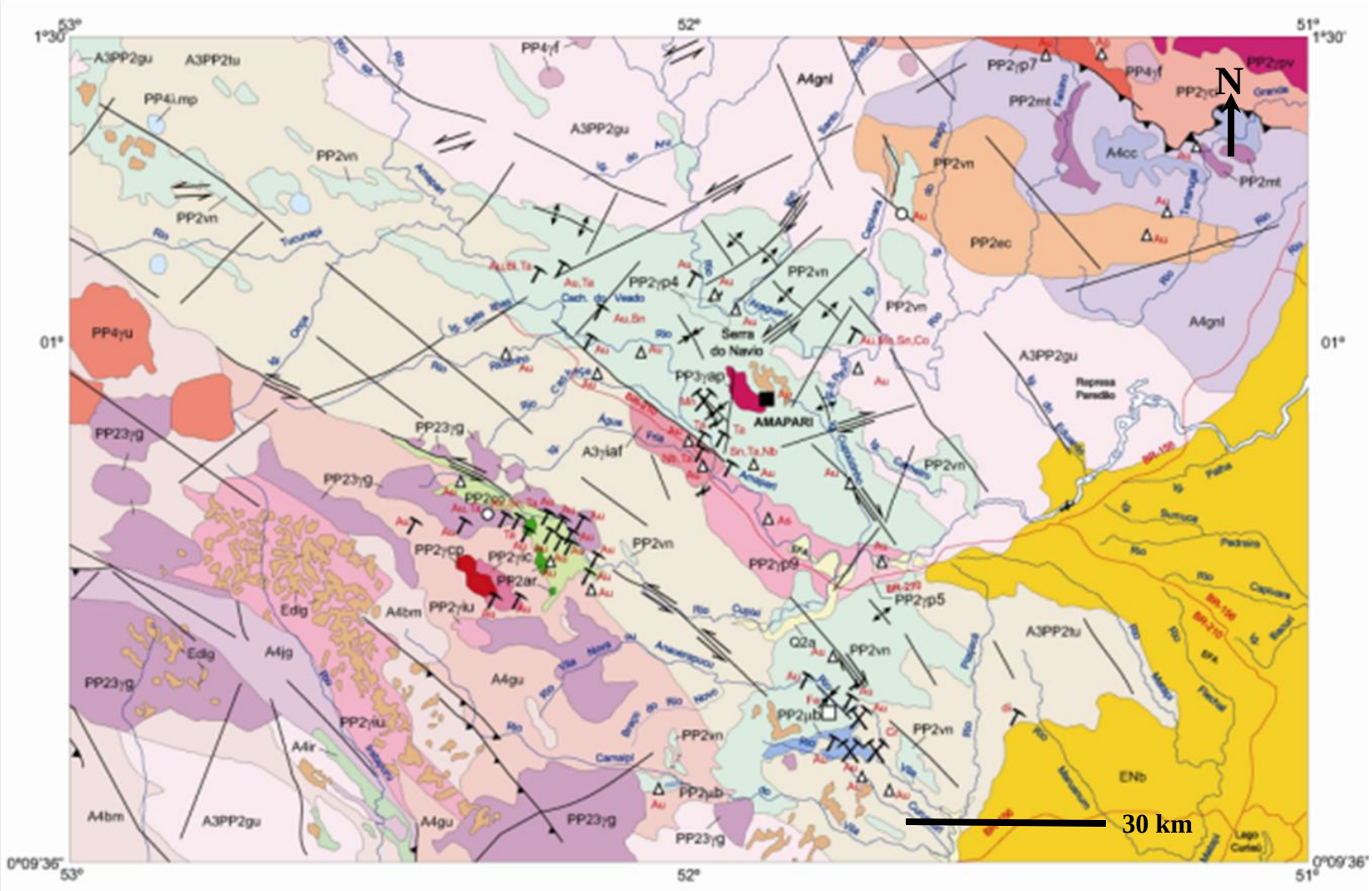
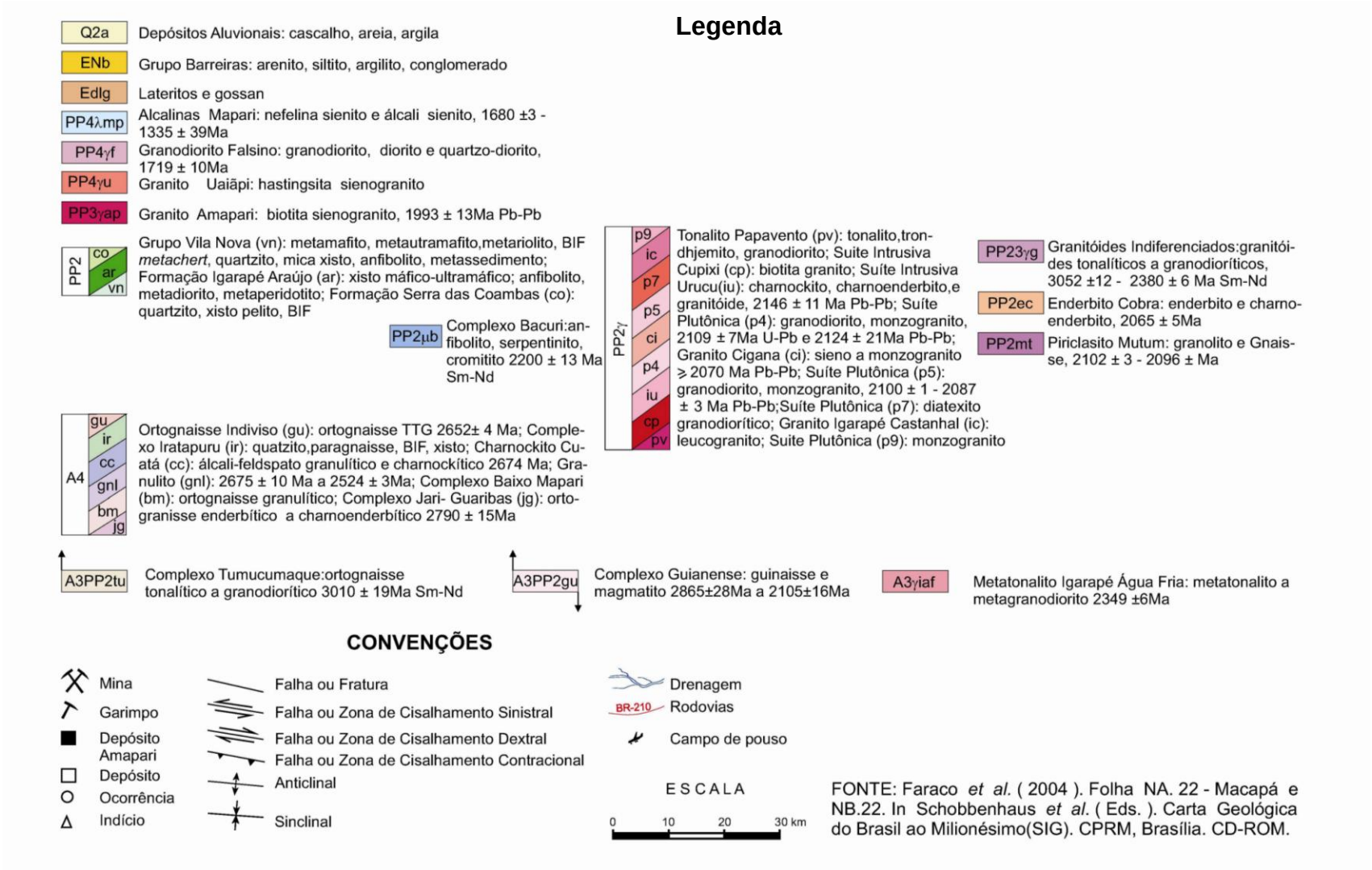


Figura 4: Mapa geológico da região central do Amapá. Fonte Faraco et al. (2004)



Legenda da Figura 4. Fonte Faraco et al. (2004).

A faixa do Grupo Vila Nova, que apresenta maior extensão e largura, engloba os depósitos de ouro do Amapari e manganês de Serra do Navio, onde ocorrem rochas metabásicas, e rochas metassedimentares químicas (metachert, *BIF* e rochas metacarbonáticas), e subordinadamente xisto pelítico e quartzito.

O Complexo Bacuri situa-se na região do rio Vila Nova e trata-se de complexo máfico-ultramáfico, acamadado, de idade Sm-Nd (2200 ± 13 Ma, Pimentel et al. 2002), que hospeda o depósito de cromita do Vila Nova.

Segundo Santos (2003), a região do Amapá experimentou quatro ciclos orogênicos e os granitóides mais antigos, que podem ser associados à primeira orogênese, entre 2060 a 2206 Ma, são tonalitos, trondhjemitos e granodioritos, tipo Papa Vento, suíte plutônica Cupixi e outras sem denominação específica. Granitóides similares composicionalmente e geneticamente também foram gerados durante a segunda orogênese, entre 2140 a 2120 Ma. Os granitóides da segunda orogênese estão representados pela Suíte Intrusiva Urucu (charnockito, charnoenderbito, granada charnoenderbito) e algumas suítes intrusivas granodioríticas e monzograníticas, sem denominação própria. A terceira orogênese está relacionada aos granitóides monzo e sienograníticos, de idades entre 2089 a 2093 Ma. Corresponde ao Granito Cigana (sieno a monzogranito), Granito Igarapé Castanhal (leucogranito com granada) e suítes plutônicas sem denominação específica (granodiorito, monzogranito e sienogranitos), (sieno e monzogranito a duas micas e granada-muscovita leucogranito).

Unidades de alto grau metamórfico, como o Piriclasito Mutum (hiperstênio granulito e gnaisse) com idade Pb-Pb 2096 ± 7 Ma e o Enderbito Cobra (enderbito e charnoenderbito) de idade Pb-Pb 2065 ± 5 Ma, também estão presentes.

O granito peraluminoso Amapari, cuja datação Pb-Pb, em rocha, total forneceu idade de 1993 ± 13 Ma, Pb-Pb em zircão 1980 ± 60 Ma e zircões herdados com idade mínima de 2,39 Ga (Borges et al. 2002), caracteriza um episódio magmático tardi-transamazônico.

O Neoproterozóico compreende os granitóides pós-tectônicos Falsino e Uaiãpi, representantes do magmatismo tipo A. O granodiorito Falsino (1719 Ma, Faraco et al. 2004) constitui-se de granodiorito, diorito e quartzo-diorito, enquanto o Granito Uaiãpi de idade Pb-Pb (1753 ± 3 Ma , Ricci et al. 2001 in Faraco 2004) está relacionado a hastingsita sienogranito.

Ainda no Neoproterozóico, ocorre a intrusiva alcalina Mapari, de idade Rb-Sr 1680 a 1130 Ma, que consiste em nefelina sienito e rocha álcali-sienito.

O Terciário está representado principalmente por lateritos que sustentam os platôs e muito subordinadamente observa-se ocorrência de gossan. Tem-se ainda, o Grupo Barreiras constituído por arenitos, siltitos e argilitos.

O Quaternário constitui-se de depósitos aluvionares (cascalho, areia e argila inconsolidados) e depósitos flúvio-marinhos (cascalho, areia e argila).

II.4.1 Estruturas

As unidades geológicas estão orientadas preferencialmente segundo a direção NW-SE e em diversos locais observam-se inflexões para NNW, retomando em seguida a direção geral NW-SE.

Diques básicos de direção preferencial N-S estão relacionados à distensão de direção E-W. Os de direção NW e NE são de idade mais antiga e associada a uma fase de distensão NE-SW e outra NW-SE.

CAPÍTULO III – GEOLOGIA LOCAL E O DEPÓSITO DE OURO DO AMAPARI

III.1 Litoestratigrafia

Na região do depósito de ouro do Amapari estão presentes rochas de idade arqueana, proterozóica, mesozóca e cenozóica (Figura 5).

O Arqueano está representado pelo metatonalito Água Fria, de composição tonalítica a granodiorítica, que ocorre na porção SW do mapa.

O Paleoproterozóico compreende a unidade metavulcanossedimentar do Grupo Vila Nova (Lima et al. 1974), granitóides tipo TTG (tonalito, trondhjemito, granodiorito) e suíte plutônica, sem denominação própria, constituída por monzogranito.

O Grupo Vila Nova constitui-se de rochas máficas, sedimentares químicas e clásticas, metamorfisadas na fácies anfibolito, e corpos máfico-ultramáficos acamadados (Horikava & Ferreira Filho 2003). A rocha máfica é representada por ortoanfibolitos, correlacionáveis ao Grupo Jornal de Scarpelli (1970), que ocorre como faixa alongada de direção NW-SE e está em contato com o metatonalito Água Fria e gnaisse granodiorítico da suíte plutônica, a ser descrito mais adiante. As rochas metassedimentares químicas compreendem: formações ferríferas bandadas (FFb), rochas metacarbonáticas e cálcio-silicáticas, enquanto paranfibolitos, biotita/muscovita-quartzo xistos (com ou sem granada) e sillimanita quartzitos representam as rochas metassedimentares clásticas. Na região de Serra do Navio, níveis ricos em rodocrosita e gonditos se intercalam em biotita xistos e grafita xistos e constituem o protominério de manganês da mina de Serra do Navio. Doravante, as rochas metacarbonáticas são referidas simplesmente como rocha carbonática, sem o prefixo meta, por praticidade de escrita. Os corpos máfico-ultramáficos, denominados Canga e Bicicleta, são intrusivos nos xistos e interpretados como condutos/*sills* do vulcanismo máfico-ultramáfico do Grupo Vila Nova e consistem de metaperidotitos, metapiroxenitos e metagabros (Horikava & Ferreira Filho 2003). Os mesmos ocorrem sob espessa cobertura laterítica, maciça, em média com 10 m de espessura, identificados através de sondagem diamantada (Figura 5).

Os granitóides indiferenciados, constituídos por tonalitos, trondhjemitos e granodioritos, afloram no entorno e próximo do depósito de ouro do Amapari. A suíte plutônica monzogranítica localiza-se no contato SE do metatonalito Água Fria. Até o momento, não se tem dados para se

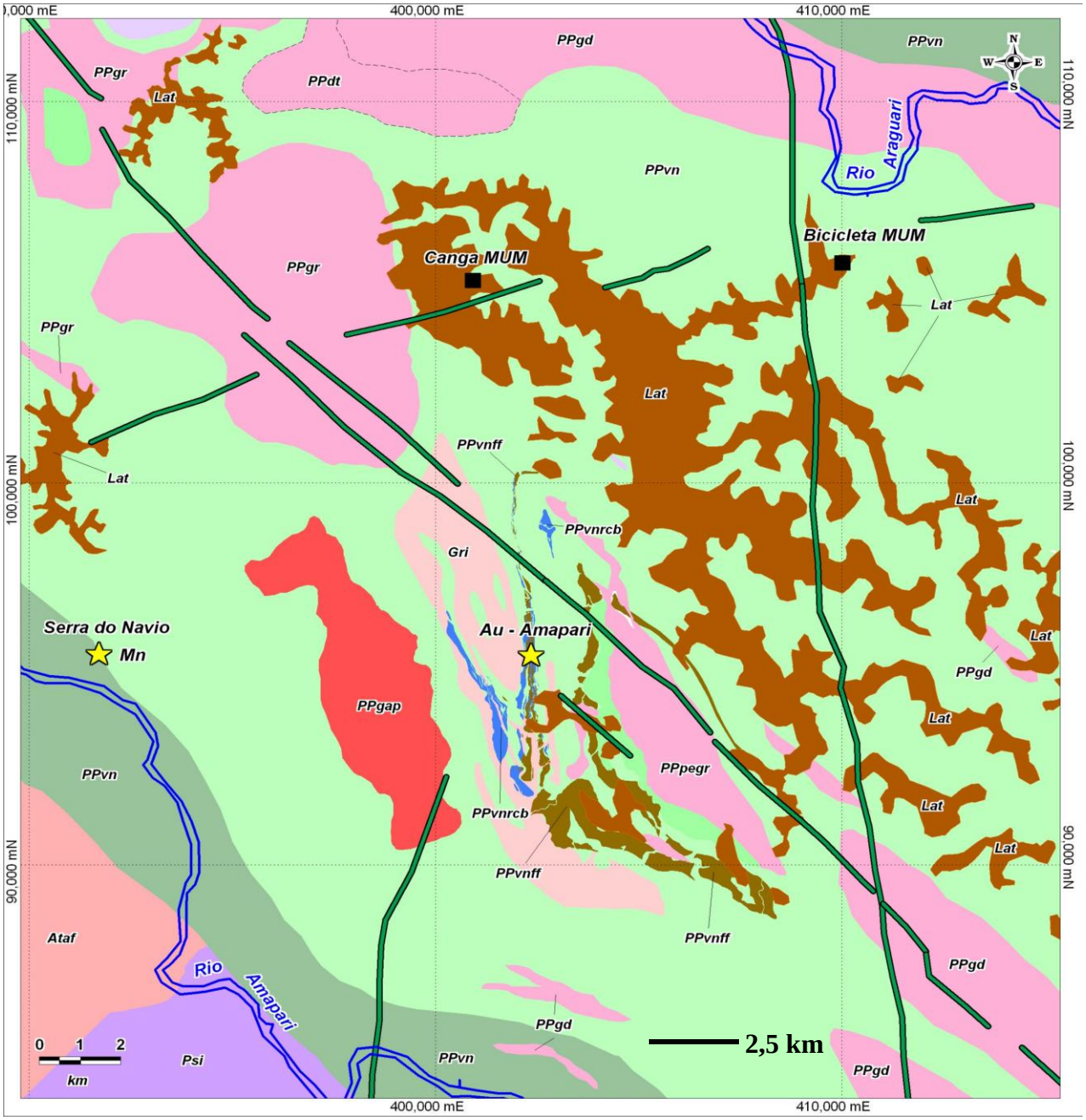
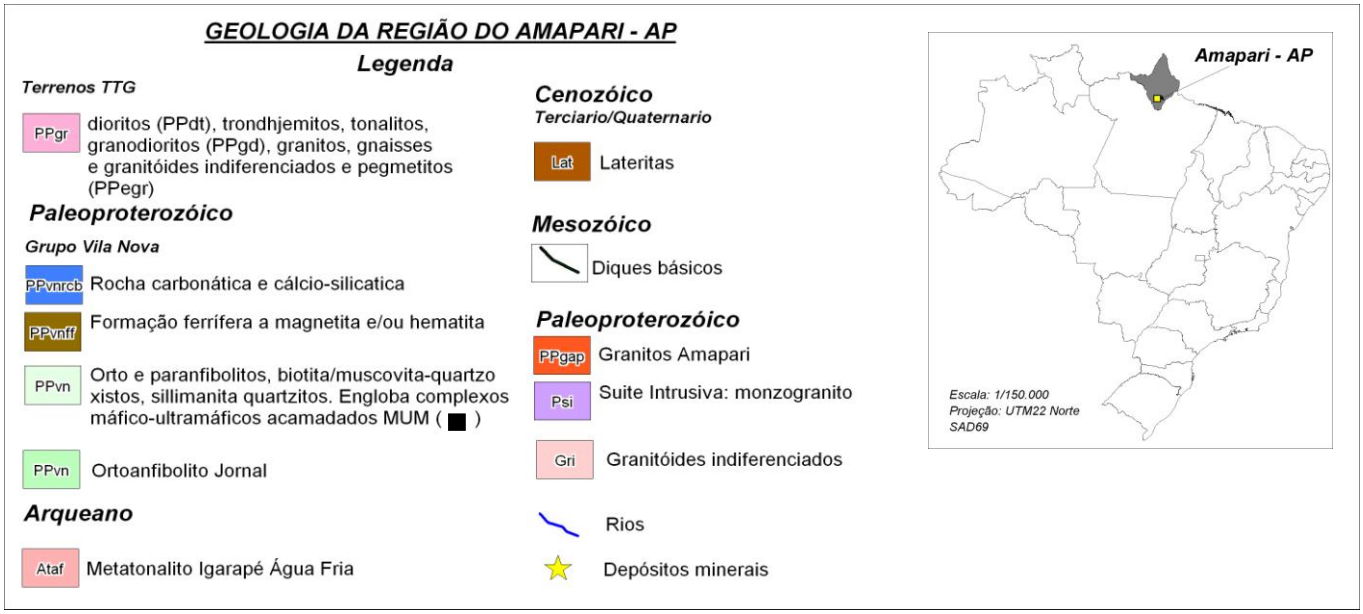


Figura 5: Geologia da Região do Amapari, modificado de Horikava & Ferrreira Filho (2003).



Legenda da Figura 5. Modificado de Horikava & Ferrreira Filho (2003).

correlacionar os granitóides indiferenciados com os granitóides TTG ou com a suíte plutônica monzogranítica.

O granito peraluminoso Amapari, de idade 1993 ± 60 Ma (Borges et al. 2002), intrude rochas do Grupo Vila Nova e representa um evento magmático tardi-transamazônico, com condições de formação entre 620 – 630ºC e 2,3 – 3,8 kb (Melo 2001).

Do Mesozóico tem-se os diques básicos, magnéticos, constituídos por diabásios e gabros, de direção NW-SE e N-S, muitas vezes na forma de enxames.

O Cenozóico é representado pelas coberturas lateríticas terciárias que sustentam o extenso platô da Serra da Canga localizado a N e E do depósito de ouro do Amapari. Já o Quaternário é representado pelos sedimentos inconsolidados que entulham os rios e igarapés da região.

III.2 Metamorfismo

Scarpelli (1970) propõe três eventos metamórficos para a região, sendo o primeiro dinâmico de fácies anfibolito, o segundo termal de fácies hornblenda hornfels e o terceiro dinâmico (1,77 – 1,71 Ga K-Ar), também de fácies anfibolito. O pico do metamorfismo em Serra do Navio é de 700 ± 40ºC e 5,5 1 kb (Belo et al. 1978 in Faraco 2003). Estudando as rochas do alvo Urucum, do depósito do Amapari, Melo (2001) interpreta dois eventos metamórficos. O primeiro registro é de metamorfismo regional, representado pelos xistos como produto de metamorfismo sobre rochas sedimentares e pelo tamanho dos grãos de quartzo em FFb; o segundo é termal da fácies piroxênio hornfels (paragênese calcita + periclásio).

III.3 Estruturas

As rochas do Grupo Vila Nova estão orientadas segundo a direção NW-SE, com inflexões para N-S, retomando novamente a direção NW-SE.

A foliação geral é NW-SE, com mergulhos para NE, indicando vergência tectônica para SW.

III.4 Geologia do depósito de ouro do Amapari

A geologia do depósito de ouro do Amapari compreende basicamente biotita xistos, FFb e rochas carbonáticas do Grupo Vila Nova, além de granitóides indiferenciados. As litotologias do Grupo Vila Nova estão intrudidas pelo granito Amapari, injeções pegmatóides e por diques de

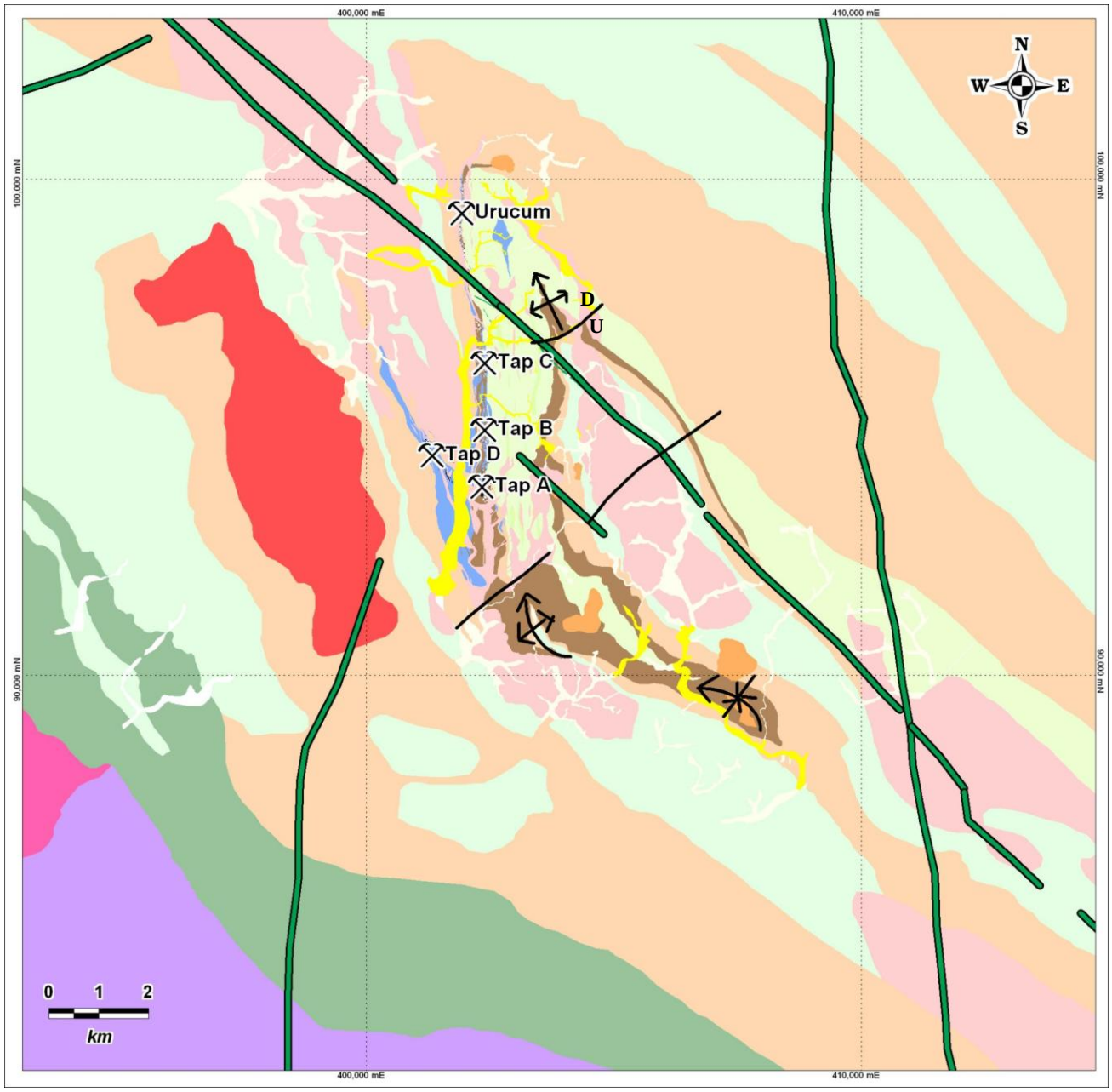
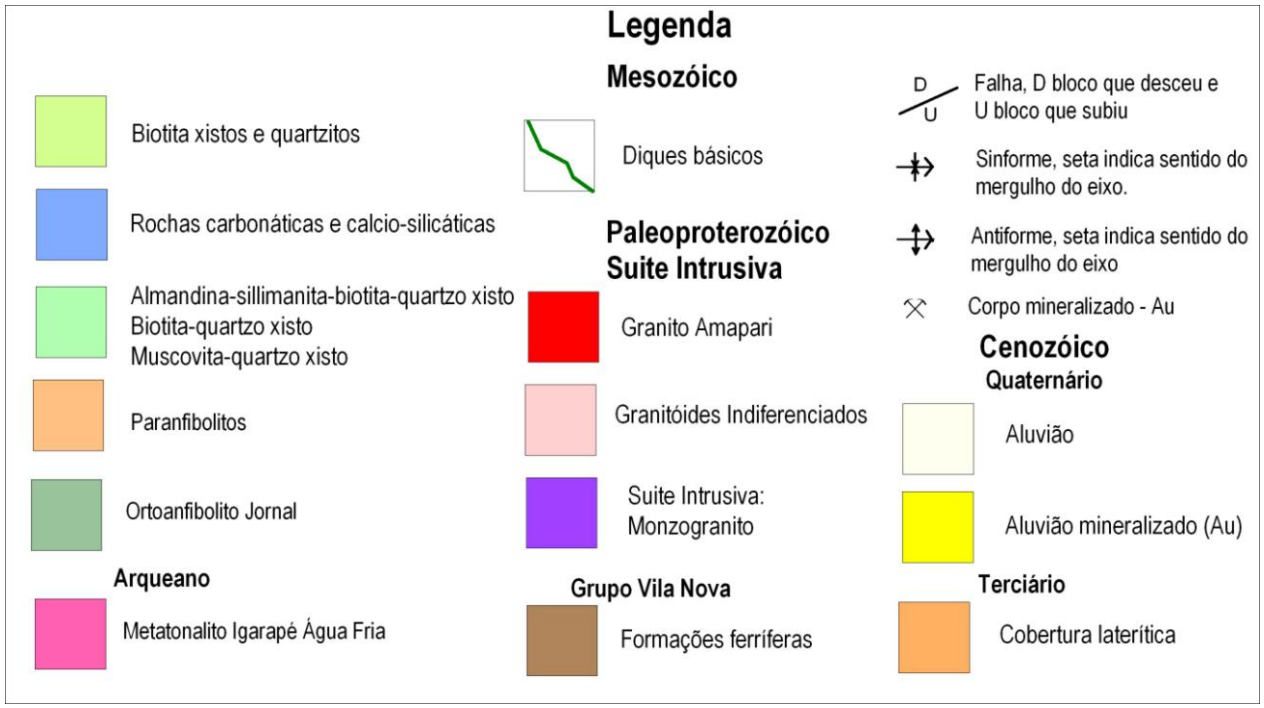


Figura 6: Amapari - Mapa de localização dos alvos / cavas dos corpos mineralizados Urucum, Taperebá (Tap) A, B, C e D.



Legenda da Figura 6: Mapa de localização dos alvos / cavas dos corpos mineralizados Urucum, Taperebá (Tap) A, B, C e D.

diabásio e gabros. O granito Amapari é peraluminoso, leucocrático e as injeções pegmatóides são de granulação grossa, contituídas por quartzo, plagioclásio, feldspato alcalino e placas de muscovita de até 5 centímetros; essas injeções devem estar relacionadas ao granito Amapari (Figura 6). Os diques básicos também estão presentes na área do depósito do Amapari.

Os corpos de minério aurífero deste depósito compreendem, de norte para sul, os corpos Urucum, Taperebá C (Tap C), Taperebá B (Tap B) e Taperebá A (Tap A) e um corpo deslocado para oeste denominado Taperebá D (Tap D) (Figura 6).

Num perfil de oeste para leste, a partir desse granito e passando pelos corpos Taperebá D e A, ocorrem paranfibolitos → biotita xistos → granitóides indiferenciados → rochas carbonáticas mineralizadas em ouro (corpo Taperebá D e cálcio-silicáticas) → granitóides indiferenciados → (rochas carbonáticas + FFb mineralizadas em Au, corpo Taperebá A) → biotita xistos.

As FFb ocorrem como faixas alongadas, infletindo para SE, por dobramento

III.4.1 Geologia estrutural

As estruturas mapeadas, na área, são as mesodobras formando antiformes e sinformes, de extensão quilométrica e eixo de dobra mergulhando para NNW (Figura 6).

As foliações apresentam atitude NW com mergulhos de 40° a 60° para NE.

Fraturas/falhas de direção N60E são observadas em afloramentos de FFb.

Na zona da charneira de dobra antiformal, da parte Norte da malha, foi mapeada uma falha normal, sendo que o bloco norte desceu, em relação ao bloco sul.

III.4.2 Mineralização aurífera

A mineralização aurífera se distribui ao longo de aproximadamente 7 km de extensão (Figura 6), segundo duas direções preferenciais, uma NNW-SSE, com os corpos denominados, de norte para sul, Urucum, Taperebá C, B e A, enquanto o corpo Taperebá D apresenta direção NW.

Borges (1999 in Dardene & Schobenhaus 2002) sugere modelo de mineralização do tipo hidrotermal, estruturalmente controlado por zona de cisalhamento transcorrente sinistral, de direção NNW-SSE, e do tipo metassomatismo de contato ou *skarn*. Os maiores teores de ouro estão associados à FFb, ocorrendo também em rochas carbonatadas (mármores calcíticos), anfibolitos e rochas cálcio-silicáticas. Segundo o mesmo autor, a maior concentração de ouro está associada à zona de cisalhamento.

Foto 1: Mina do Amapari - cava entre Taperebá A e B – granito cortando FFb mineralizado em Au.

Foto 2: Mina do Amapari - cava entre Taperebá A e B – afloramento de FFB mineralizado em Au.

Melo (2001), Melo et al. (2001) e Melo & Villas (2001) estudam o corpo Urucum e concluem que a mineralização aurífera primária é disseminada e associada à pirrotita e pirita, esta última presente apenas nos alvos Taperebá. Calcopirita, pentlandita, esfalerita, galena e arsenopirita ocorrem em quantidades bem subordinadas. As maiores concentrações de sulfetos ocorrem onde as rochas estão mais deformadas. Fluidos aquo-carbônicos devem ter transportado o ouro na forma de $(AuHS)_2^-$ e o estilo de mineralização é do tipo orogênico (Melo 2001).

Faraco (2003) realiza estudos petrográficos e minerográficos nos corpos Taperebá A, B e D. Segundo a autora, no corpo Taperebá A, predomina a FFb do tipo silicato e mais raramente o tipo óxido. A primeira encerra maior conteúdo de sulfetos, na forma disseminada. Os principais sulfetos são a pirrotita e pirita, com quantidades subordinadas de calcopirita. No corpo Taperebá B, a FFb tipo óxido é mais abundante que a FFb tipo silicato; esta última contém zona escarnitizada com intercrescimentos de galena, esfalerita e pirrotita, além de pirrotita disseminada ou preenchendo planos de foliação. A FFb do corpo Taperebá D é orientada segundo NW-SE, onde há predomínio de rocha carbonática que está cortada por leucosienogranito.

Ainda segundo a autora, a mineralização aurífera está hospedada em escarnito, associada à pirrotita, na forma disseminada. Pirita, calcopirita, galena e esfalerita são minerais de ocorrência subordinada. A mineralização hospeda-se preferencialmente em escarnitos ou zonas escarnitizadas. As formações ferríferas tipo silicato têm maior quantidade de sulfetos. De acordo com a maneira de ocorrência, a mineralização do alvo Taperebá é correlacionada com o depósito de Nevoria, no Cráton Yilgarn (Austrália).

CAPÍTULO IV - ESTUDOS PETROGRÁFICOS

Os estudos petrográficos realizados em testemunhos de sondagem diamantada dos alvos denominados, de norte para sul, Urucum, Taperebá C, B, A e D, Martelo e Vila do Meio (Figura 7), objetivam caracterizar as rochas hospedeiras/encaixantes da mineralização aurífera do depósito do Amapari, constituídas por formações ferríferas bandadas (FFb), rochas carbonáticas e cálcio-silicáticas. Os alvos Martelo e Vila do Meio não constituem corpos mineralizados em ouro, porém a empresa MMX desenvolve projeto de pesquisa para ferro, tendo bloqueado recurso neste bem mineral. Os corpos auríferos Urucum, Taperebá (Tap) C, B e A se distribuem ao longo de 7 km (Figura 7), apresentam direção N-S, enquanto o Taperebá D, situado a oeste do corpo Taperebá A, apresenta direção NW-SE.

Este estudo compreende a descrição de 61 lâminas delgadas polidas, de amostras de 16 furos de sondagem diamantada, sendo 14 do alvo Urucum, 5 do Taperebá C, 11 do Taperebá B, 12 do Taperebá A, 8 do Taperebá D, 2 do Martelo e 9 de Vila do Meio (Figura 7 e Anexo 1). A localização das respectivas amostras encontra-se nas seções de sondagem (Anexos 2 a 13).

As amostras são identificadas pelo número do furo de sondagem, seguida do número da amostra (FD 795-5485). A barra de escala mostrada em Fotomicrografias corresponde a 800 μm (2,5X); 400 μm (5X); 200 μm (10X); 100 μm (20X) e 40 μm (50X).

O resumo da classificação das rochas e seus respectivos alvos, bem como o resumo dos furos encontram-se no quadro abaixo:

Alvo	**Tipo**	**Quant.**
Abreviaturas: formação ferrifera bandada -FFb		
Urucum	FFb	8
	Rocha carbonática	5
	Cálcio-silicática	1
Taperebá C	FFb	3
	Rocha carbonática	2
Taperebá B	FFb	2
	Rocha carbonática	8
	Cálcio-silicática	1
Taperebá A	FFb	8
	Rocha carbonática	4
Taperebá D	Rocha carbonática	8
Martelo	FFb	2
Vila do Meio	FFb	4
	Rocha carbonática	4
	Cálcio-silicática	1

Resumo dos Furos - Amapari-AP								
Alvo	**Furo FD**	**UTM_X**	**UTM_Y**	**Zona**	**Elevação (m)**	**Inclinação (^{o})**	**Rumo (Az)**	**Extensão (m)**
	795	401992.740	99249.380	22N	256.17	63	255	180,05
Urucum	**815**	402111.000	100037.920	22N	235.02	76	253	590,45
	829	402176.000	98411.580	22N	136.89	75	256	332.55
Taperebá C	**162**	402204.690	96559.100	22N	145.59	60	90	270.45
	703	402325.080	94873.910	22N	231.11	75	270	227.95
Taperebá B	**192**	402395.158	94709.375	22N	210.84	63	90	254.95
	659	401957.860	93764.060	22N	115.39	63	90	139.25
Taperebá A	**708**	401909.010	93764.070	22N	112.85	63	90	115.00
	196	401806.452	94229.75	22N	91.96	60	270	320.65
Taperebá D	**640**	401166.900	94801.940	22N	113.62	70	270	128.55
	669	401105.710	94785.000	22N	115.39	86	270	80.80
Martelo	**76**	405056.171	91004.221	22N	205.83	90	0	24.00
	13	406403.656	8957.032	22N	126.79	70	45	52.05
Vila do Meio	**65**	407374.039	89168.446	22N	175,96	70	45	70.55
	FVD 002	407413.310	89053.080	22N	141.96	60	45	142.75
	FVD 007	407370.000	89273.00	22N	207,89	60	0	240.85

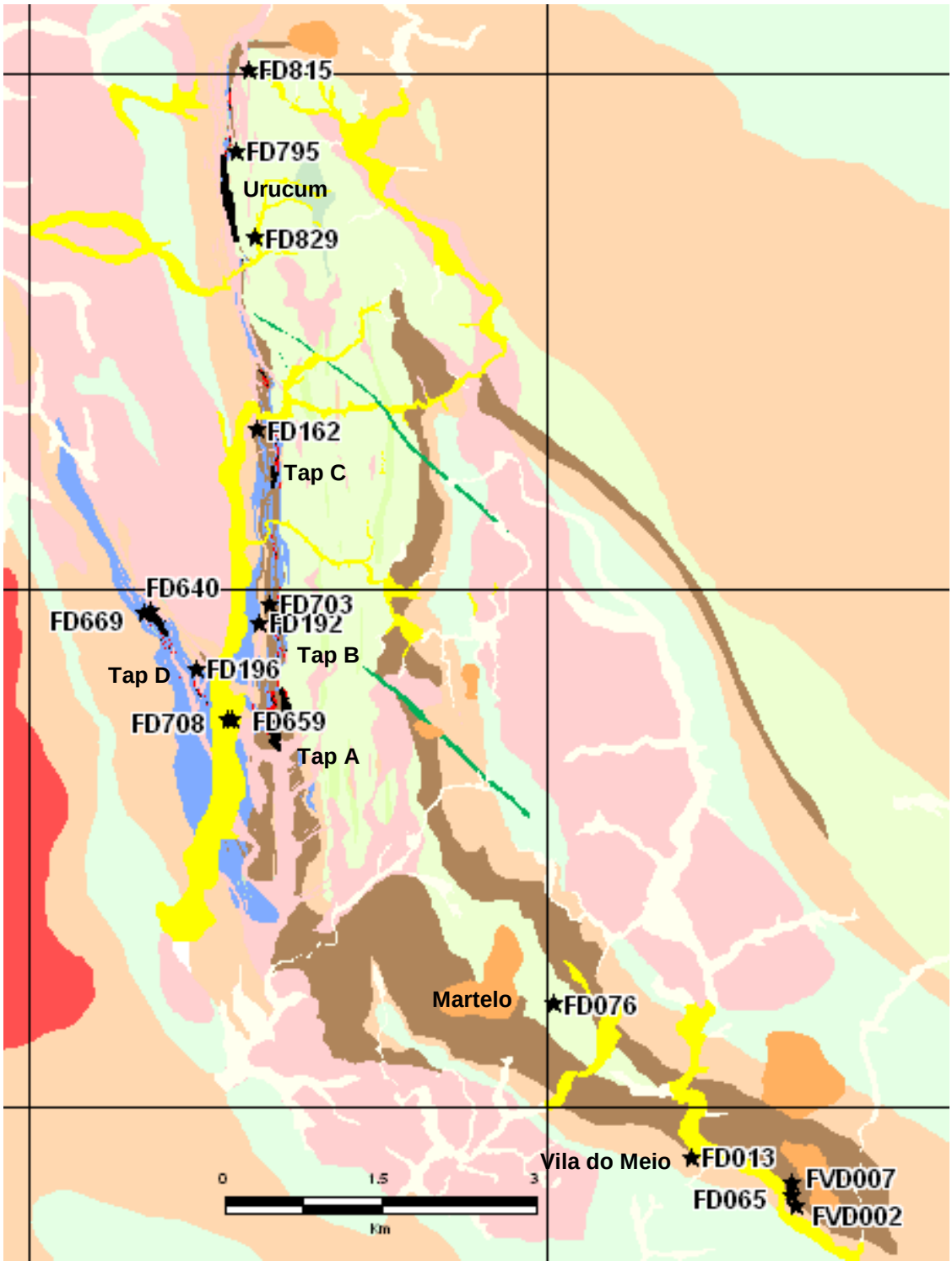


Figura 7: Amapari – localização dos furos de sondagem diamantada e dos corpos mineralizados, Urucum, Tap A, B, C e D e os alvos de Fe Martelo e Vila do Meio.

Para a classificação das FFb utilizam-se os critérios de Trendal (1983) pelos quais a formação ferrífera é definida como um sedimento químico, finamente bandada ou laminada, cuja principal característica química é o conteúdo anomalamente alto em ferro, usualmente, mas não necessariamente contendo camadas de chert.

As rochas carbonáticas e as cálcio-silicáticas são classificadas segundo critérios de Rosen et al. (2007) - *International Union of Geological Sciences (IUGS) - Subcomission on the systematics of metamorphic rocks (SCMR) (2007),* onde as rochas metacarbonáticas são classificadas de acordo com a composição modal dos minerais de Ca e Mg, nos limites de 95%, 50% e 5% na rocha (Figura 8). O limite de 95% separa os mármores puros dos mármores impuros, enquanto o limite de 50% dos minerais separa os mármores impuros das rochas carbonato silicáticas, e o de 5% separa as rochas carbonato silicáticas das rochas cálcio-silicáticas e rochas silicáticas com carbonato. Termos estruturais mais específicos podem ser adicionados, tais como: xistos, gnaisses e granofels. Na falta de uma definição precisa dos minerais cálcio-silicáticos, os autores propõem uma lista com os seguintes minerais: granada cálcica da série ugrandita, plagioclásio cálcico, escapolita cálcica, diopsídio-hedenbergita, minerais do grupo do epidoto, hidrogrossulária, johannsenita, frenita, pumpelita, titanita, vesuvianita e wollastonita. Williams et al. (1982) consideram que as rochas cálcio-silicáticas e escarnitos constituem-se quase totalmente de silicatos de cálcio. Os *hornfels* são derivados de calcários argilosos enquanto o termo “escarnito” é reservado para rochas petrograficamente similares, derivadas de calcários e dolomitos quase puros e nas quais tenha havido introdução de grande quantidade de Si, Al, Fe e Mg. O modo de origem para *hornfels* e escarnito pode ser distinguido com base nas evidências de campo. O escarnito está restrito à zona de junção entre mármores e rochas plutônicas, enquanto os *hornfels* gradam em direção às rochas menos alteradas, de composição química similar. Com o aumento na quantidade de calcita, os escarnitos gradam para mármores cálcio-silicáticos.

Em termos econômicos, Meinert (1989) indica que os depósitos do tipo escarnito resultam da interação hidrotermal de magma silicoso, quente, com rochas sedimentares frias. Distribuem-se por todo o mundo, e são fonte importante para vários metais básicos e metais preciosos. Os depósitos escarníticos podem ser divididos em cinco tipos de grupos maiores que são: de ouro, ferro, cobre, cobre pórfiro e chumbo-zinco. Ainda, segundo o mesmo autor, a maior reserva e produção de ouro ocorre em escarnitos relacionados a intrusões mineralizadas em cobre pórfiro, portanto fazem parte deste tipo de depósito e apresenta grande volume e baixo teor em ouro. A

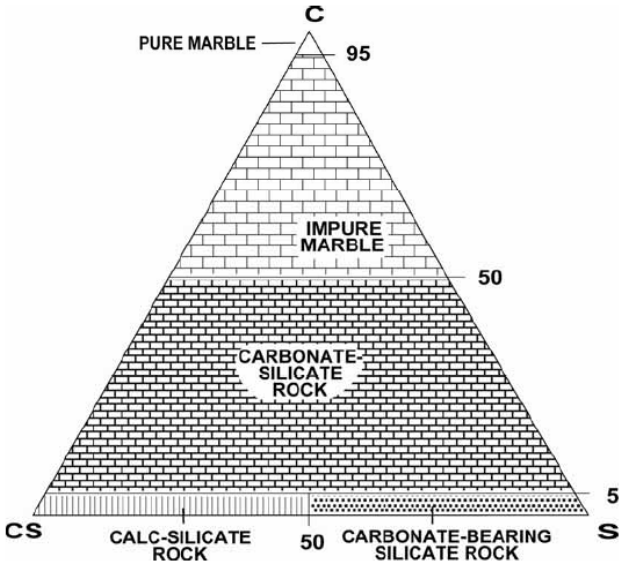


Figura 8: Gráfico rocha carbonática x cálcio-silicática x rocha silicática com carbonato, de acordo com a composição modal dos minerais de Ca e Mg. Fonte SCMR (2007).

maioria dos escarnitos, de alto teor em ouro, contém pequena quantidade de cobre, chumbo e zinco, e é diferente daqueles escarnitos de metais básico. Contêm ainda maior quantidade dos elementos arsênio, bismuto e telúrio, os quais não são abundantes em outros tipos de escarnitos. Os corpos plutônicos associados com escarnitos mais ricos em ouro estão associados a dioritos reduzidos e plutons granodioríticos. Os principais minerais cálcio-silicáticos são a granada e o piroxênio. As granadas tendem a ser grandita mais aluminosa, em relação aos outros tipos de escarnito. O piroxênio varia do diopsídio para a hedenbergita. Outros minerais importantes de escarnitos são: feldspato potássico, biotita, idocrásio, frenita, apatita, esfeno e escapolita. A arsenopirita e a pirrotita são os sulfetos mais importantes, com quantidades subordinadas de marcassita e pirita. Grande quantidade de minerais de bismuto e teluretos tem sido relatados em alguns depósitos. Meinert (1989) aponta que, em escala de depósito, o zoneamento mineral é comum. A granada é tipicamente proximal, em relação ao corpo ígneo, enquanto o piroxênio é mais abundante e mais rico em ferro, na zona distal. Escarnitos de zona proximal geralmente são mais ricos em cobre, com Au, As, Bi e Te concentrados na zona distal (zona do piroxênio). Alguns depósitos exibem halo de Pb-Zn-Ag, além do limite da escarnitização. A maioria dos escarnitos de cobre é enorme, mas com teores baixos de ouro; os de maiores teores estão associados a zonas de alto conteúdo em sulfetos e intensa alteração retrógrada, especialmente em zona de silicificação de baixa temperatura. O epidoto, anfibólio e a clorita são os principais

produtos de alteração retrógrada de granadas e piroxênios, e também ocorrem em zonas de substituição de escarnitos de sulfetos maciço. As maiores médias de Ag e Au ocorrem em escarnitos ricos em sulfetos e abundante alteração retrógrada.

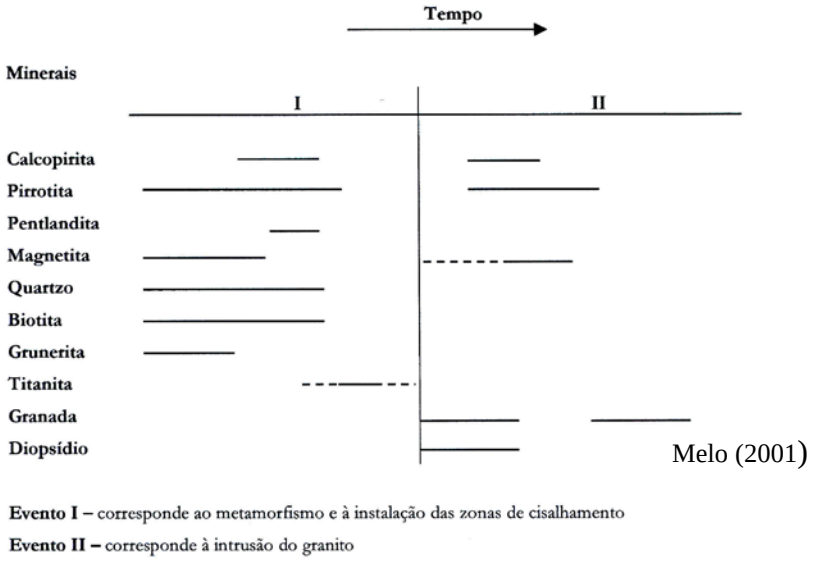
IV.1 Revisão de estudos petrográficos do depósito de ouro do Amapari-AP

Poucos são os trabalhos que tratam das características petrográficas das hospedeiras/encaixantes da mineralização aurífera do Amapari.

Em relatório final de pesquisa da UGM, entregue ao DNPM (inédito), **Borges** (1999) foi quem apresentou pela primeira vez a classificação das rochas da região do depósito de ouro do Amapari, baseado em estudos petrográficos de lâminas delgadas, de amostras de rocha e testemunhos de sondagem, análises mineralógicas por difração de raio X e observações de rochas aflorantes no campo. Nesse relatório a coluna litoestratigráfica da área foi estabelecida, adotando-se a nomenclatura de fácies de James (1954) para as formações ferríferas bandadas (formação ferrífera fácies óxido e óxido-silicático).

Melo (2001), Melo et al. (2001) , Melo & Villas (2001) e Melo et al. (2003) realizam estudos petrográficos, de química mineral e microtermométricos no Campo Urucum. Parte desses textos são reproduzidos a seguir. Em seu estudo petrográfico, Melo (2001) descreve as rochas do Grupo Vila Nova (Suíte Metamórfica Vila Nova nesse trabalho) de idade paleoproterozóica, constituído pelas rochas metassedimentares clásticas e químicas, cortadas por álcali-feldspato granito. A rochas metassedimentares clásticas são representadas por quartzo-plagioclásio-biotita xistos, hornblenda-biotita-plagioclásio-quartzo xistos e granada-cordierita-turmalina-plagioclásio-biotita-quartzo xistos. As rochas metassedimentares químicas compreendem as formações ferríferas (tipos óxido e óxido silicático) e escarnitos. A formação ferrífera tipo óxido, macroscopicamente, mostra alternância de bandas brancas de quartzo e bandas escuras de magnetita. O tipo óxido-silicático, macroscopicamente, revela bandas cinza claras alternadas com bandas esverdeadas, que nem sempre são regulares. Microscopicamente apresentam intercalações de bandas quartzosas com algum conteúdo de opacos, mica branca e raramente anfibólio, enquanto as bandas esverdeadas constituem-se de grunerita e magnetita. Os escarnitos são isotrópicos, de textura granular grossa e estão representados por dois domínios, sendo um rico em diopsídio em que sobressaem porfiroblastos de granada, opacos e flogopita, enquanto o segundo domínio é predominantemente carbonático (calcita) com alguma flogopita. Os autores realizaram análises por microssonda eletrônica em cristais de anfibólio, piroxênio e granada. O anfibólio é caracterizado como da série cummingtomita-grunerita; o piroxênio e a granada, do escarnito, correspondem a diopsídio, enquanto a granada é classificada como uma solução sólida rica nos componentes almandina (36,60-38,51%), espessartita (25,95-27,40%) e grossularita (29,31-30,65%), com quantidades menores de piropo (3,80-4,06%) e pobres em andradita (0,81-2,65%) e uvarovita (<0,16%), refletindo maiores proporções de FeO + MnO + MgO sobre CaO. O álcali-feldspato granito (granito Amapari), cinza claro de granulação grossa, constitui-se de plagioclásio (5 a 40%), álcali-feldspato (12 a 40%) e muscovita (3 a 30%) e os minerais varietais granada e silimanita. Tem como acessórios a turmalina, o zircão e a apatita. A presença de silimanita é interpretada como uma fase reliquiar de protólito metassedimentar. A partir de dados geoquímicos (inéditos), os autores consideram que seja

possível enquadrar o granito Amapari nos tipos CCG (granitóides colisionais continentais) de Maniar & Piccoli (1989) ou MPG (granitóides peraluminosos contendo muscovita) de Barbarin (1999). Análise geocronológica por Melo et al. (2001), em palheta de muscovita pelo método K-Ar, forneceu idade média de 1826 ± 35 Ma. Este granito é responsável pelo metamorfismo termal sobre os metassedimentos do depósito de ouro do Amapari, tendo alcançado condições da fácies honblenda hornfels e, localmente, piroxênio hornfels. A mineralização aurífera primária, tipo disseminada, está associada preferencialmente às formações ferríferas dos tipos óxido e óxido-silicático. O minério sulfetado é representado por pirrotita e pirita, sendo a primeira mais abundante no Campo Urucum e a segunda apenas no Campo Taperebá. Dentre os sulfetos, a pirrotita é a mais abundante e, em quantidades bem subordinadas, ocorrem calcopirita, pentlandita, esfalerita, galena e arsenopirita. Baseado em seus estudos, abaixo, é apresentada a provável sequência de formação das fases minerais:



Melo (2001)

Segundo os mesmos autores, fluidos aquo-carbônicos metamórficos devem fazer parte do primeiro evento hidrotermal, relacionado à instalação das zonas de cisalhamento, e foram provavelmente gerados por reações de descarbonização e desidratação de rochas sedimentares durante o metamorfismo regional a temperaturas entre <420 e 250ºC. O ouro teria sido transportado por esses fluidos, provavelmente na forma de complexos de enxofre do tipo $Au(Hs)_2^-$ ou similares, em ambiente de baixa sulfidização. O alojamento do corpo granítico teria provocado novo aporte de fluidos aquosos no sistema hidrotermal (soluções magmáticas) que interagiram com as rochas encaixantes da mineralização. Os fluidos do sistema $NaCl+CaCl_2+H_2O$ (± $MgCl_2$, $FeCl_2$) de Th_t mais altas, de maior salinidade e as mais altas densidades tiveram maior interação com as rochas encaixantes, das quais o Ca foi derivado. A mineralização é considerado do tipo ouro orogênico.

Faraco et al. (2003) realizam estudos petrográficos e minerográficos dos corpos Taperebá A, B e D, hospedados no *greenstone belt* paleoproterozóico (2,26 Ga; Mc Reath & Faraco 1997) – Grupo Vila Nova (Lima et al. 1974) ou Grupo Jornal e Serra do Navio (Scarpelli 1970), em zona de cisalhamento dúctil-rúptil (Melo et al. 2001). Segundo Faraco et al. (2003), no campo Taperebá A predominam quartzo-biotita xistos, hornblenda-biotita-quarzo xistos e BIF tipo silicato. As FFb tipo óxido são subordinadas. Todo o pacote é atravessado por

leucosienogranito, com rocha carbonática na zona de contato. As BIF tipo silicato são anisotrópicas, com alternância de bandas milimétricas a centimétricas quartzosas brancas e bandas marrons de silicatos de ferro. Possuem textura granoblástica a granonematoblástica média, às vezes deformadas e milonitizadas, constituídas por quartzo, tremolita, grunerita, granada e opacos em diferentes proporções. As BIF tipo óxido são anisotrópicas, com alternância de bandas de quarzo e opacos, textura granoblástica média, não raro deformadas e milonitizadas. As BIF tipo silicato são as que contêm maiores quantidades de sulfetos disseminados, ou como vênulas transversais, ou subconcordantes ao bandamento; correspondem a pirrotita, em cristais subédricos e anédricos isolados, associado à pirita ou intercrescida à calcopirita. As BIF tipo silicato e óxido contêm zonas enriquecidas em diopsídio e/ou quarzo, geralmente associados a opacos (óxidos e/ou sulfetos). O corpo Taperebá B contêm as mesmas rochas do Taperebá A e também rocha carbonática contendo esfalerita e galena intercrescidas à pirrotita. A BIF tipo óxido é predominante em relação ao tipo silicato. Essas litologias estão intrudidas por leucosienogranito de textura granular grossa a muito grossa, essencialmente constituído por microclínio, quartzo, plagioclásio, muscovita e granada. É freqüente a presença de pequenos prismas de turmalina verde. Silimanita, apatita e zircão ocorrem em quantidades acessórias.

Ainda segundo Faraco et al. (2003), o corpo Taperebá D é orientado segundo NW-SE onde predominam rochas carbonáticas com metamáficas subordinadas, atravessadas por leucosienogranito com as mesmas caracterísiticas petrográficas daquelas dos corpos Taperebá A e B. No corpo Taperebá D, ocorrem escarnitos isotrópicos, de granulação fina a média, às vezes grossa, constituídos predominantemente por carbonato, com cordierita, diopsídio, granada, flogopita, opacos e sericita em quantidades variadas. O carbonato é subidioblástico e límpido. A cordierita é subidioblástica a xenoblástica, constituindo cristais isolados ou intercrescida a fenoblastos de granada que atingem até 1,5 cm x 0,5 mm. O diopsídio aparece como fenoblastos ou cristais menores, misturados aos carbonatos. Essa associação mineralógica sugere ação termoquímica do leucosienogranito nos metassedimentos carbonáticos. Existem escarnitos anisotrópicos constituídos por bandas de carbonatos de granulação fina, granada, cordierita e actinolita, intercaladas a bandas de granada. Escarnitos anisotrópicos, deformados também estão presentes e apresentam textura fenoblástica grossa, essencialmente constituídos por diopsídio, além de tremolita, plagioclásio, granada, quartzo, opacos e epidoto. O diopsídio ocorre como fenoblastos fraturados, com fraturas preenchidas por opacos e alterado para zoisita e anfibólio. Esses escarnitos contêm microbandas de pirrotita ou na forma disseminada, às vezes intercrescida a filmes de calcopirita. A pirrotita também preenche os planos de foliação ou as microfraturas do diopsídio. As metamáficas são hornblenda-hornfels, que representam o produto do metamorfismo termal, quando atravessadas pelo leucosienogranito. São isotrópicos, de textura fenoblástica grossa, em que fenoblastos de hornblenda mostram textura tipo peneira, com segregação de opacos, misturados a plagioclásio. Os autores chamam atenção para um biotita sienogranito que corta o corpo Taperebá A. É anisotrópico, de textura inequigranular hipidiomórfica fina a média, configurada por grãos maiores de K-feldspato e quartzo, misturados a porções quartzo feldspáticas mais finas. Os feldspatos são parcialmente sericitizados, com alguns grãos bordejados ou incluindo pequenas palhetas de muscovita tardia. A biotita ocorre como lamelas contornando feldspatos. Cristais automórficos de epidoto revelam sua natureza magmática. É diferente química, textural e composicionalmente dos leucogranitos intrusivos nos corpos Taperebá B e D; este leucogranito é responsável pela

geração de escarnitos na zona de contato com as rochas carbonáticas e cálcio-silicáticas e na transformação das metamáficas em hornblenda-hornfels. Os mesmos autores correlacionam o depósito do Amapari com o depósito de Nevoria, hospedado em greenstone de fácies anfibolito entre dois batólitos graníticos, em que corpos de minério aurífero são confinados em BIFs contendo escarnitos (Mueller 1997).

IV.2 Estudos petrográficos – presente Trabalho

As rochas hospedeiras/encaixantes da mineralização aurífera do depósito de ouro do Amapari compreendem 3 litologias principais, constituídas por formações ferríferas bandadas (FFb), rochas carbonáticas (RC) e cálcio-silicáticas. Uma das características das FFb e rochas carbonáticas é a presença de ouro associado à pirrotita e, bem menos freqüentemente, à pirita. Esta última ocorre no alvo Taperebá (Melo 2001). As abreviaturas utilizadas neste capítulo constam nas tabelas de cada tipo litológico e no Anexo 1.

IV.2.1 Formações ferríferas

As FFb apresentam características texturais macroscópicas e mineralógicas que permitem serem visualmente diferenciadas. Desta forma, foi possível caracterizar 4 conjuntos litológicos: **FFb 1** – tem o diopsído (di) e a magnetita (mt) como minerais principais; **FFb 2** – constituídos pelos minerais grunerita (gru) + mt, gru + di + mt; di + hornblenda (hbl) ± gru ± po; hbl + gru ± po; **FFb 3** – a gru + di + hm ± mt, são os principais minerais e **FFb 4** – a hm é o principal mineral opaco.

Várias amostras apresentam conteúdo de pirrotita e menos frequentemente de pirita. Normalmente, as amostras contendo ouro estão associadas à pirrotita, sendo que às vezes a pirita ocorre junto à pirrotita. No conjunto 2 existem quatro amostras mineralizadas em ouro, sendo três com valores acima de 5 ppm de Au (Tabela 2). De acordo com as variadas diferenças mineralógicas e texturais descritas, há certa correlação dos domínios litológicos com os respectivos alvos, conforme pode ser observado na Tabela 2. Deve-se ressaltar que em seis amostras de FFb ocorrem granada e/ou vesuvianita, ou clinohumita (Tabela 2) que são minerais típicos de metamorfismo de contato (Deer et al. 1976, Williams et al. 1982, Kerr 1965). A presença destes minerais em FFb sugere a possibilidade dessas FFb representarem possíveis pretéritas formações ferríferas contendo carbonato.

FFb 1 - Tem o di + mt como os principais minerais e ocorre predominantemente no alvo Taperebá A (Figura 9). Nesse conjunto não se observa mineralização de ouro. Macroscopicamen

Abreviaturas: di – diopsídio, gru – grunerita, mt – magnetita, hbl – hornblenda, hm – hematita, po – pirrotita.

Tabela 2: Formação ferrífera – Principais Minerais da Formação Ferrífera do Amapari.

Abreviaturas: formação ferrífera - FFb, diopsídio - di, grunerita - gru, hornblenda - hbl, hematita - hm, serpentina - serp, talco - tc, biotita - bi, clorita magnesiana - mgcl, flogopita - flo, pirrotita - po, pirita - py e magnetita - mt.

FFb	Alvo	Furo	Amostra	Litologia
Principais minerais: di+mt				
			23463	Di-hm-gru-mt FFb
1	**Taperebá A**	**FD 708**	23486	Di-mt FFb
			23490	Di-mt FFb
			23531	Di-mt FFb
Principais minerais: gru+mt, gru+di+mt, di+hbl+gru; hbl+gru.				
			57438	Gru-po-hbl FFb
			57438 A[A]	Di-po-hbl FFb
		795	57446[A]	Po-hbl-di FFb
			57489	Po-gru-hbl FFb
2	**Urucum**		57485	Di-mt-hbl FFb
			69464[B]	Mt-hbl-di FFb
		815	69469	Gru-po-di-hbl-mt FFb
			69500[A]	di-gru-po-hbl FFb
	Taperebá C	**FD 162**	102	Gru-hbl-mt FFb
			137	Mt-gru FFb

FFb	Alvo	Furo	Amostra	Litologia
	Taperebá C	**FD 162**	177	Mt-gru FFb
	Taperebá B	**FD 192**	169	Di-mt-gru FFb
			180	Gru-di FFb
2			23451	Gru-mt FFb
	Taperebá A	**FD 708**	23497	Gru-mt-di FFb
			23504[C]	Gr-gru-py-mt FFb
Principais minerais:gru+di+hm±mt				
		FD 13	6	Gru-epi-di-hm FFb
3	**Vila do Meio**		8[D]	Hm-gru-di FFb
		FD 65	1	Hm-Gru-di FFb
			4	Gru-di-mt FFb
Principal mineral: hm ± di				
	Taperebá A	**FD 708**	23516	Di-hm FFb
4	**Martelo**	**FD 76**	9	Hm FFb
			10	Hm FFb

A = vesuvianita, B = granada, C = granada + vesuvianita, D = clinohumita

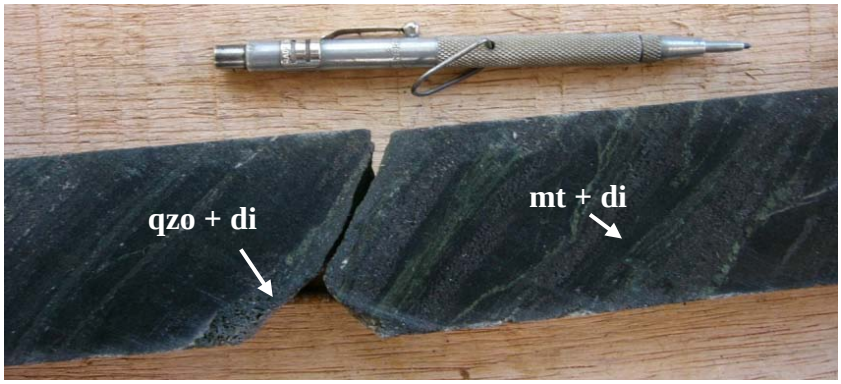
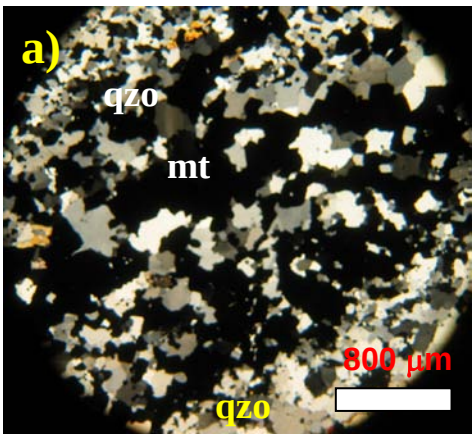
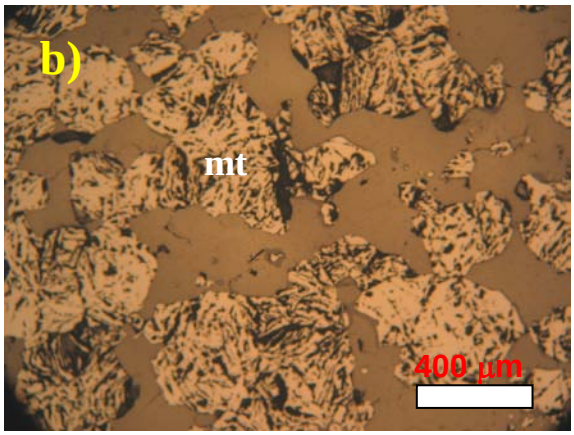


Figura 9: Taperebá A, FD 708-23486, di-mt FFb, com alternância de bandas de qzo + di e bandas de mt + di.

te é uma rocha cinza-esverdeada, granulação fina a média, fortemente magnética, bandada, com alternância de bandas brancas e pretas, centimétricas a subcentimétricas. A banda branca é de quartzo, contendo algum diopsídio verde claro, e a banda escura apresenta massas milimétricas de magnetita englobando cristais prismáticos, subidioblásticos de diopsídio verde. Às vezes o bandamento está parcialmente destruído. Microscopicamente revela textura granoblástica, com bandamento definido por bandas ricas em quartzo e bandas de quartzo com magnetita. Nas quartzosas a magnetita é de granulação fina. Nas bandas ricas em magnetita, esta é idiomórfica a hipidiomórfica, de granulação grossa, contendo cristais de diopsídio, como na amostra FD 708-23486 (Fotomicrografias 1 a e b).





Fotomicrografia 1: Alvo Taperebá A, FD 708-23486, di-mt FFb. a) banda de qzo grosso e banda de mt, lente 2,5 X, nicóis cruzados, luz transmitida. b) agregados de mt idiomórficos a hipidiomórficos, lente 5 X, luz refletida.

<u>FFb 2</u> - Constituído pelos minerais gru + mt, gru + di + mt; di + hbl + gru e hbl + gru, que ocorrem nos alvos Urucum, Taperebá C, B, A e Vila do Meio. Neste conjunto existem quatro amostras com ouro, representados pelas amostras FD 795-57438 e 57489, FD 815-69500,

Abreviaturas: di – diopsídio, gru – grunerita, mt – magnetita, hbl – hornblenda, qzo - quartzo.

respectivamente com 8,49, 1,35, e 12,20 ppm de Au do alvo Urucum e FD 708-23504 com 5,35 ppm de Au do alvo Taperebá A. No geral, macroscopicamente são rochas de granulação fina a média, em geral fortemente magnéticas, apresentando bandamento paralelo, com alternância de bandas escuras, centimétricas a subcentimétricas, de magnetita (± alterada a hematita) e bandas brancas de quartzo englobando estreitas bandas verde claro contendo acículas milimétricas de grunerita, e porfiroblastos subcentimétricos de diopsídio subidioblástico, verde claro. As bandas verde claro podem também englobar só o diopsídio ou diopsído + hornblenda, porém a hornblenda não é muito perceptível nos testemunhos de sondagem. Às vezes o bandamento está parcialmente destruído e a magnetita é substituída por pirrotita ou pirita (Figuras 10 a e b). Microscopicamente, tem textura granoblástica, destacando-se bandas de quartzo com magnetita, bandas de grunerita com magnetita e bandas de grunerita com diopsídio e magnetita. Na amostra FD 192-169 (Fotomicrografias 2 a e b), o quartzo é xenomórfico de granulação média, com extinção ondulante e, normalmente, maior que 0,2 mm. A magnetita é de granulação fina, localmente envolta pela pirrotita. A pirrotita ocorre também em filetes entre os grãos de magnetita ou preenchendo as fraturas da magnetita.

A amostra com 5,35 ppm de Au do furo FD 708-23504, do alvo Taperebá A, classificada como granada-grunerita-pirita-magnetita FFb, macroscopicamente é cinza, granoblástica, de granulação média, fortemente magnética, constituída por quartzo contendo bandas irregulares, douradas de pirita e magnetita (Figura 10 b). Microscopicamente tem textura granonematoblástica, foliação incipiente marcada por prismas alongados de grunerita, paralelas ao bandamento (Fotomicrografias 3 a e b). O bandamento é marcado por níveis de pirita e magnetita de granulação grossa, alternados com níveis quartzosos. A magnetita hipidiomórfica a xenomórfica, eventualmente em filetes, ocorre preenchendo fraturas ou entre os minerais de ganga. A pirita é idiomórfica, envolve a magnetita e apresenta cristais esqueletais digerindo agregados de magnetita. Os níveis quartzosos compreendem quarzo xenomórfico, poligonal, de granulação média, entremeados por grunerita, granada e magnetita de granulação fina. A granada, às vezes, ocorre alongada segundo a foliação, apresenta uma débil birrefringência e várias faces do cristal, bem definidas (Fotomicrografia 4), sugestivas de se tratar da série grossulária-andradita, por ser semelhante com a grossulária-andradita de Fujikaramari – Japão, estudada por Akizuki (1984) (Fotomicrografia 5).

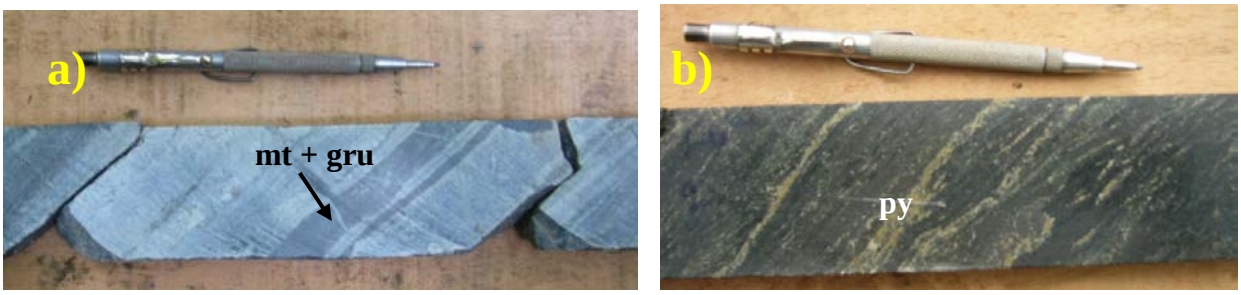
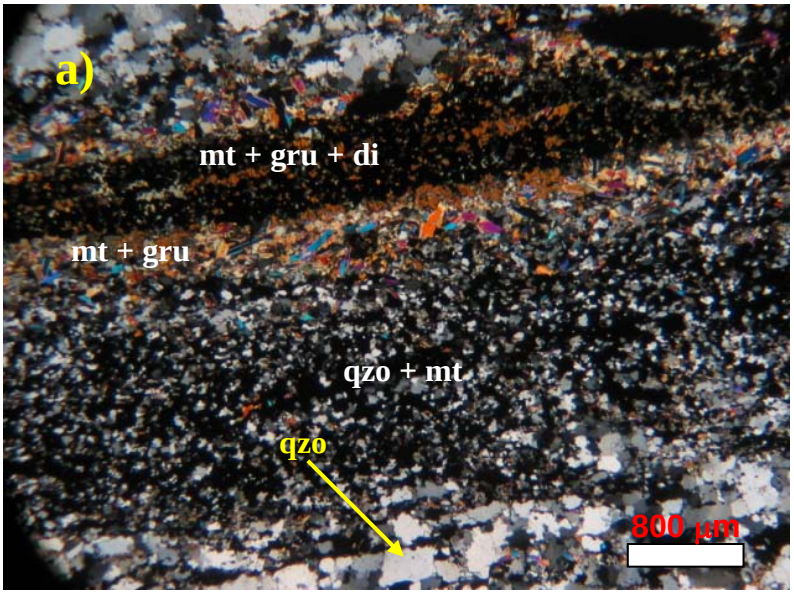
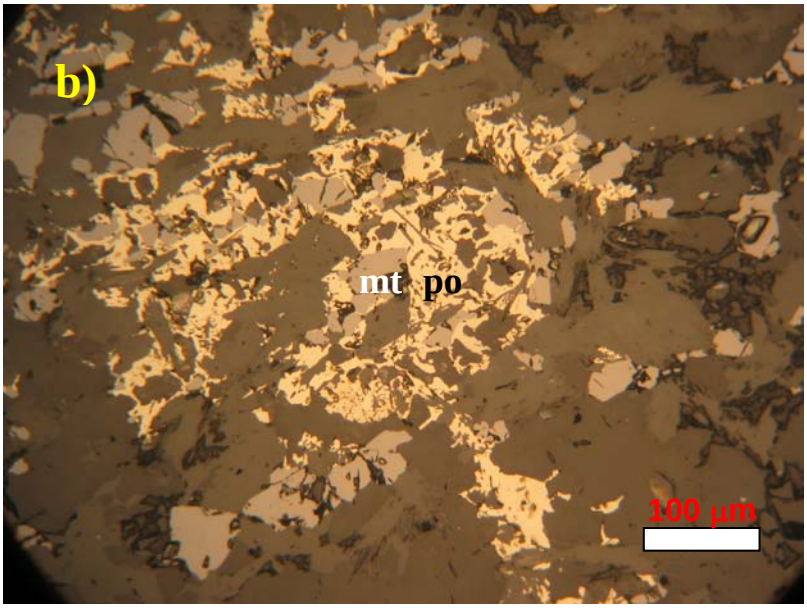


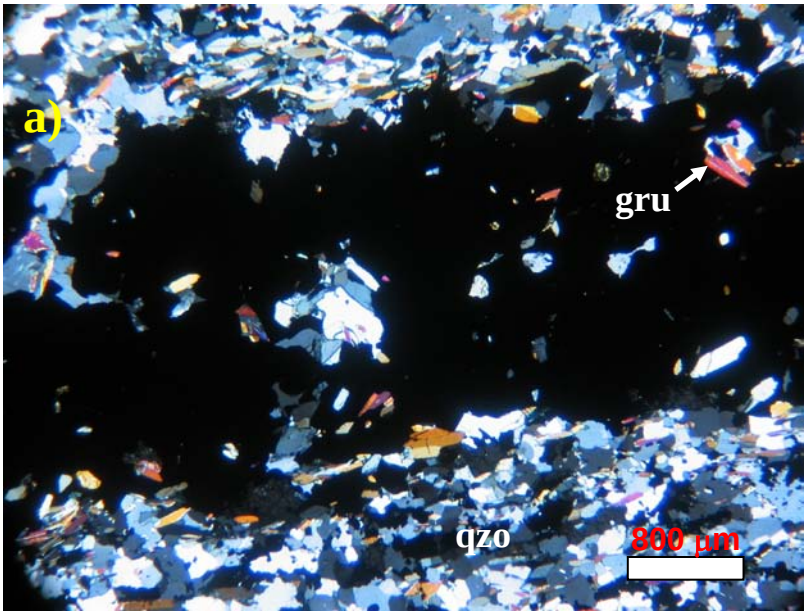
Figura 10: a) Alvo Taperebá B, FD 192-169, di-mt-gru FFb, com bandas de qzo branco e bandas de mt + gru. b) Alvo Taperebá A, FD 708-23504, gr-gru-py-mt FFb, com bandas e disseminações de pirita (py).



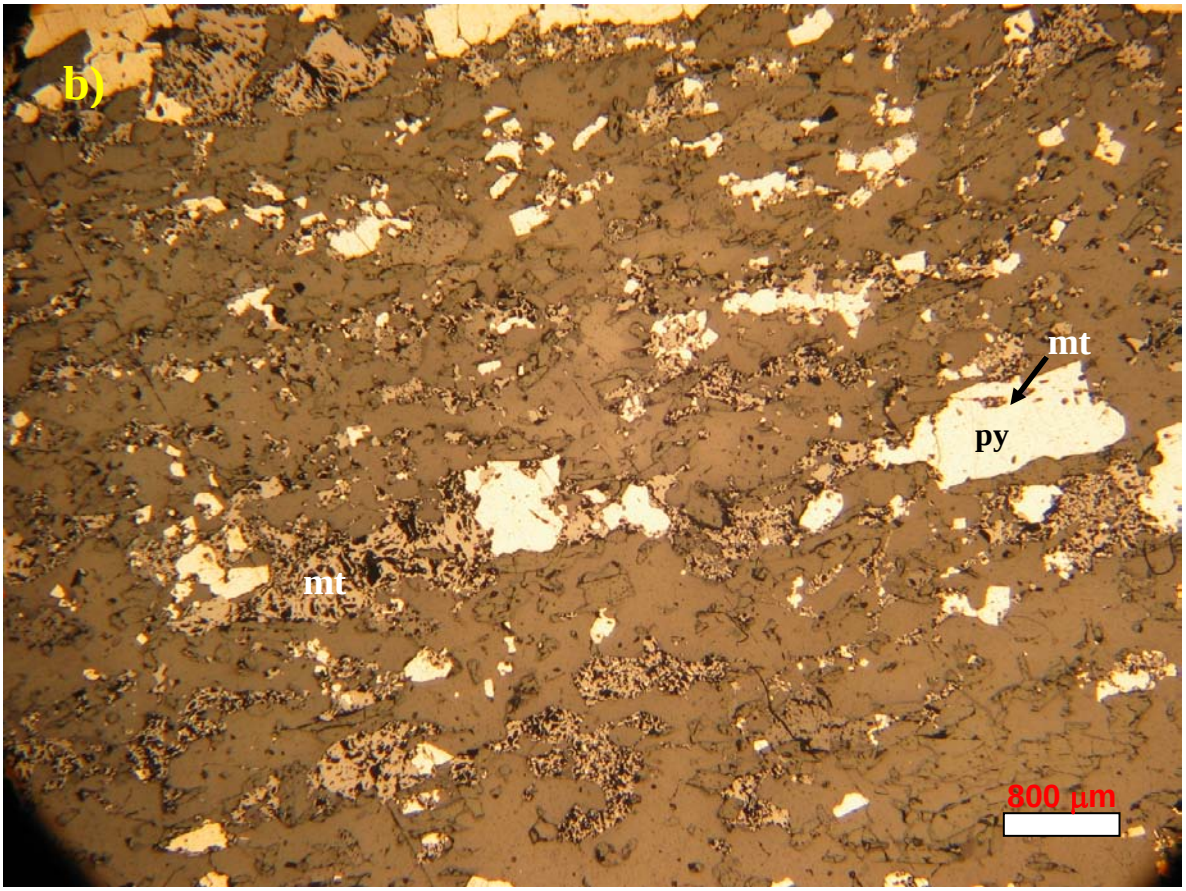
Fotomicrografia 2: Alvo Taperebá B, FD 192-169, di-mt-gru FFb, bandado. a) bandas de: qzo, mt + qzo, mt + gru e, mt + gru + di, lente 2,5 X, nicóis cruzados, luz transmitida. b) pirrotita (po), envolvendo magnetita, lente 20 X, luz refletida.



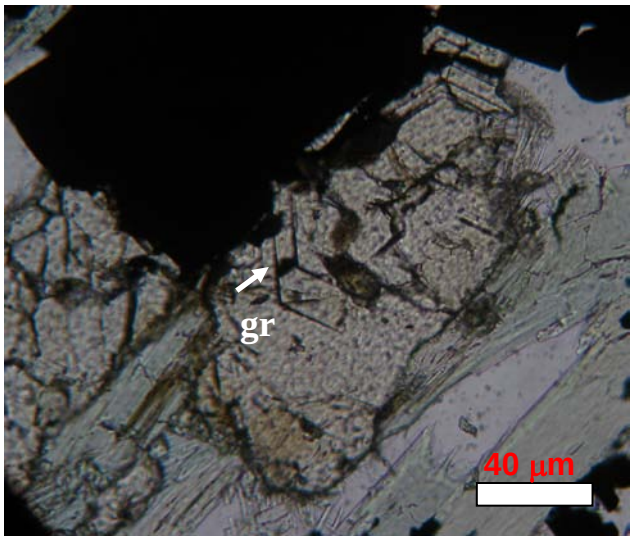
Abreviaturas: di – diopsídio, gru – grunerita, mt – magnetita, hbl – hornblenda, qzo - quartzo.



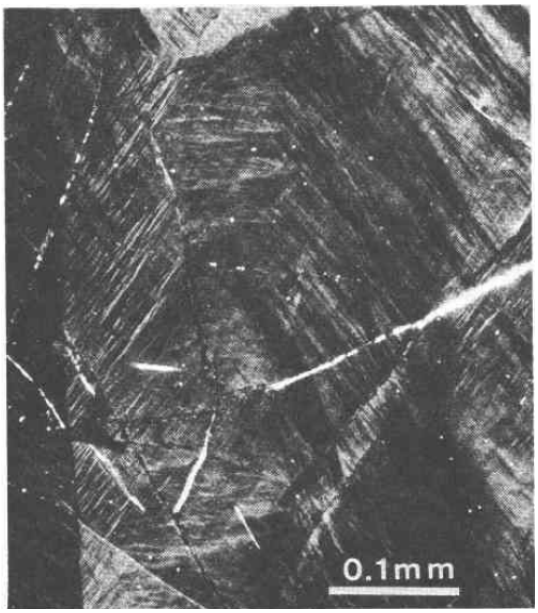
Fotomicrografia 3: Alvo Taperebá A, FD 708-23504, gr-gru-py-mt FFb. a) bandas de qzo e bandas de mt + pirita (py) (opaco) + gru. Lente 2,5 X, nicóis cruzados, luz transmitida. b) trama da mt + py na FFb. Lente 2,5 X, luz refletida.



Abreviaturas: gr - granada, gru – grunerita, mt – magnetita, py - pirita, qzo - quartzo.



Fotomicrografia 4: Alvo Taperebá A, FD 708-23504. Faces do cristal (seta) de granada (gr), possivelmente grossulária-andradita. Lente 50 X, nicóis paralelos, luz transmitida.



Fotomicrografia 5: Grossulária-andradita, de Fujikaramari-Japão, Akizuki (1984). Polarização cruzada..

Outra amostra com 12,20 ppm de Au é a FD 815-69500, do alvo Urucum. (Figura 11). Trata-se de um diopsídio-grunerita-pirrotita-hornblenda FFb. Macroscopicamente é verde escura, granulação média, bandada, com bandas de quartzo branco, de granulação fina a média, englobando massas de quartzo fumê, semi-concordantes com o bandamento, alternadas com bandas verdes, constituídas por anfibólio, diopsídio e pirrotita, que se apresentam disseminadas; subordinadamente há carbonato e vesuvianita. Microscopicamente mostra textura granoblástica, com bandas de quartzo alternadas com bandas de anfibólio (grunerita + hornblenda), diopsídio e pirrotita (Fotomicrografias 6 a, b e c). As bandas de quartzo são de granulação média, poligonizadas, subordinadamente xenomórficos, entremeadas por minúsculas e eventuais palhetas de anfibólio. Nas bandas ricas em anfibólio, os mesmos estão poligonizados, subordinadamente em prismas curtos. O diopsídio se apresenta em grãos xenomórficas, de granulação média a grossa, com inclusões de anfibólio. A pirrotita ocorre nos interstícios dos grãos de diopsídio, grunerita e hornblenda, enquanto em alguns pontos da lâmina aparece em filetes entremeando os minerais ferro-magnesianos. A vesuvianita ocorre, localmente, nos interstícios do carbonato.

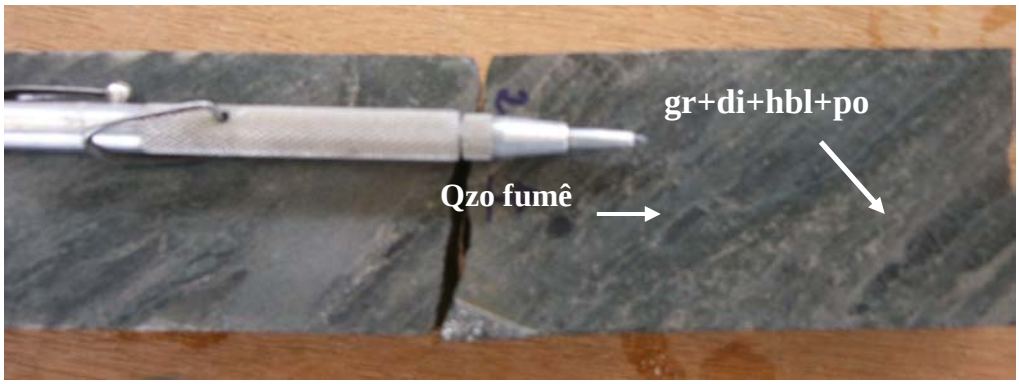
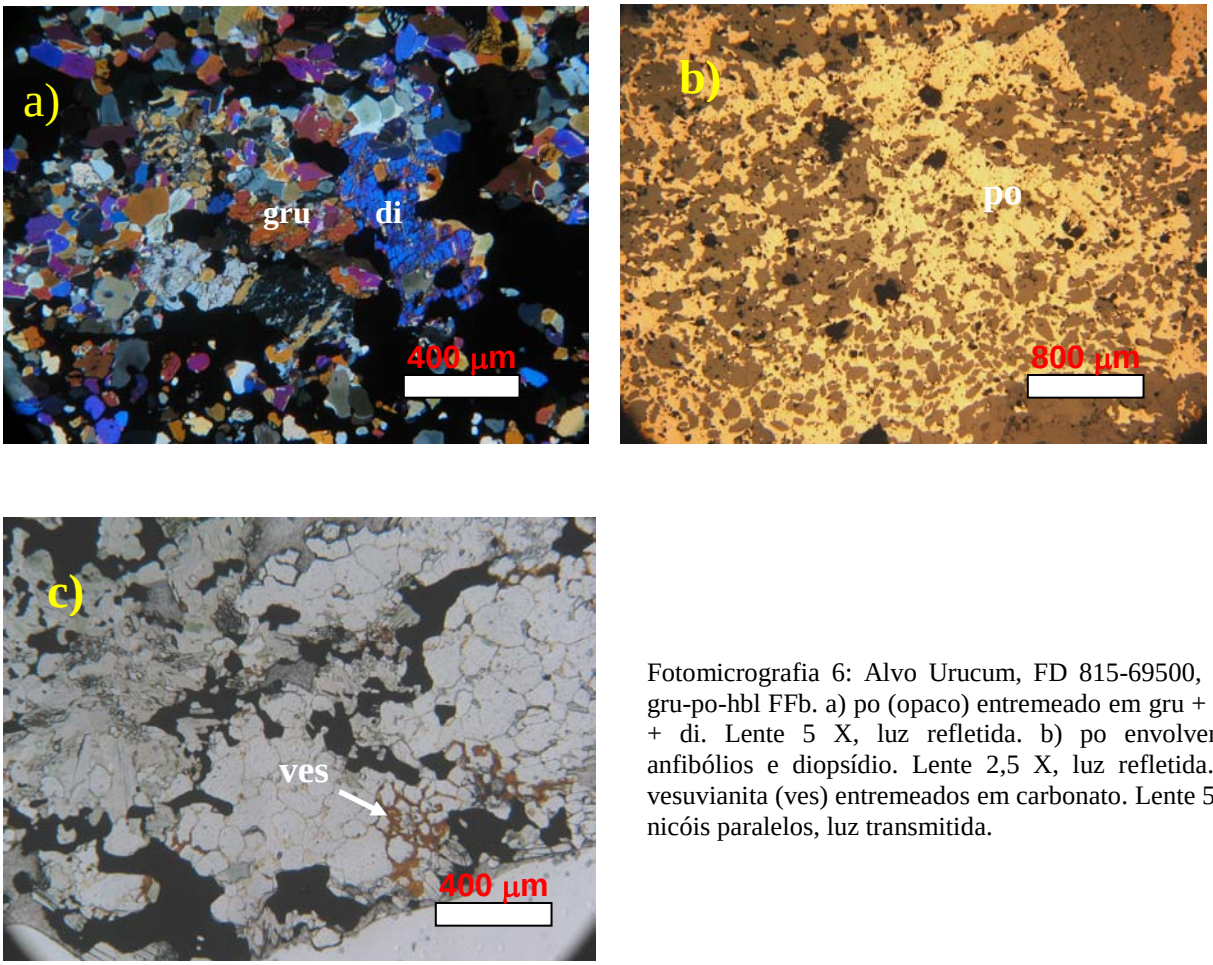


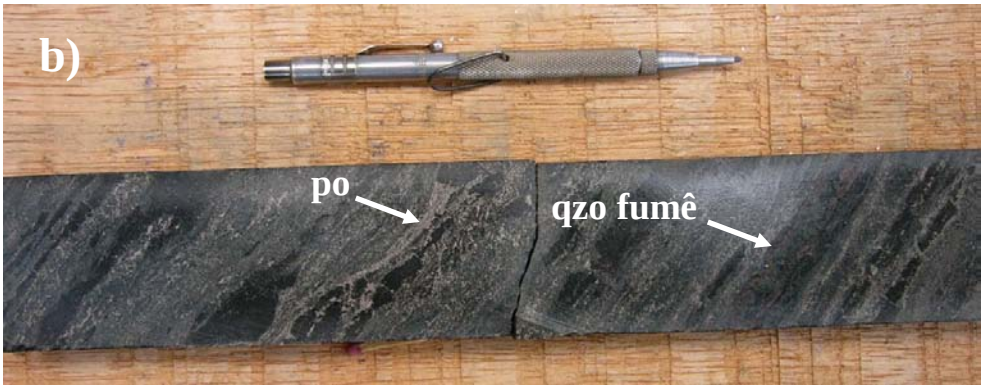
Figura 11: Alvo Urucum, FD 815-69500, di-gru-po-hbl FFb, com bandas de quartzo (qzo) alternadas com bandas de grunerita (gru) + hornblenda (hbl) + diopsídio (di) + pirrotita (po) disseminada.

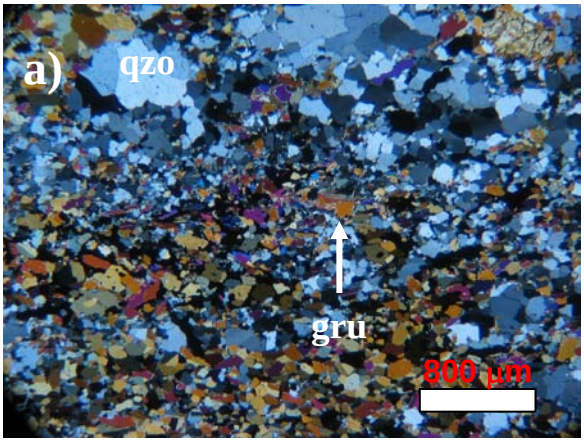


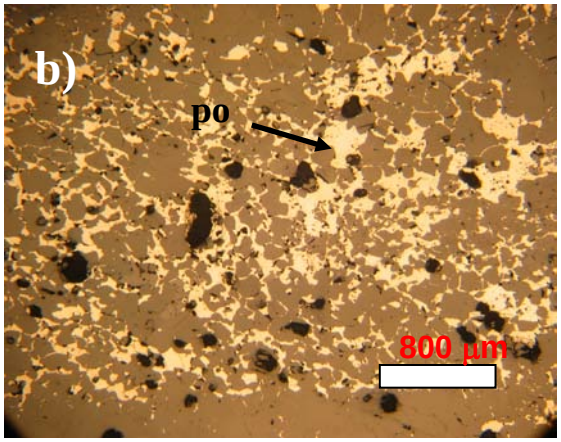
Fotomicrografia 6: Alvo Urucum, FD 815-69500, Di-gru-po-hbl FFb. a) po (opaco) entremeado em gru + hbl + di. Lente 5 X, luz refletida. b) po envolvendo anfibólios e diopsídio. Lente 2,5 X, luz refletida. c) vesuvianita (ves) entremeados em carbonato. Lente 5 X, nicóis paralelos, luz transmitida.

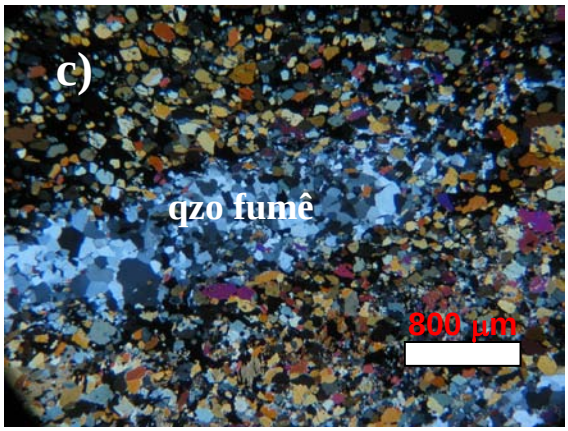
Uma terceira amostra com 8,49 ppm de Au refere-se à FD795-57438, do alvo Urucum, classificada como grunerita-pirrotita hornblenda FFb (Figuras 12 a e b). Macroscopicamente é granoblástica, granulação média a fina, verde, medianamente magnética e exibindo alternância de bandas brancas e verdes. A banda branca constitui-se de quartzo, enquanto a banda verde apresenta grunerita e hornblenda, milimétricas a submilimétricas, prismáticas. A pirrotita disseminada ocorre principalmente associada à banda de grunerita. Há massas de quartzo fumê subconcordantes com o bandamento. Microscopicamente apresenta textura granoblástica e alternância de bandas de quartzo e de anfibólios com pirrotita (Fotomicrografias 7 a, b e c). Observam-se também massas de quartzo segmentadas (correspondentes ao quartzo fumê) e envoltas por uma massa com anfibólio e pirrotita. Nas bandas de quartzo, este está poligonizado, com granulação média a grossa, enquanto nas bandas com grunerita + hornblenda e pirrotita, as duas primeiras compreendem prismas curtos, de granulação média, poligonizadas. A pirrotita ocorre nos interstícios dos grãos de grunerita e hornblenda e também preenchendo fraturas desses

Figura 12: Alvo Urucum, FD 795-57438, gru-po-hbl FFb, a) e b) Bandas de quartzo englobando massas de quartzo (qzo) fumê, concordantes com o bandamento. b) Pirrotita (po) disseminada, ou formando lâminas junto a bandas ricas em anfibólio.

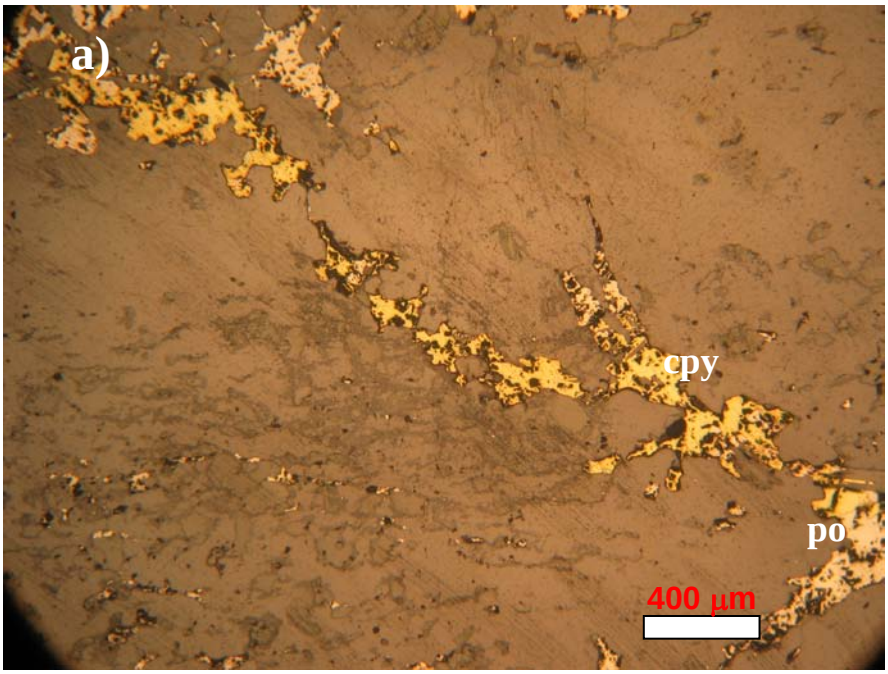






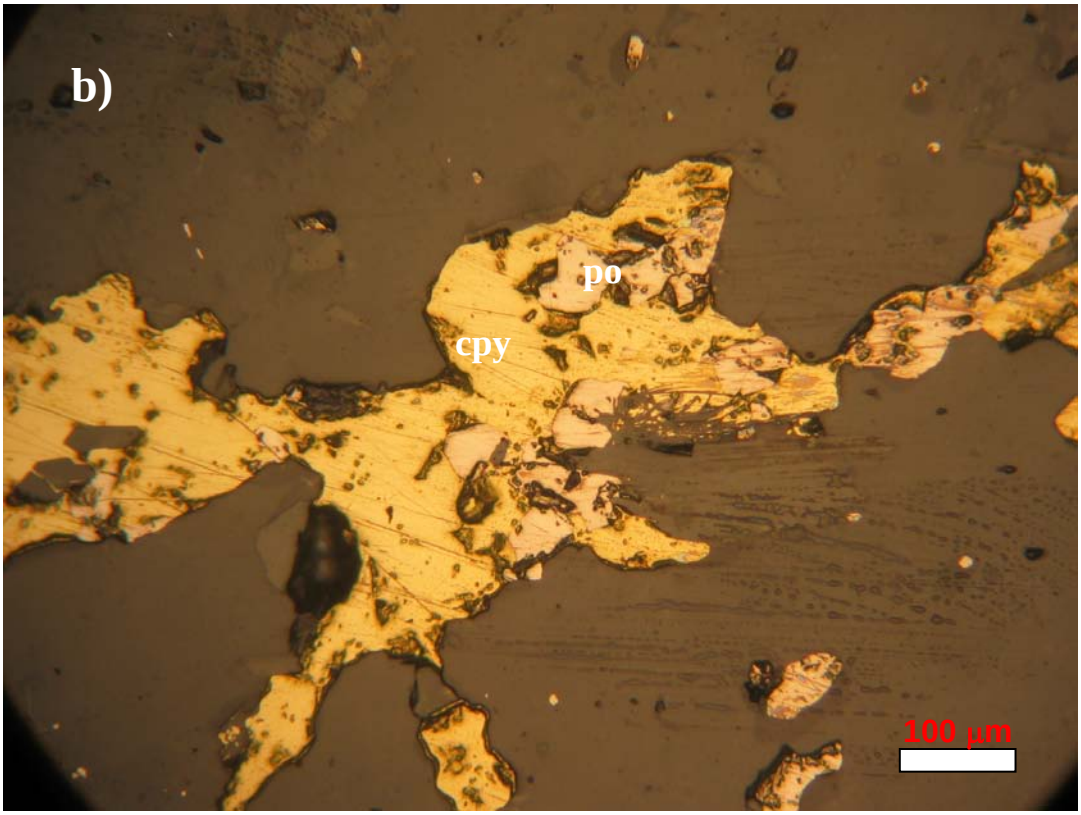


Fotomicrografia 7: Alvo Urucum, FD 795-57438, grupo-hbl FFb. a) bandas de qzo, alternadas com bandas de mt + gru + hbl. Lente 2,5 X, nicóis cruzados, luz transmitida. b) po envolvendo anfibólios. Lente 2,5 X, luz refletida. C) massa de quartzo (qzo) fumê. Lente 2,5 X, nicóis cruzados, luz transmitida.



Fotomicrografia 8: Alvo Urucum, FD 795-57438. a) trilha de calcopirita (cpy), intercrescida com pirrotita (po). Lente 5 X, luz refletida. b) cpy intercrescida e envolvendo po. Lente 20 X,

Abreviaturas: cpy – calcopirita, gru – grunerita, mt – magnetita, hbl – hornblenda, po – pirrotita, quartzo - qzo.



anfibólios. A pirrotita aparece também na forma de agregados monominerálicos, xenomórficos e de granulação grossa. A calcopirita (<1%) xenomórfica, de granulação média, está intercrescida com ou envolvendo a pirrotita (Fotomicrografias 8 a e b).

FFb 3 – Os principais minerais são gru + di + hm ± mt, encontrados no alvo Vila do Meio. Macroscopicamente são rochas ora magnéticas (Figuras 13 e 14), ora não magnéticas (quando constituídos essencialmente por hematita), verde claras, bandadas, onde se alternam bandas centimétricas a subcentimétricas de quartzo branco, com bandas centimétricas, verde claro, contendo acículas milimétricas, verde escuro, de grunerita e prismas verde claro de diopsídio. Há porfiroblastos, subidioblásticos, de tamanhos centimétrico a subcentimétrico, de diopsídio, paralelos ao bandamento. As rochas apresentam aspecto semelhante às FFb 2. Microscopicamente exibe textura granoblástica, com uma leve orientação dada pelo alongamento dos grãos de quartzo e de prismas de grunerita. O bandamento é paralelo à foliação, marcado por dois tipos básicos de bandas. As bandas mais comuns são as ricas em diopsídio, com grunerita e magnetita. O diopsídio ocorre em poiquiloblastos de granulação média muito grossa, com inclusões de grunerita, magnetita e carbonato, como na amostra FD 65-4 (Figura 14 e Fotomicro

Abreviaturas: di – diopsídio, gru – grunerita, mt – magnetita, hm – hematita.

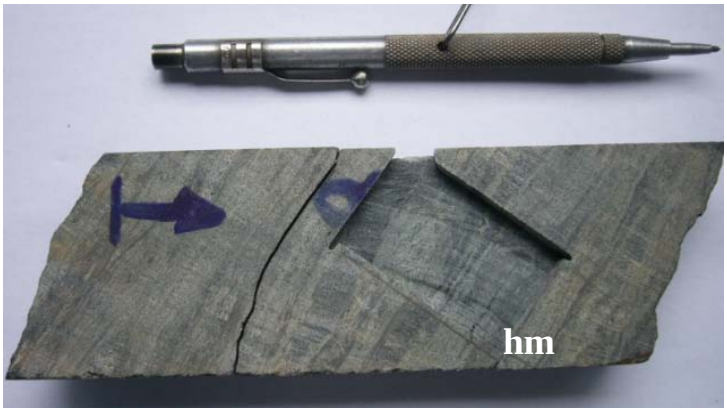


Figura 13: Alvo Vila do Meio, FD 13-6, hm-gru-di FFb, com banda de hm parcialmente destruído.

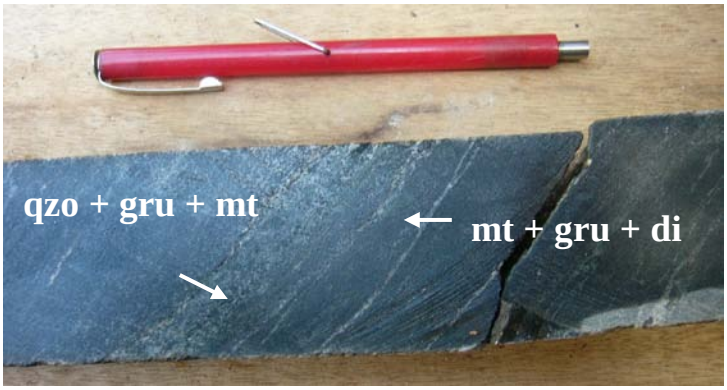
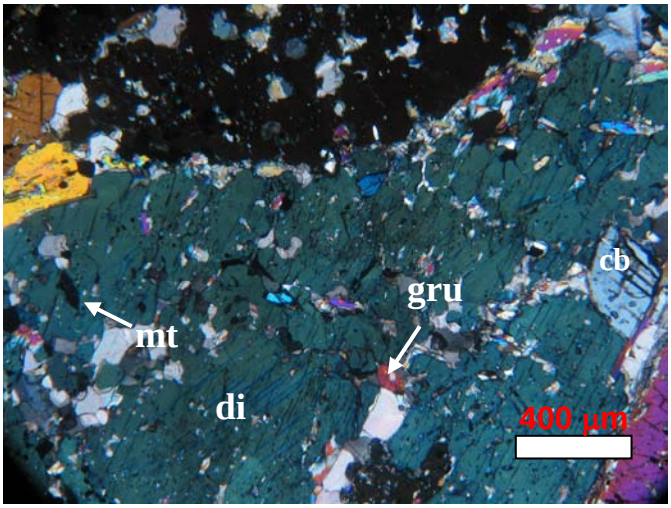


Figura 14: Alvo Vila do Meio, FD 65-4, gru-di-mt FFb, com bandas de qzo + gru alternadas com bandas de mt + gru + di.

grafia 9). Fora do diopsídio, o carbonato ocorre em grãos xenomórficos ou poligonais, de granulação média, com extinção ondulante. Menos freqüentes são as bandas de quartzo xenomórfico ou poligonal de granulação média com extinção ondulante e bandas de deformação. Nestas bandas também ocorrem grunerita e magnetita, ambas de granulação fina.



Fotomicrografia 9: Alvo Vila do Meio – FD 65-4, poiquilobasto de diopsídio com inclusões de gru, mt e cb. Lente 5X, nicóis cruzados, luz transmitida.

Abreviaturas: cb – carbonato, di – diopsídio, gru – grunerita, mt – magnetita, hm – hematita, quartzo - qzo.

FFb 4 - A hematita é o mineral principal do alvo Martelo. Macroscopicamente, não são magnéticas, mostrando bandamento paralelo e alternância de bandas centimétricas, de quartzo e de bandas escuras de hematita. O bandamento às vezes está dobrado e transposto (Figuras 15 e 16). Microscopicamente exibe textura granoblástica, o quartzo é de granulação fina a média, poligonizado e revela um discreto bandamento pela variação na quantidade de hematita e por uma única banda essencialmente quartzosa, de granulação grossa, como na amostra FD76-9. A hematita é de granulação média, xenomórfica, às vezes em ripas dispostas segundo o bandamento (Fotomicrografias 10 a e b).

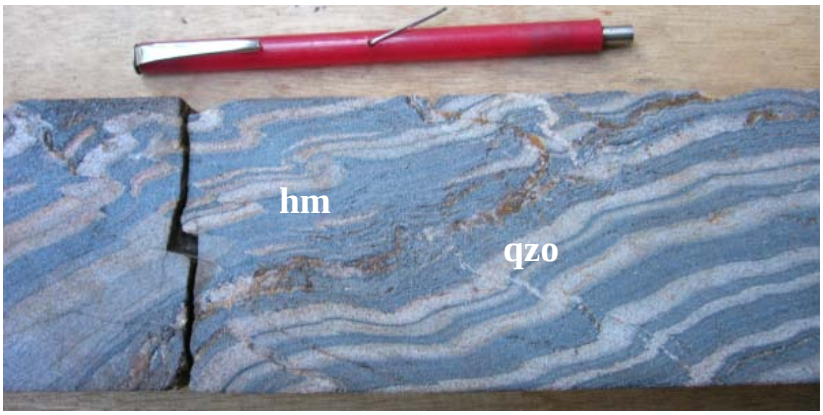
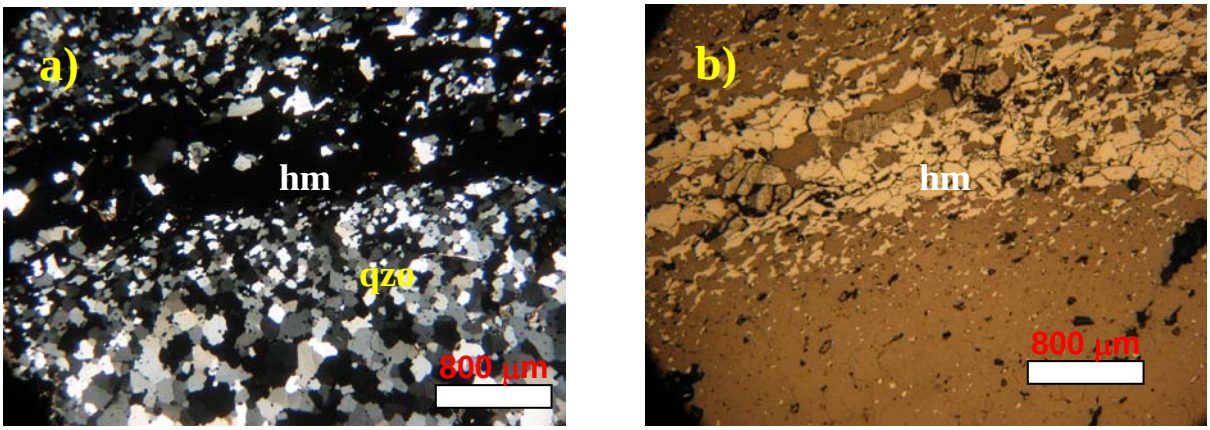


Figura 15: Alvo Martelo, FD 76-10, hm FFb, com alternância de bandas de hematita (hm) e bandas de quartzo (qzo), onduladas / dobradas.

Figura 16: Alvo Martelo - FD 76-9, hm FFb, com bandamento paralelo, com alternância de bandas claras de qzo e escuras de hm.

Abreviaturas: cb – carbonato, di – diopsídio, gru – grunerita, mt – magnetita, hm – hematita, quartzo - qzo.



Fotomicrografia 10: Alvo Martelo - FD 76-9, Hm FFb, com bandamento paralelo de qzo e de hm (opaco). a) lente 2,5 X , nicóis cruzados, luz transmitida. b) mesma foto, com hm xenomórfica, às vezes em ripas paralelas ao bandamento,lente 2,5 X, luz refletida.

IV.2.2 Rochas carbonáticas

Segundo Robertson (1999) as rochas carbonáticas não são visualmente de fácil diferenciação devido à dificuldade de se estimar a proporção dos minerais presentes e sua moda, sem o uso do microscópio. No presente estudo, conseguiu-se separar 3 conjuntos (Tabela 3) que apresentam certas diferenças texturais e mineralógicas, que são: **Rocha Carbonática (RC) 1** – além do carbonato (cb), são constituídos por clorita magnesiana (mgcl) + serpentina (serp) + mt; talco (tc) + serp + di + gru + mt e serp + di + mt; **RC 2** – domínio de paragênese de carbonato e dos minerais hornblenda (hbl) + di ± clorita (cl) ± muscovita (mu); gru + di ± po; biotita (bi) + di ± gru; serp + mt e gru ± mt ± mgcl; **RC 3** - mármores onde além do carbonato predominam hbl + di + mt; serp + gru + mt ± po ; mgcl + di e di + flogopita (flo) + gru ± mt. Várias amostras apresentam significativos conteúdos de paragêneses magnetita e pirrotita.

RC 1 – Os principais minerais compreendem cb + mgcl + serp + mt; cb + tc + serp + di + gru + mt e cb + serp + di + mt provenientes dos alvos Urucum e Taperebá A. Macrocópicamente são rochas isótropas, cinza claras, granulação média, contendo grânulos pretos, milimétricos, de magnetita em matriz clara de carbonato, contendo lamelas de serpentina, verde claro. Porfiroblastos de diopsídio, subidioblástico, subcentimétrico, verde claro, também estão presentes. Os grãos de magnetita conferem aspecto pintalgado à rocha, por exemplo, na amostra FD 659-18621 (Figura 17). Microscopicamente têm textura granoblástica homogênea, com carbonato, serpentina, magnetita e clorita magnesiana dispersos regularmente por toda a lâmina. O carbonato é xenomórfico, por vezes poligonal, de granulação média. A clorita magnesiana está

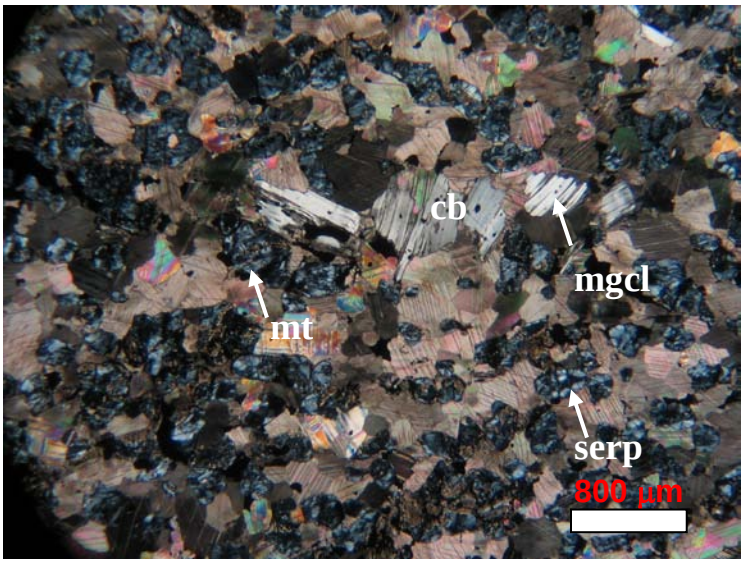
Abreviaturas: bi – biotita, cb – carbonato, cl – clorita, di – diopsídio, flo – flogopita, gru – grunerita, hbl – hornblenda, mgcl – clorita magnesiana, mt – magnetita, mu – muscovita, po - pirrotita, serp – serpentina, tc – talco.

em palhetas de tamanho médio, com extinção ondulante e sem orientação definida. A serpentina ocorre em agregados elípticos, eventualmente com faces retilíneas e com diminutos grãos de magnetita, como na amostra FD 659-18621 (Fotomicrografia 11).

Tabela 3: Principais Minerais em Rochas Carbonáticas (RC) do Amapari

Abreviaturas: biotita - bi, carbonato - cb, clorita magnesiana - mgcl, diopsídio - di, flogopita - flo, granada - gr, grunerita - gru, hematita - hm, hornblenda - hbl, magnetita - mt, muscovita - mu, pirita - py, pirrotita - po, plagioclásio - plag, serpentina - serp e talco - tc.				
RC	**Alvo**	**Furo**	**Amostras**	**Litologia**
Principais minerais: mgcl+serp+mt+cb; tc+serp+di+gru+mt+cb e serp+di+mt+cb				
	Urucum	**FD 829**	A	Tc-mgcl-gru-serp-di carbonato silicática
	Taperebá C	**FD 162**	192	Serp-po-mt carbonato silicática
1		**FD 659**	18621	Mgcl-mt-serp carbonato silicática
	Taperebá A		18627	Tc-serp-di-mt-gru carbonato silicática
		FD 708	23550	Mt-serp-di carbonato silicática
Principais minerais: hbl+di+cb±cl±gr±mu; gru+di+cb±po; bi+di+cb±gru; serp+mt+cb e gru+cb±mt±mgcl				
	Urucum	**FD 795**	57476	hbl-di-carbonato silicática
			57506	Qzo-cb-gru-plag-di silicática
	Taperebá C	**FD 162**	178	Gru-cb-mt silicática
			172	Gr-di-flo-mt carbonato silicática /
		FD 192	172	Po-plag-mgcl-cb-di silicática
2	**Taperebá B**		216	Po-di-gru carbonato silicática
			23194	Gr-di-mu-hbl carbonato silicática
			23199	Mt-mgcl-gru carbonato silicática
		FD 703	23207	Gru-mt carbonato silicática
			23229	Gru-cb-mt silicática
			23237	Gru-di-mt carbonato silicática
		FD 196	42	Bi-gru-di carbonato silicática
			10187	Gr-Di-hbl carbonato silicática
	Taperebá D	**FD 640**	10190A	Gru-bi-cb-di silicática
			10210	Bi-gru-di carbonato silicática
			10229	Gru-di-hbl carbonato silicática
		FD 669	12401	Bi-di carbonato silicática
	Taperebá A	**FD 659**	18600	Cl-mt-gru-cb-di silicática
	Vila do Meio	**FD 65**	3	Mt-gru-mu carbonato silicática
Principais minerais: hbl+di+mt+cb; serp+gru+mt+cb±po; mgcl+di+cb; di+flo+gru+cb±mt				
	Urucum	**FD 795**	57504	Hbl-di-mt mármore impuro
	Taperebá C	**FD 162**	182	Serp-gru+po+mt mármore impuro
3	**Taperebá D**	**FD 196**	89	Bi-di-gru-di mármore impuro
		FD 640	10189	Mt-di-flo-gru mármore impuro
	Vila do Meio	**FVD 007**	46507	Mgcl-di mármore impuro
			46511	Di-flo-gru mármore impuro

Figura 17: Alvo Taperebá A - FD 659-18621, mgcl-mt-serp carbonato silicática. Pintas pretas são de mt.



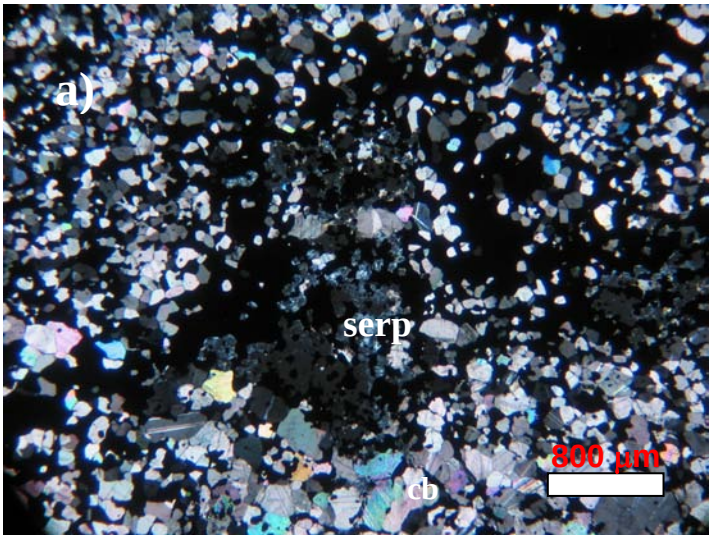
Fotomicrografia 11: Alvo Taperebá A - FD 659-18621, Mgcl-mt-serp carbonato silicática. Minerais de cb, mgcl, serp e mt, dispersos na lâmina. Lente 2,5 X, nicóis cruzados, luz transmitida.

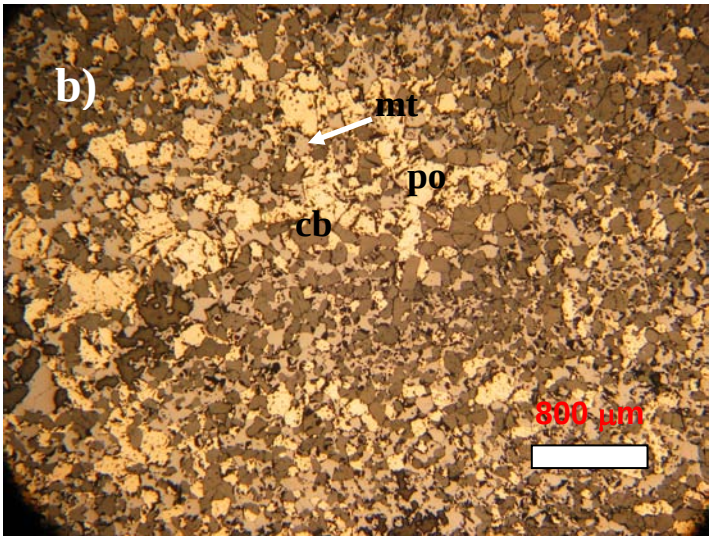
A amostra mineralizada em ouro da RC 1 é a FD 162-192 do alvo Taperebá C, com 3,19 ppm de Au e corresponde a um serpentina-pirrotita-magnetita carbonato silicática (Figura 18). Macroscopicamente é uma rocha cinza, granoblástica, de granulação média, fortemente magnética, bandada, com alternância de bandas centimétricas de carbonato branco, granulação média, contendo pontuações pretas de magnetita e concentrações de magnetita e pirrotita, subparalelas ao bandamento. As bandas pretas são de magnetita com pirrotita associada, na forma disseminada, ou concentrações em lâminas de espessura milimétrica, paralelas ao bandamento. Microscopicamente; a textura é granoblástica, poligonal, marcada pela poligonização do carbonato, magnetita e pirrotita. A pirrotita aparece intercrescida com a magnetita (Fotomicrografias 12 a, b e c). Filetes de pirrotita e magnetita preenchem os interstícios do

Abreviaturas: cb – carbonato, mgcl – clorita magnesiana, mt – magnetita, po - pirrotita, serp – serpentina.

carbonato e pirrotita preenche fraturas da magnetita. As inclusões de magnetita na pirrotita mostram-se bem arredondadas, enquanto fora da mesma mostram-se angulosas.

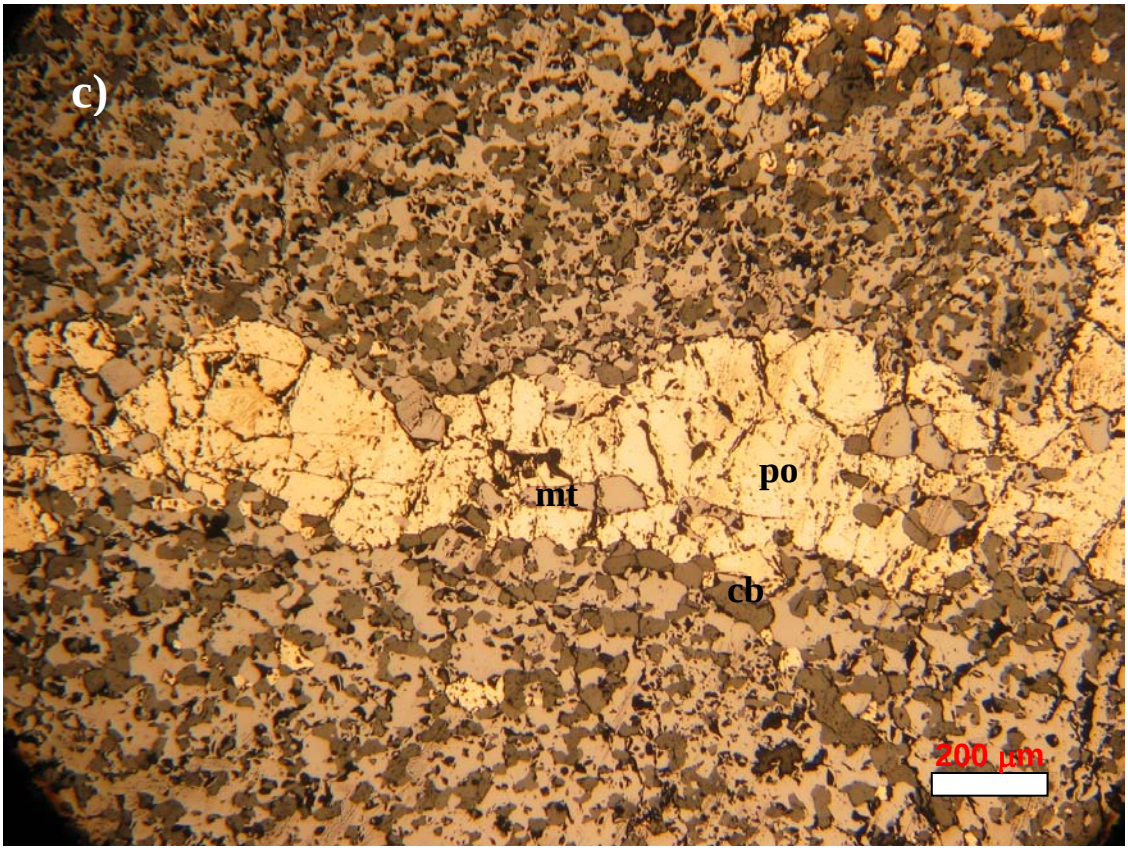
Figura 18: Alvo Taperebá C - FD 162-192, serp-po-mt carbonato silicática com porções bandadas e porções isótropas, contendo po disseminadas ou em lâminas.





Fotomicrografia 12: Alvo Taperebá C - FD 162-192. a) mostrando carbonato poligonizado e serpentina, em meio à pirrotita (opaco). Lente 2,5 X, nicóis cruzados, luz transmititda. b) po + mt, recristalizados preenchendo interstícios de cb. Lente 2,5 X, luz refletida. c) po consumindo e englobando mt semi-arrendondadas, ambas recristalizadas. Lente 10 X, luz refletida.

Abreviaturas: cb – carbonato, mt – magnetita, po - pirrotita, serp – serpentina.

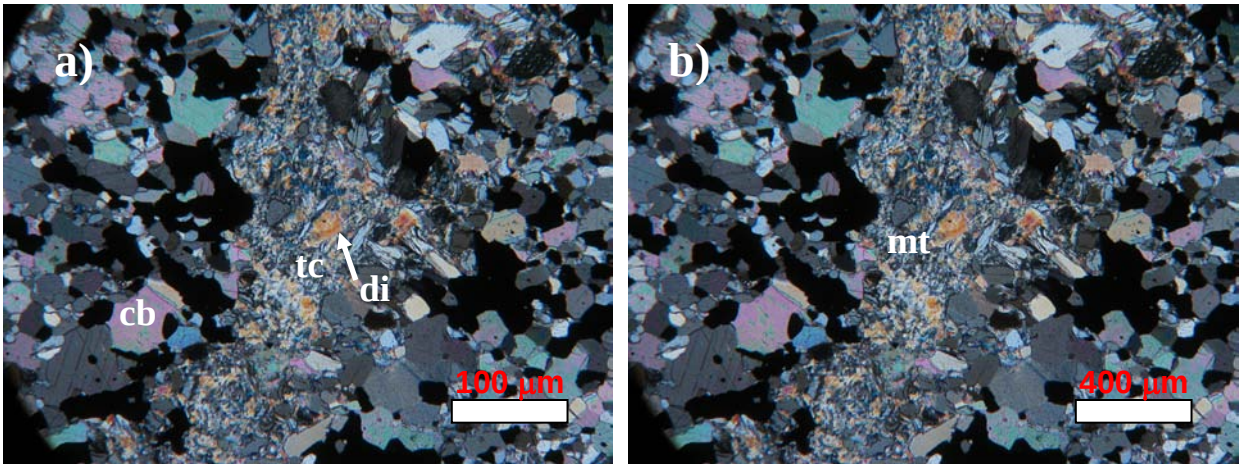


RC 2 – Os principais minerais são: hbl + di + cb ± cl ± gru ± mu; gru + di + cb ± po; bi + di + cb ± gru; serp + mt + cb e gru + cb ± mt ± mgcl, são encontrados nos alvos Urucum, Taperebá C, B, A, D e Vila do Meio.

A RC 2 compreende 3 amostras com ouro, FD 703-23237, do alvo Taperebá B, FD 196-42 e FD 640-10210 do alvo Taperebá D, respectivamente com 3,76, 4,53 e 6,00 ppm de Au. Macroscopicamente, a FD 703-23237 é uma rocha fortemente magnética, cor cinza claro, granulação fina a média, constituída por carbonato branco contendo lâminas pretas de magnetita. Rocha localmente fraturada (Figura 19). Microscopicamente mostra textura granoblástica, marcada por carbonato poligonizado, de granulação fina a média e diopsídio xenomórfico de granulação fina. Um fino bandamento/laminação é marcado por magnetita de granulação fina. Vênulas preenchidas por finas palhetas de talco e diopsídio ou por carbonato cortam o bandamento da rocha (Fotomicrografias 13 a e b)

Abreviaturas: bi – biotita, cb – carbonato, cl – clorita, di – diopsídio, gru – grunerita, hbl – hornblenda, mgcl – clorita magnesiana, mt – magnetita, mu – muscovita, po - pirrotita, serp – serpentina, tc – talco.

Figura 19: Alvo Taperebá B - FD 703-23237, gru-di-mt carbonato silicática, cinza, localmente fraturadada.



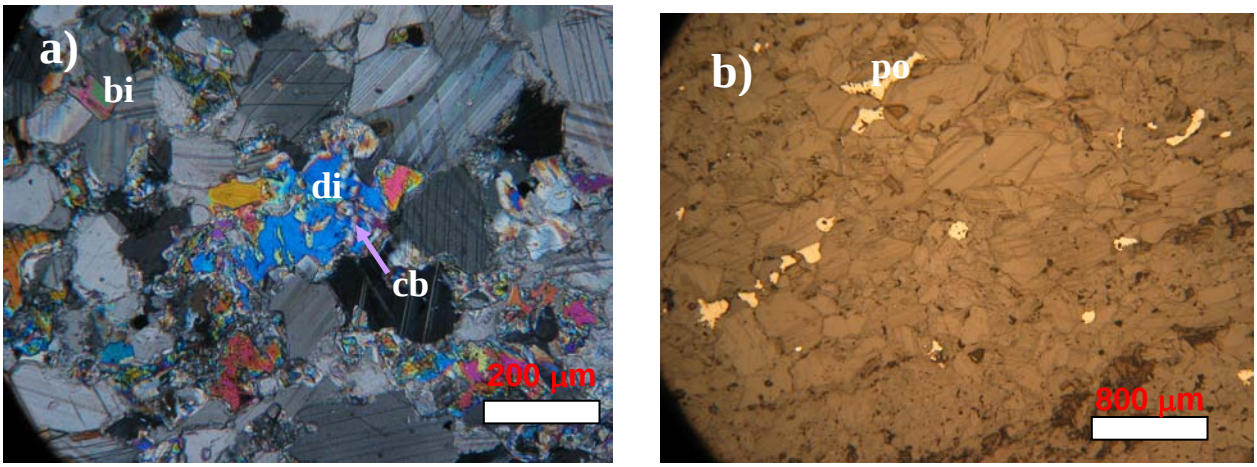
Fotomicrografia 13: Alvo Taperebá B - FD 703-23237. a) textura granoblástica, com cb poligonizado e fratura preenchida por tc e di. Lente 20 X, nicóis cruzados, luz transmitida. b) lâminas de mt recristalizada. Lente 5 X, luz refletida.

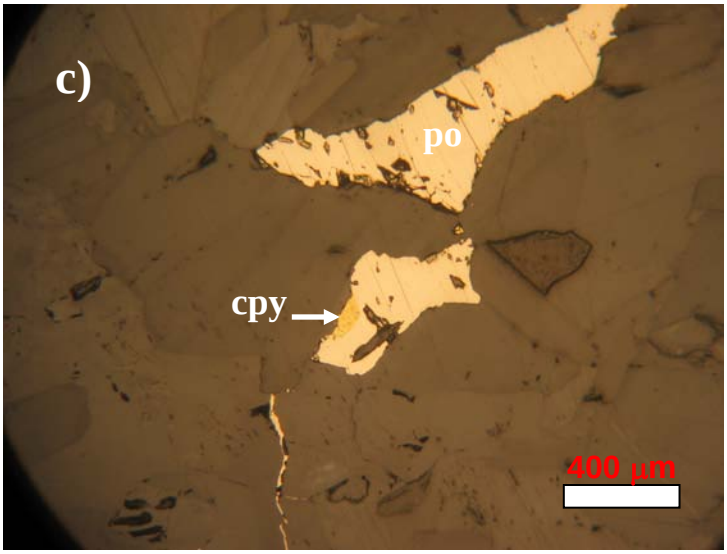
A segunda amostra mineralizada em ouro é a FD 196-42 do alvo Taperebá D, com 4,53 ppm de Au, classificada como biotita-grunerita-diopsídio carbonato silicática, com aproximadamente 4% de pirrotita (Figura 20). Macroscopicamente, é cinza, fracamente magnética, granoblástica, granulação média, constituída por carbonato branco (calcita), submilimétrico e carbonato castanho, provavelmente magnesiano. A rocha é levemente foliada, o que é conferido por minúscula biotita nos planos de foliação e raros porfiroblastos, verde claro, subcentimétricos de diopsídio. Microscopicamente, tem textura granoblástica, granulação média a grossa, com discreta foliação marcada por finas palhetas de biotita. O carbonato é xenomórfico, de granulação média. A grunerita está em prismas de granulação fina e o diopsídio em grãos xenomórficos de granulação fina, ou em poiquiloblastos, com inclusões de carbonato. O talco substitui o diopsídio.

Abreviaturas: cb – carbonato, di – diopsídio, gru – grunerita, mt – magnetita, tc – talco.

A pirrotita é xenomórfica, de granulação fina, dispersa pela lâmina, ou localmente, em filetes, preenche fraturas no diopsídio e na grunerita (Fotomicrografias 14 a, b e c).

Figura 20: Alvo Taperebá D - FD 196-42, bi-gru-di carbonato silicática, cinza, levemente foliada.



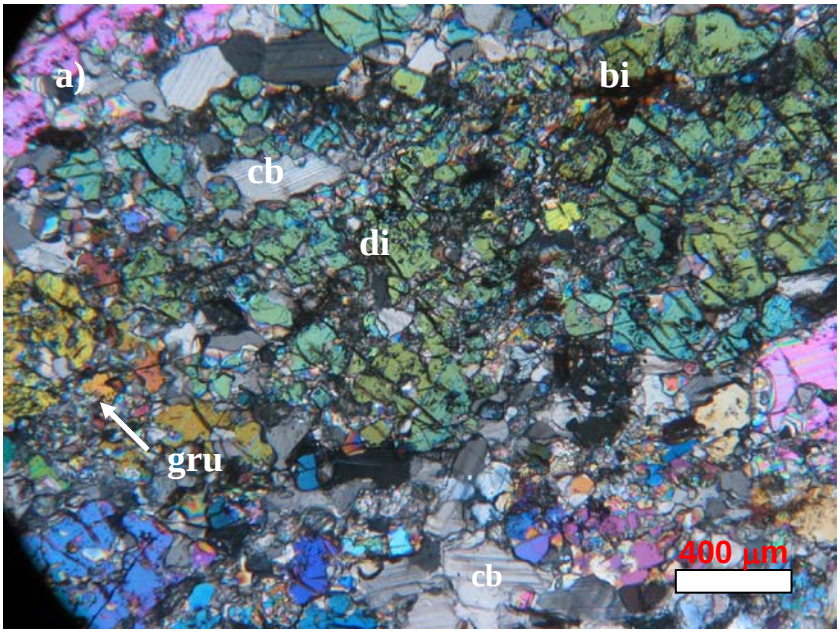


Fotomicrografia 14: Alvo Taperebá D - FD 196-42. a) trama dos minerais, textura granoblástica, com carbonato poligonizado, biotita e grunerita dispersos na lâmina e poiquiloblasto de di, englobando cb. Lente 10 X, nicóis cruzados, luz transmitida. b) po levemente orientada, segundo discreta foliação. Lente 2,5 X, luz refletida. c) cpy intercrescida com po. Lente 5 X, luz refletida.

Abreviaturas: bi – biotita, cb – carbonato, cpy – calcopirita, di – diopsídio, po – pirrotita.

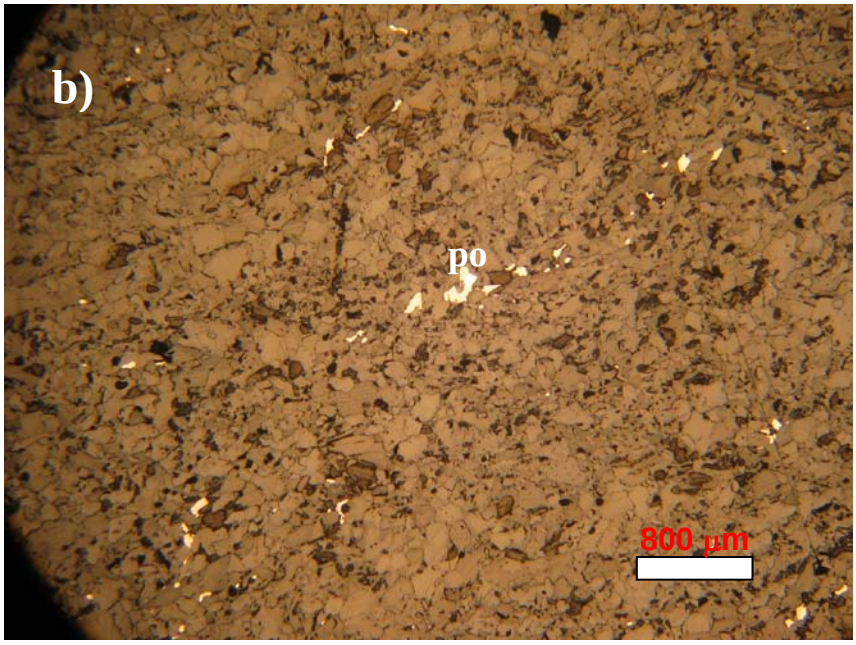
A terceira amostra contendo ouro, da RC 2, é a amostra FD 640-210, também do alvo Taperebá D, com 6,00 ppm de Au, classificada como biotita-grunerita-diopsídio carbonato silicática, com 2% de pirrotita e traços de arsenopirita (Figura 21). Macroscopicamente é cinza claro, magnetismo fraco a ausente, granoblástica, granulação média, contendo calcita branca, milimétrica, e carbonato castanho. Engloba lâminas e bandas irregulares de biotita e anfibólio verde claro. Microscopicamente apresenta textura granolepidoblástica, com discreta foliação conferida pela orientação das palhetas de biotita, de granulação fina a média. O diopsídio aparece em grãos xenomórficos, de granulação média a grossa, ou em grandes poiquiloblastos repletos de inclusões de carbonato (Fotomicrografias 15 a, b e c). A pirrotita é xenomórfica, de granulação fina, dispersa pela lâmina, com tendência a formar trilhas paralelas à foliação e, localmente, preenche fraturas do diopsídio.

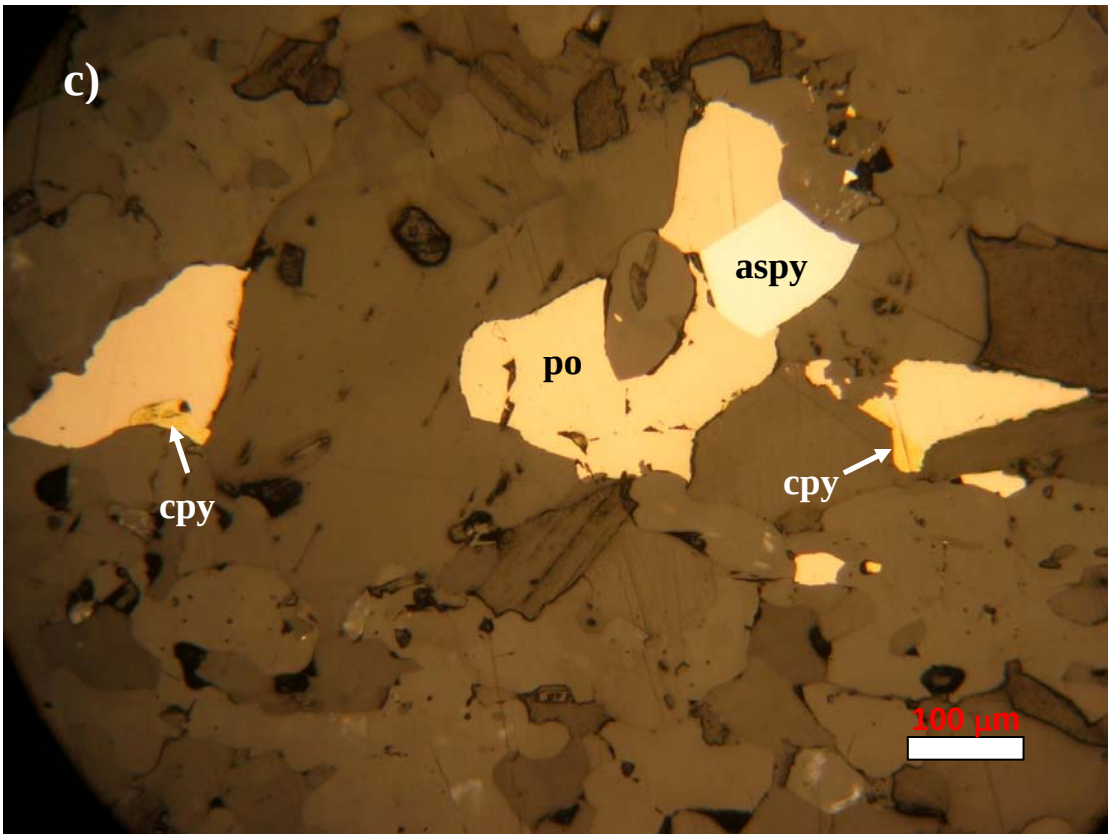
Figura 21: Alvo Taperebá D - FD 640-10210, bi-gru-di carbonato silicática, cinza, levemente foliada, com lâminas e bandas de biotita.



Fotomicrografia 15: Alvo Taperebá D - FD 640-10210. a) trama dos minerais – textura granoblástica, com cb poligonizado, trilha de bi segundo discreta foliação e di poiquiloblástico com inclusões de cb. Lente 5 X, nicóis cruzados, luz transmitida. b) trilha de po, segundo discreta foliação. Lente 2,5 X, luz refletida. c) cpy e arsenopirita (aspy) intercrescidas com po. Lente 20 X, luz refletida.

Abreviaturas: aspy – arsenopirita, bi – biotita, cb – carbonato, cpy – calcopirita, di – diopsídio, gru – grunerita, po – pirrotita.





Abreviaturas: aspy – arsenopirita, cpy – calcopirita, po – pirrotita.

RC 3 – São mármores com predomínio dos minerais hbl + di + mt + cb; serp + gru + di + mt + cb ± po; mgcl + di + cb; di + flo + gru +cb ± mt. São observados nos alvos Urucum, Taperebá C e Vila do Meio. Macroscopicamente apresentam coloração cinza a branca, granular, levemente bandadas, granulação média. Onde maciços, mostram porções claras de carbonato e porções pintalgadas conferidas por minerais milimétricos de diopsído esverdeado. Quando laminadas/bandadas, estas são de espessura subcentimétrica contendo magnetita, alternadas com bandas claras de carbonato contendo lamelas claras de grunerita. A pirrotita ocorre junto à magnetita.

Vale ressaltar que diversas amostras estudadas apresentam minerais típicos de metamorfismo de contato, tais como a vesuvianita – $Ca_2Al_2(OH,F)Si_2O_7$, clinohumita – $Mg(OH,F)_2.4Mg_2SiO_4$ e as granadas andradita, uvarovita e espessartita (Deer et al. 1976, Williams et al. 1982, Kerr 1965), relacionadas na Tabela 4 abaixo:

Tabela 4: Rochas carbonato silicáticas do Amapari com minerais de metamorfismo de Contato (vesuvianita, granada e clinohumita)

Abreviaturas: carbonato - cb, clinohumita - chu, clorita - cl, clorita magnesiana - mgcl, diopsídio - di, flogopita - flo, granada - gr, grunerita - gru, hornblenda - hbl, magnetita - mt, muscovita - mu, plagioclásio - plag, pirrotita - po, serpentina - serp, talco - tc, vesuvianita - ves.

Alvo	Furo	Amostras	Litologia
Urucum	**FD 795**	57476	hbl-di-carbonato silicática (ves)
		57504	Hbl-di-mt mármore (ves, chu)
Taperebá C	**FD 162**	182	Serp-gru+po+mt mármore impuro (ves)
	FD 703	23194	Gr-di-mu-hbl carbonato silicática (gr, ves, chu)
Taperebá B	**FD 192**	172	Gr-di-flo-mt carbonato silicática / (gr, ves)
		172	Po-plag-mgcl-cb-di silicática (gr)
Taperebá A	**FD 659**	18600	Cl-mt-gru-cb-di silicática (gr)
		18627	Tc-serp-di-mt-gru carbonato silicática (ves,chu)
Taperebá D	**FD 640**	10187	Gr-di-hbl carbonato silicática (gr)
		10189	Mt-di-flo-gru mármore (ves)

A amostra com ouro do conjunto 3 é a FD 162-182, do alvo Taperebá C, com 9,09 ppm de Au, é classificada como serpentina-grunerita-pirrotita-magnetita mármore impuro (Figura 22). Macroscopicamente é uma rocha cinza claro, granoblástica, recristalizada, granulação média, fortemente magnética, constituída por calcita branca e carbonato castanho. Engloba lâminas milimétricas e bandas irregulares subcentimétricas, ambas de cor verde, contendo anfibólio verde claro. A magnetita e a pirrotita ocorrem como disseminações nas porções carbonáticas, enquanto

Abreviaturas: cb – carbonato, di – diopsídio, flo – flogopita, gru – grunerita, mgcl – clorita magnesiana, mt – magnetita, po - pirrotita, serp – serpentina.

que suas maiores concentrações estão associadas às lâminas e bandas de anfibólio. Microscopicamente revela textura granoblástica, com carbonato xenomórfico, de granulação grossa a média, localmente poligonizado. Talco e serpentina ocorrem dispersos na matriz ou formando bolsões alongados na mesma orientação dos opacos, conferindo uma leve foliação. Os opacos são magnetita e pirrotita, de granulação média, que ocorrem associados e preenchem os interstícios do carbonato (Fotomicrografias 16 a, b, c e d).

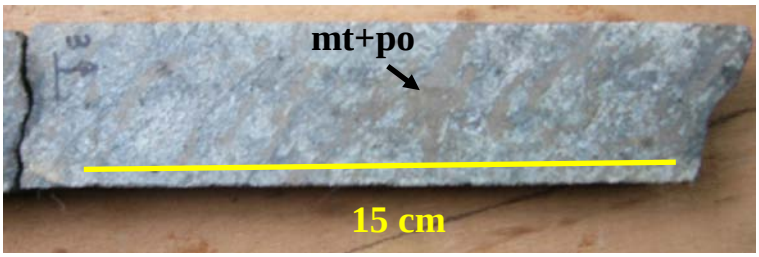
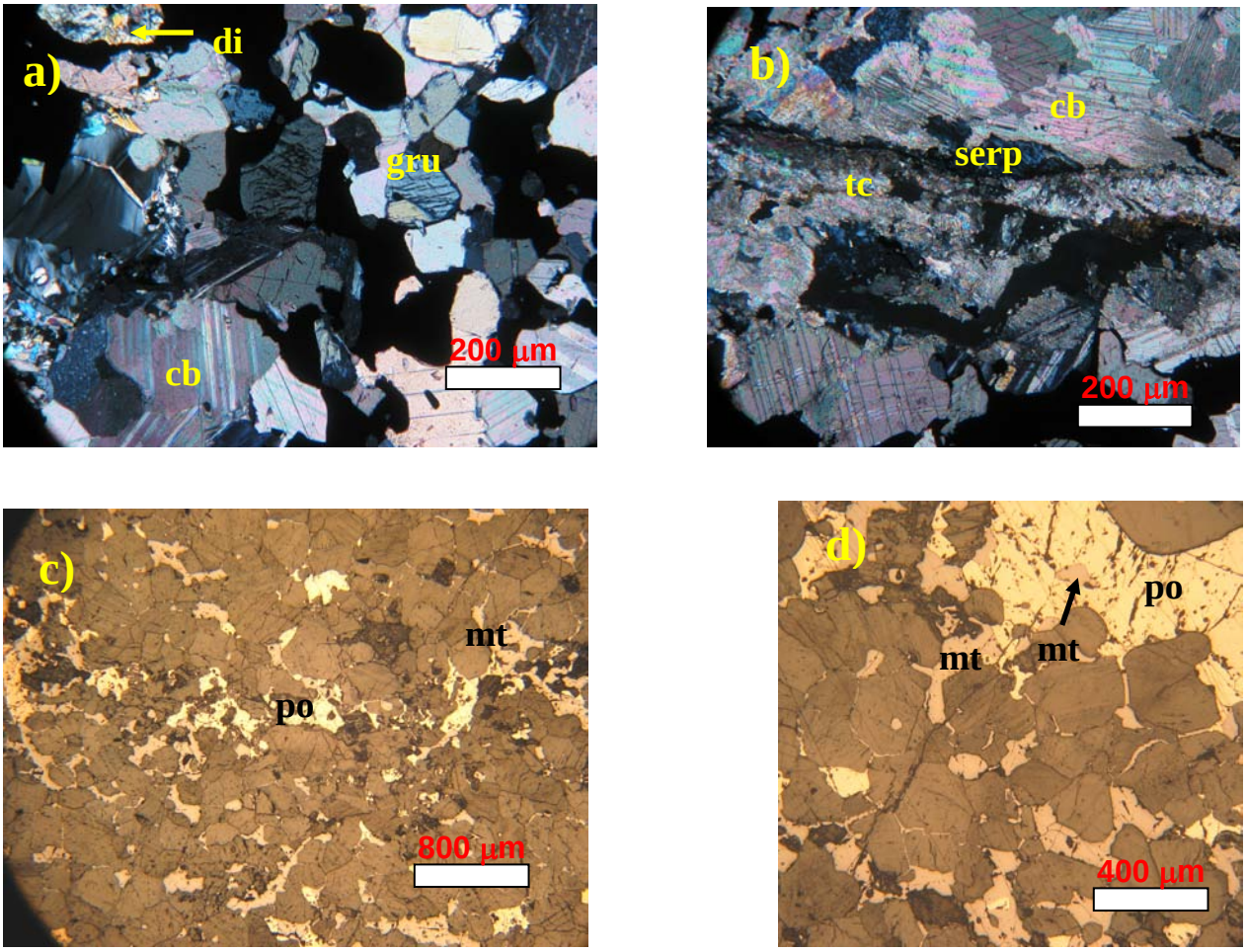


Figura 22: Alvo Taperebá C - FD 162-182, serp-gru-po-mt mármore impuro, levemente foliado, com lâminas e bandas com anfibólio + mt + po.



Fotomicrografia 16: Alvo Taperebá C - FD 162-182. a) textura granoblástica, com cb poligonizado, gru e di dispersos na lâmina. Lente 10 X, nicóis cruzados, luz transmitida. b) bolsão alongado de tc + serp, entre cristais de cb. Lente 10 X, nicóis cruzados, luz transmitida. c) mt e po recristalizadas, dispersas na matriz carbonática. Lente 2,5 X. d) po com inclusões de mt. Lente 5 X, luz refletida.

Abreviaturas: cb – carbonato, di – diopsídio, gru – grunerita, mt – magnetita, po - pirrotita, serp – serpentina, tc – talco.

IV.2.3 Rochas cálcio-silicáticas

Os principais minerais constituintes das rochas cálcio-silicáticas, do presente estudo, são di±mt±hbl±gru, provenientes dos alvos Urucum, Taperebá C e Vila do Meio (Tabela 4). Macroscopicamente são verde escuro, bandadas, com alternância de bandas subcentimétricas de magnetita + diopsídio + grunerita e bandas subcentimétricas, ricas em hornblenda verde escuro e lamelas de diopsídio verde claro. Outra variedade observada é granoblástica, granulação fina, englobando porfiroblastos milimétricos de diopsídio verde claro e prismas, submilimétricos, de hornblenda verde escuro, como por exemplo, a amostra FD 795 57451, do alvo Urucum (Figura 23). Microscopicamente, apresentam textura granoblástica, com estrutura bandada, localmente preservada. O bandamento é marcado por níveis de hornblenda poligonizada, de granulação fina a média. Na maior parte da lâmina predominam poiquiloblastos de diopsídio contendo relictos de matriz constituída por grunerita e diopsídio de granulação fina (Fotomicrografia 17). A rocha é cortada por veio de quartzo, em grãos xenomórficos, de granulação grossa e extinção ondulante. O carbonato ocorre nos interstícios dos grãos de quartzo, ou em fraturas cortando tanto o diopsídio, quanto o veio de quartzo.

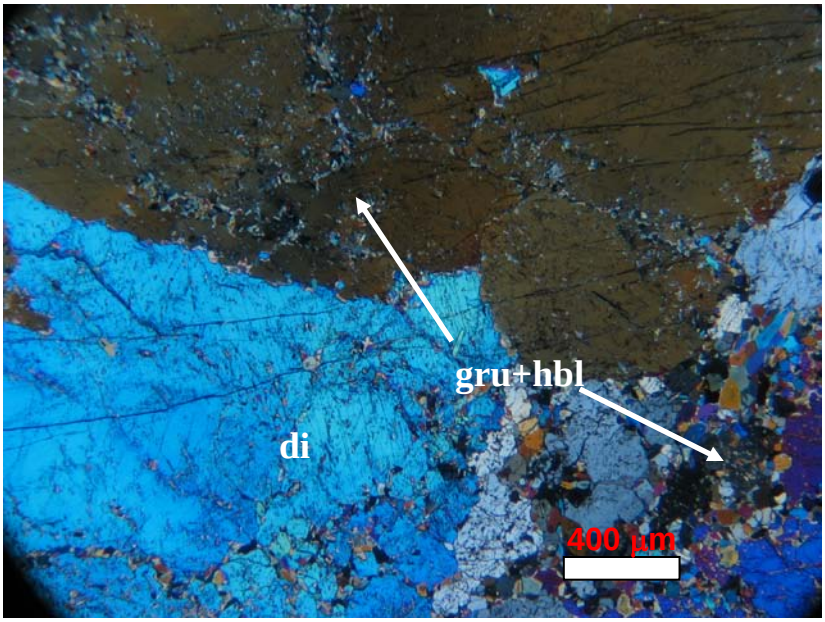
As amostras coletadas, no presente estudo, não continham cálcio-silicáticas com ouro.

Tabela 5: Principais Minerais de Rocha Cálcio-Silicática do Amapari

Abreviaturas: diopsídio - di, grunerita - gru, hornblenda - hbl, hematita - hm, magnetita - mt.			
Alvo	**Furo**	**Amostra**	**Litologia**
Principais minerais: di±mt±gru±hbl±hm			
Urucum	**FD 795**	57451	Gru-hbl-di cálcio-silicática
		57477	Hbl-di-mt-gru calciossilicática
Taperebá C	**FD 192**	173	Mt-di calcio-silicática
Vila do Meio	**FVD 002**	13804	Hm-hbl-mt-di cálcio-silicática

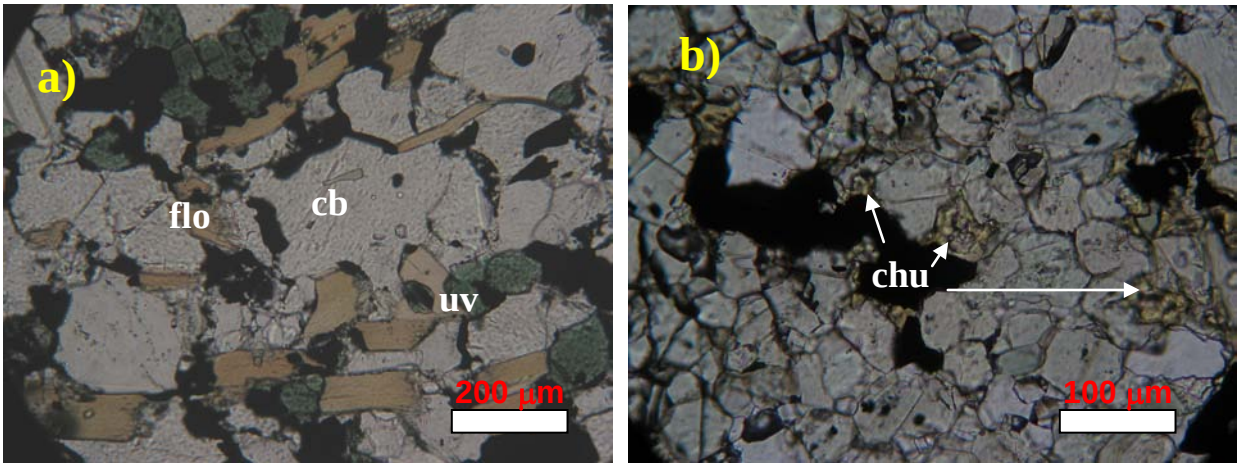
Figura 23: Alvo Urucum, FD 795-57451, gru-hbl-di cálcio-silicática, granoblástica, granulação média.

Abreviaturas: di – diopsídio, gru – grunerita, hbl – hornblenda, hm – hematita, mt – magnetita.



Fotomicrografia 17: Alvo Urucum - FD 795-57451, gru-hbl-di cálcio-silicática. Contato entre banda de di e banda de gru+hbl (canto inferior direito) e poiquiloblastos de di englobando anfibólios de granulação fina. Lente 5 X, nicóis cruzados, luz transmitida.

Rocha carbonática (granada-diopsídio-flogopita-magnetita carbonato silicática) contendo granada verde (uvarovita?) e hematita-hornblenda-magnetita-diopsídio cálcio-silicática com clinohumita, são observados, respectivamente, nas amostras FD 192-172 e FVD 002-13804, dos alvos Taperebá B e Vila do Meio (Fotomicrografias 18 a e b).



Fotomicrografia 18: a) Alvo Taperebá B - FD 192-172, gr-di-flo-mt carbonato silicática com granada verde (uvarovita - uv). Lente 10 X, nicóis paralelos, luz transmitida. b) Alvo Vila do Meio, FVD 002, hm-hbl-mt-di cálcio-silicática com clinohumita (chu). Lente 20 X, nicóis paralelos, luz transmitida.

Abreviaturas: chu – clinohumita, di – diopsídio, gr – granada, flo – flogopita, gru – grunerita, hbl – hornblenda, hm – hematita, mt – magnetita.

IV.3 Discussão dos resultados

IV.3.1 Características das rochas encaixantes e hospedeiras da mineralização aurífera do Amapari

O estudo de lâminas polidas delgadas, das rochas encaixantes e hospedeiras da mineralização aurífera do depósito de ouro do Amapari, revela a íntima associação do ouro principalmente com a pirrotita e subordinadamente, com a pirita. A associação do ouro com a pirita é constatada no alvo Taperebá A. A calcopirita e arsenopirita ocorrem de maneira muito subordinada (<1%), intercrescidas com a pirrotita. Nas lâminas estudadas não se observa presença de ouro livre.

Apesar da íntima associação do ouro com os sulfetos, a simples presença de sulfeto não significa, necessáriamente, a existência de ouro.

Estudos de Melo (2001) e Melo et al. (2001) indicam que as maiores concentrações de ouro coincidem com os domínios mais deformados, assinalando uma relação direta entre as zonas mais sulfetadas e mais tectonizadas do pacote rochoso, independentemente do tipo litológico, embora as formações ferríferas comportem os valores mais compensadores de ouro. Citam também a associação de ouro com pirita nos alvos Taperebá.

As observações em lâminas, do presente estudo, permitem classificar as rochas encaixantes / hospedeiras da mineralização aurífera em 3 grandes grupos litológicos, que são: formações ferríferas, rochas carbonáticas e cálcio-silicáticas. O ouro ocorre tanto nas FFb, quanto nas rochas carbonáticas, porém com maior incidência na primeira, segundo informações da MPBA e trabalhos de Melo (2001) e Melo et al. (2001),

De acordo com a associação dos principais minerais presentes na rocha, as formações ferríferas são separadas em 4 conjuntos:

FFb 1 – Tem di + mt como os principais minerais, ocorre predominantemente no alvo Taperebá A e não apresentam mineralização aurífera (Tabela 2). Macroscopicamente é uma rocha cinza-esverdeada, granulação fina a média, fortemente magnética, bandada, com alternância de bandas brancas e pretas, centimétricas a subcentimétricas. A banda branca é de quartzo, contendo algum diopsídio verde claro, e a banda escura apresenta filetes milimétricos de magnetita englobando cristais prismáticos, subidioblásticos de diopsídio verde. Às vezes o bandamento está parcialmente destruído.

Abreviaturas: di – diopsídio, mt – magnetita.

FFb 2 - Constituído pelos minerais gru + mt, gru + di + mt; di + hbl + gru e hbl + gru, que ocorrem nos alvos Urucum, Taperebá C, B, A e Vila do Meio (Tabela 2). Neste conjunto existem quatro amostras com ouro, FD 795-57438 e 57489, FD 815-69500, respectivamente com 8,49, 1,35, e 12,20 ppm de Au do alvo Urucum e FD 708-23504 com 5,35 ppm de Au do alvo Taperebá A. Essas amostras, são cinza ou verde, bandadas, com alternância de bandas brancas, de quartzo, e bandas verdes, de anfibólio (grunerita ± hornblenda). A magnetita e/ou pirita, ou pirrotita, estão preferencialmente associadas a esta banda e ocorrem na forma disseminada ou em concentrações como filetes, ou estreitas massas alongadas e irregulares concordantes com o bandamento ou com uma discreta foliação, quase sempre presente nas amostras de mão.

FFb 3 – Os principais minerais são gru + di + hm ± mt, encontrados no alvo Vila do Meio. Macroscopicamente são rochas ora magnéticas, ora não magnéticas (quando constituídos essencialmente por hematita), verde clara, bandadas, onde se alternam bandas centimétricas a subcentimétricas de quartzo branco, com bandas centimétricas, verde claro, contendo acículas milimétricas, verde escuro, de grunerita e prismas verde-claro de diopsídio. Macroscopicamente são semelhantes ao grupo 2. Não apresentam mineralização aurífera.

FFb 4 – A hematita é o mineral principal e ocorre no alvo Martelo (Tabela 2). As amostras exibem bandamento paralelo e alternância de bandas centimétricas, de quartzo e bandas escuras de hematita.

Algumas amostras de FFb apresentam granada e/ou vesuvianita, ou clinohumita, que são minerais típicos de metamorfismo de contato (Deer et al. 1976, Williams et al. 1982, Kerr 1965). A presença destes minerais em FFb sugerem a possibilidade de que as formações ferríferas pretéritas contivessem carbonato.

As rochas carbonáticas são classificadas em 3 conjuntos constituídos por:

RC 1 – Os principais minerais compreendem cb + mgcl + serp + mt; cb + tc + serp + di + gru + mt e cb + serp + di + mt provenientes dos alvos Urucum, Taperebá C e Taperebá A (Tabela 3). Macrocópicamente são rochas isotrópicas, de cor cinza-claro, granulação média, contendo grânulos pretos, milimétricos de magnetita em matriz clara de carbonato, conferindo aspecto pintalgado à rocha. A matriz carbonática engloba lamelas de serpentina verde-claro e porfiroblastos de diopsídio, subidioblásticos, subcentimétricos, verde claro. Uma amostra deste conjunto contendo ouro, FD 162-192, do alvo Taperebá C, com 3,19 ppm de Au, é classificada como serpentina-pirrotita-magnetita carbonato silicática. Macroscopicamente é cinza,

Abreviaturas: cb – carbonato, di – diopsídio, gru – grunerita, hbl – hornblenda, hm – hematita, mgcl – clorita magnesiana, mt – magnetita, serp – serpentina, tc - talco.

granoblástica, de granulação média, fortemente magnética, bandada, com alternância de bandas centimétricas de carbonato branco, granulação média, contendo pontuações pretas de magnetita e filetes de magnetita e pirrotita, subparalelas ao bandamento. As bandas pretas são de magnetita com pirrotita associada, na forma disseminada, ou concentrações em lâminas de espessura milimétrica, paralelas ao bandamento.

RC 2 – Os principais minerais são: cb + hbl + di ± cl ± gru ± mu; cb + gru + di ± po; cb + bi + di ± gru; cb + serp + mt e gru ± mt ± mgcl, são encontrados nos alvos Urucum, Taperebá C, B, A, D e Vila do Meio (Tabela 3). Nesse conjunto existem 3 amostras com ouro, FD 703-23237, do alvo Taperebá B e, FD 196-42 e FD 640-10210 do alvo Taperebá D, respectivamente com 3,76; 4,53 e 6,00 ppm de Au. A característica dessas amostras auríferas é a presença de grunerita + diopsídio e também de pirrotita, embora com menos de 5%, e traços de arsenopirita na última amostra. Só a primeira amostra é que possui magnetita e não apresenta sulfeto, tratando-se de caso raro, ou possibilidade de problema no laboratório. No geral, são de cor cinza, textura granoblástica, granulação média, levemente foliada e fortemente magnética quando a magnetita está presente, ou magnetismo fraco quando somente a pirrotita está presente. Os anfibólios e o diopsídio são submilimétricos, e estão dispersos na matriz carbonática. Onde presente, a biotita, se aloja nos planos de discreta foliação. A magnetita ocorre como filetes ou lâminas.

Conjunto 3 – são mármores com predomínio dos minerais cb + hbl + di + mt; serp + gru + di + mt ± po; cb + mgcl + di; cb + di + flo + gru ± mt. São observados nos alvos Urucum, Taperebá C e Vila do Meio (Tabela 3). Uma amostra contendo ouro é a FD 162-182, do alvo Taperebá C, com 9,09 ppm de Au, classificada como serpentina-grunerita-pirrotita-magnetita mármore impuro. No geral, são cinza claro, com textura granoblástica, discretamente bandadas, e com granulação média. Quando maciças, mostram porções claras de carbonato e porções pintalgadas, conferidas por cristais milimétricos de diopsído verde claro. Quando laminadas/bandadas, estas são de espessura subcentimétrica, de anfibólio, associadas com magnetita e/ou pirrotia, alternadas com bandas claras de carbonato, com lamelas de grunerita, dispersas nessas bandas.

Outro grupo de rochas são as cálcio-silcáticas e os principais minerais constituintes são o di ± mt ± hbl ±gru e provenientes dos alvos Urucum, Taperebá C e Vila do Meio (Tabela 4). São verde escuro, bandadas, com alternância de bandas subcentimétricas de magnetita + diopsidio + grunerita e bandas subcentimétricas, ricas em hornblenda verde escuro e lamelas de diopsídio verde claro. Outra variedade observada é granoblástica, granulação fina, englobando

Abreviaturas: bi – biotita, cb – carbonato, cl – clorita, di – diopsídio, flo – flogopita, gru – grunerita, hbl – hornblenda, hm – hematita, mgcl – clorita magnesiana, mt – magnetita, mu – muscovita, serp – serpentina, tc - talco.

porfiroblastos milimétricos de diopsídio verde claro e prismas submilimétricos, de hornblenda, verde escura. As amostras coletadas no presente estudo não continham cálcio-silicáticas com ouro.

IV.3.2 Metamorfismo regional e de contato

O estudo de lâminas delgadas polidas de FFbs do depósito de ouro do Amapari indicam uma paragênese de minerais metamórficos regionais (grunerita, hornblenda e diopsídio) condizentes com a fácies anfibolito. Observa-se também que a maior parte dos grãos de quartzo estão recristalizados, poligonizados, sendo ≥0,20 mm. Segundo James (1955), o tamanho dos grãos de quartzo em FFb é um bom indicador do grau metamórfico. Em zonas de metamorfismo de baixo grau, a média do tamanho dos grãos é menor que 0,10 mm; em grau metamórfico médio varia entre 0,10 a 0,20 mm; e em zona de alto grau metamórfico o tamanho do grão torna-se maior que 0,20 mm. Desta forma, é sugestivo que pelo critério do tamanho dos grãos, as rochas do Amapari atingiram o grau metamórfico médio (fácies anfibolito). Klein (2005) considera que os minerais primários de formações ferríferas são a greenalita e o stilpnomelano; em baixíssimo grau metamórfico ambos transformam-se em minesotaita e, à medida que aumenta o grau metamórfico formam-se anfibólios, piroxênios e a fayalita. À exceção da fayalita, os demais minerais estão presentes em Amapari, confirmando o alto grau metamórfico dessas rochas, revelado pela associação anfibólio-piroxênio das FFb. Os campos de estabilidade de cada mineral (Klein 1983) são apresentados na Figura 24 abaixo:

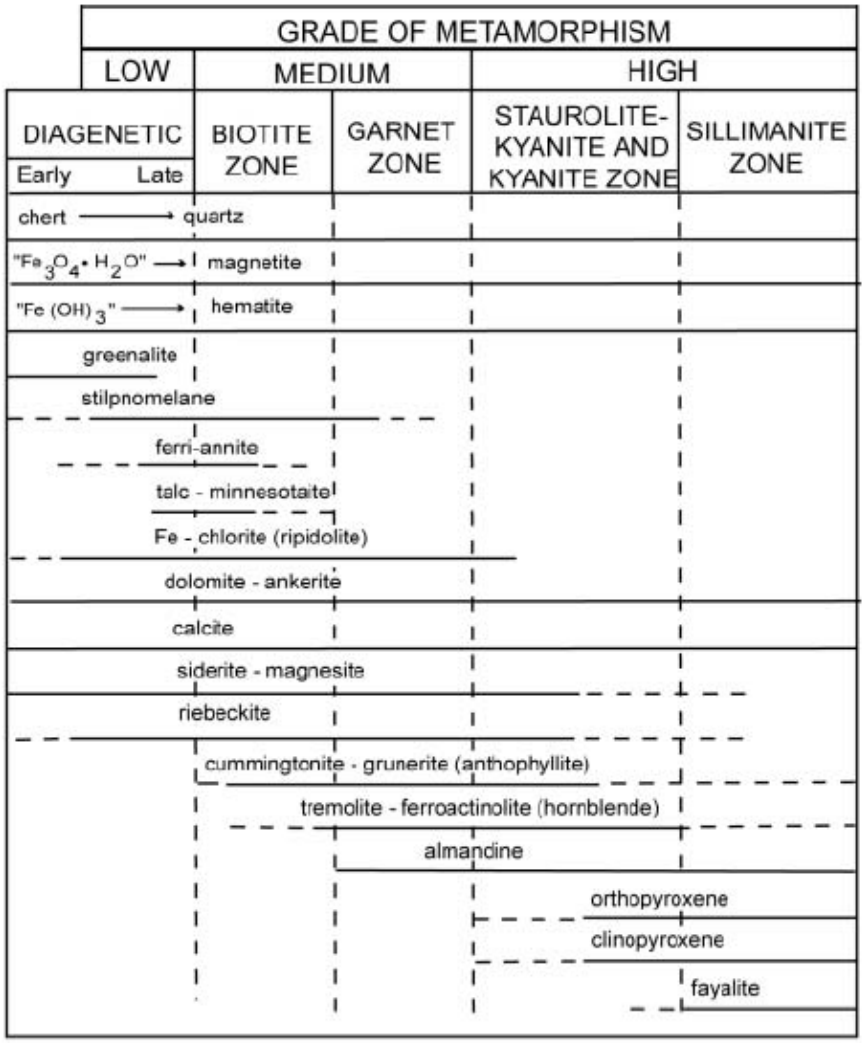


Figura 24: Campo de estabilidade relativa dos minerais em formações ferríferas, em cada zona metamórfica.

O mesmo autor comenta que o mineral mais notável em zona de médio grau metamórfico em FFb é o anfibólio rico em ferro (série grunerita-cummingtonita) como resultado da reação entre carbonatos ricos em Fe e quartzo, e também como produto da reação da minesotaita:

$$7Ca(Fe,Mg)(CO_3)_2 + 8SiO_2 + H_2O \rightarrow Fe_7SiO_{22}(OH)_2 + 7CaCO_3 + 7CO_2$$

ferrodolomita quartzo grunerita calcita

&

$$7Fe_3Si_4O_{10}(OH)_2 \rightarrow 3Fe_7Si_8O_{22}(OH)_2 + 4SiO_2 + 4H_2O$$

minesotaita grunerita

Geralmente, os clinoanfibólios de Fe-Mg estão intercrescidos com os clinoanfibólios de Ca, tais como a actinolita e a hornblenda (Klein 1958) como produto da seguinte reação:

$$\underset{\text{ferrodolomita}}{14Ca(Fe,Mg)(CO_3)_2} + \underset{\text{quartzo}}{16\ SiO_2} + 2\ H_2O \rightarrow \underset{\text{tremolita}}{Ca_2Mg_5Si_8O_{22}(OH)_2} + \underset{\text{grunerita}}{Fe_7Si_8O_{22}(OH)_2} + \underset{\text{calcita}}{14(Ca_{0.9}Mg_{0.1})CO_3} + 14C\ O_2$$

O clinopiroxênio forma-se através da reação de descarbonatização:

$$\underset{\text{ankerita}}{Ca(Fe,Mg)(CO_3)_2} + \underset{\text{quartzo}}{2SiO_2} \rightarrow \underset{\text{clinopiroxênio}}{Ca(Fe,Mg)Si_2O_6} + CO_2$$

No estudo petrográfico foi possível identificar, em rochas carbonáticas e em FFb, uma série de minerais típicos de metamorfismo de contato, sendo esses a vesuvianita, clinohumita e as granadas andradita, uvarovita e espessartita (Deer et al. 1976, Williams et al. 1982, Kerr 1965), indicando o efeito da ação termal do granito Amapari sobre as mesmas (Melo et al 2001). Esse evento termal deve também ter sido responsável pela formação, de parte, do diopsídio existente nas FFb e nas rochas carbonáticas.

Williams et al. (1982) discutem o metamorfismo de contato de alto grau de calcários e dolomitos produzindo rochas granoblásticas compostas principalmente por grãos de calcita. A sílica e o alumínio são impurezas menores. A composição de hornfels e escarnitos cálcio-silicáticos varia bastante, mas uma típica paragênese mineral consiste em granada da série grossulária-andradita e vesuvianita. Segundo os autores, as rochas carbonáticas de metamorfismo de contato, pobres em sílica, apresentam forsterita, minerais do grupo da humita (principalmente clinohumita), periclásio, brucita, espinélio, coríndon, e raros silicatos de Ca e Mg (larnita, monticelita, etc). Quando mais abundantes em sílica, ocorrem wollastonita, diopsídio, tremolita e talco. As paragêneses minerais citadas correspondem à fácies metamórfica situadas entre hornblenda-hornfels e piroxênio-hornfels. No estudo do Amapari, não se observam periclásio nem wollastonita, indicando predomínio da fácies hornblenda-hornfels, onde se tem as seguintes associações: calcita – diopsídio (-quartzo), calcita - diopsídio – granada, diopsídio – vesuvianita – granada (Williams et al. 1982). Em estudos petrográficos do corpo Urucum, Melo (2001) identifica o mineral periclásio, onde a associação calcita + periclásio caracteriza a fácies piroxênio-hornfels, sugerindo temperaturas que podem ter ultrapassado 700ºC (Hyndman 1972 in Melo 2001).

IV.3.3 Relações texturais entre minerais

As relações texturais entre os diversos minerais presentes nas rochas estudadas fornecem importantes informações acerca da seqüência de eventos atuantes na formação e/ou transformação dos mesmos. Em diversas lâminas delgadas polidas, as seguintes feições indicam os mais variados estilos de substituição:

- FFb → Bandas de magnetita contendo grunerita alternadas com bandas quartzosas → associação comum da grunerita com a magnetita (FD 162-177) (Fotomicrografia 19).
- FFb – Banda de poiquiloblastos de diopsídio repleto de inclusões de grunerita → diopsídio se formou a partir da grunerita (FD 192-169) (Fotomicrografia 20).
- FFb → Diopsídio poiquiloblástico com inclusões de grunerita e de magnetita em bandas → diopsídio se formou a partir dos mesmos (FD795-57477) (Fotomicrografia 21).
- Rocha carbonática → Poiquiloblastos de diopsído com inclusões de grunerita e magnetita de granulação fina, em bandas. Uma banda de magnetita está registrada em dois cristais de diopsídio → diopsídio se formou a partir da grunerita e da magnetita (FD659-18600) (Fotomicrografias 22 e 23).
- FFB → Poiquiloblasto de diopsídio com inclusões de grunerita + magnetita de granulação fina em bandas e agregado de pequenos grãos de carbonato → diopsídio formado a partir desses três minerais, tendo a grunerita e a magnetita como fonte do Fe e o carbonato como a fonte do Ca ± Mg (FD708-23497 e FD 703-23207). Na última lâmina, observa-se, embora raramente, magnetita fina preenchendo fraturas no diopsídio (Fotomicrografias 24, 25 e 26).
- FFb → Pirrotita ocorre envolvendo a magnetita → pirrotita se formou a partir da magnetita (FD 192-169) (Fotomicrografia 27).
- Rocha carbonática→ Pirrotita preenche fraturas do diopsídio → formação de pirrotita posteriormente ao diopsídio (FD 192-172) (Fotomicrografias 28 e 29).
- FFb → Pirrotita ocorre nos interstícios dos grãos de diopsídio e, subordinadamente preenche fratura no diopsídio→ sulfetação posterior à formação do piroxênio (FD 795-57438) (Fotomicrografia 30 e 31).
- Rocha carbonática→ Serpentina incluindo diminutos grãos de magnetita → ambos se formaram à custa talvez do diopsídio (FD 659-18621) (Fotomicrografia 32)

- Rocha carbonática → Serpentina substitui o diopsídio → formação posterior ao piroxênio (FD 829-A) (Fotomicrografia 33)
- Rocha carbonática→ Magnetita e pirrotita preenchendo fraturas na grunerita→ recristalização tardia de ambos minerais (FD192-180) (Fotomicrografias 34 e 35).

No presente estudo não é possível diferenciar o diopsído formado durante o metamorfismo regional daquele formado no metamorfismo de contato.

Os estudos texturais mostram que os minerais metamórficos de contato, no caso o diopsídio, clinohumita, vesuvianita e granada da série grossulária – andradita, além da uvarovita, formaram-se à custa de:

- Diopsídio → A partir dos minerais grunerita, grunerita + magnetita e grunerita + magnetita + carbonato
- Clinohumita – A partir de calcários e dolomitos pobres em sílica.
- Vesuvianita e granadas (andradita, uvarovita e espessartita) – A partir de rochas carbonáticas contendo minerais cálcio-silicáticos.

Os minerais hidrotermais associados à mineralização aurífera, como sulfetos (pirrotita, pirita, calcopirita e arsenopirita) e quartzo de veio e fumê, formam-se, temporalmente, quase junto com os minerais de metamorfismo de contato, inclusive atravessando o diopsídio.

As características texturais acima comentadas sugerem a seguinte seqüência de eventos:

Metamorfismo regional→ M etamorfismo de contato → Mineralização aurífera. A mineralização aurífera ocorreu imediatamente após ou tardiamente ao metamorfismo de contato, sendo praticamente contemporânea ao mesmo, o que é atestado pela relação magnetita – diopsídio, onde às vezes só a magnetita ou magnetita + pirrotita preenchem fraturas do diopsídio. Nesta seqüência de eventos interpreta-se a provável seqüência de formação dos principais minerais estudados (Figura 25):

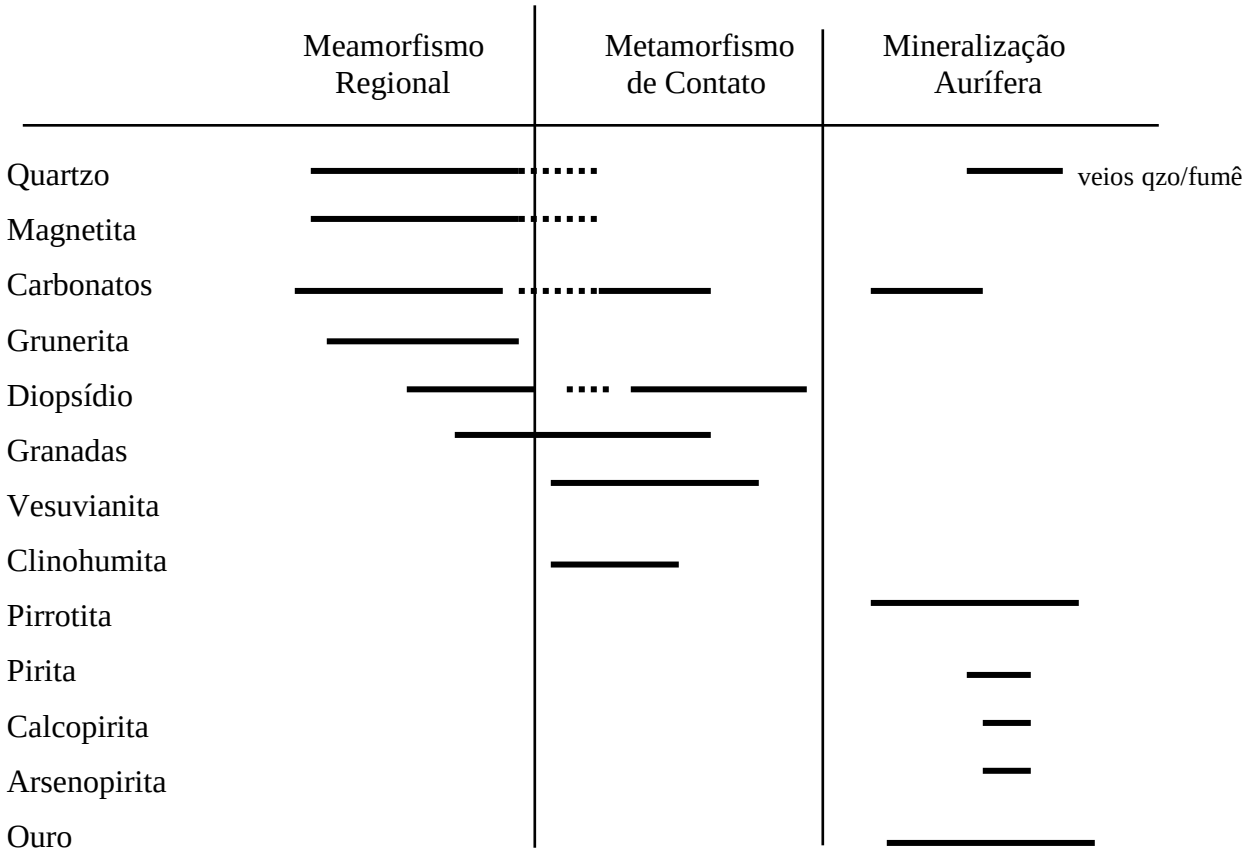
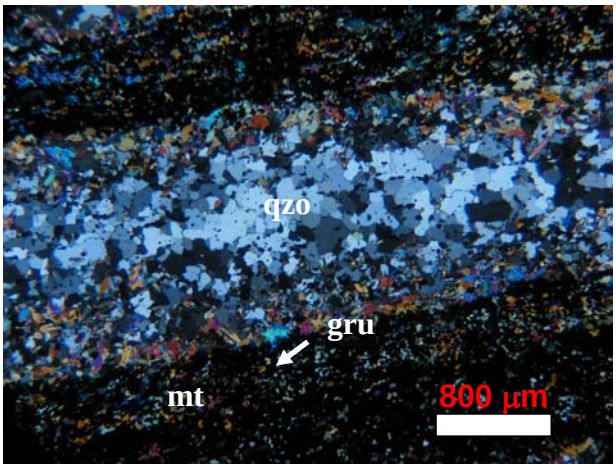
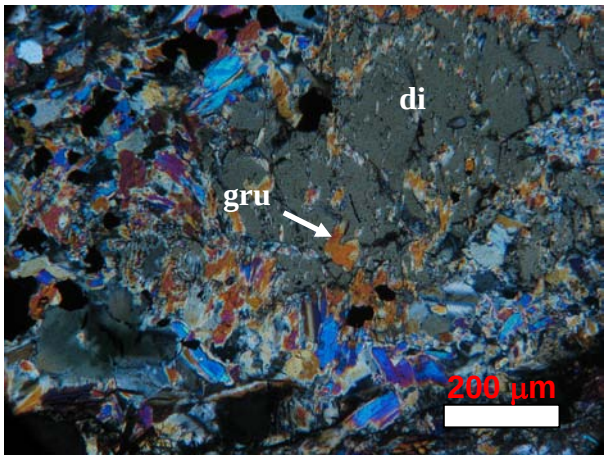


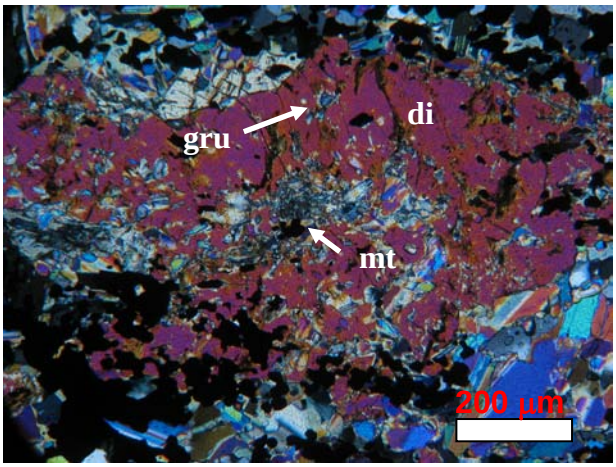
Figura 25: Sequência de formação mineralógica de acordo com metamorfismo regional, de contato e mineralização aurífera.



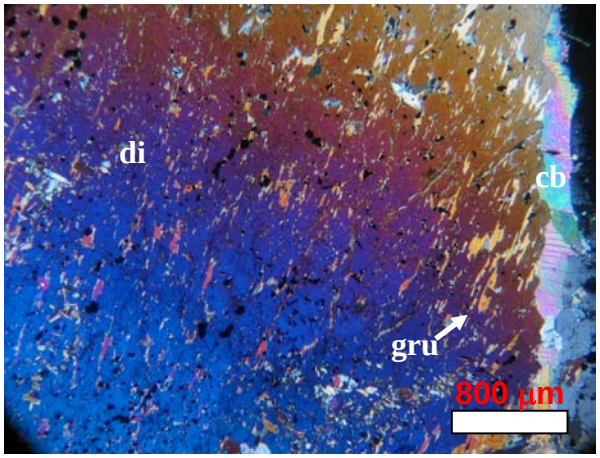
Fotomicrografia 19: FD 162-177 - Bandas de mt + gru, alternadas com bandas de qzo, mostram a associação comum da gru com a mt. Lente 2,5 X, nicóis cruzados, luz transmitida.



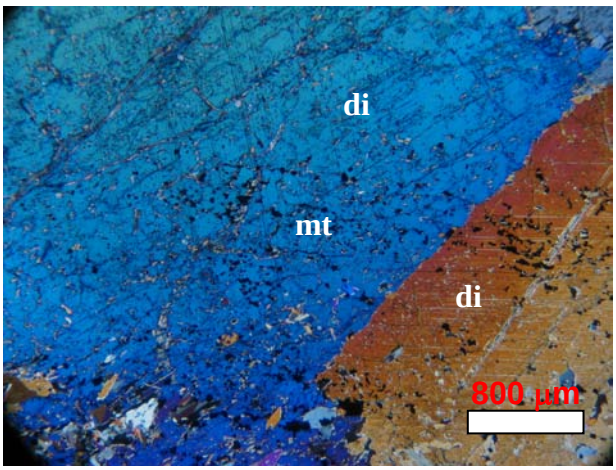
Fotomicrografia 20: FD 192-169.- Poiquiloblasto de di repleto de inclusões de grunerita. Lente 10 X, nicóis cruzados, luz transmitida.



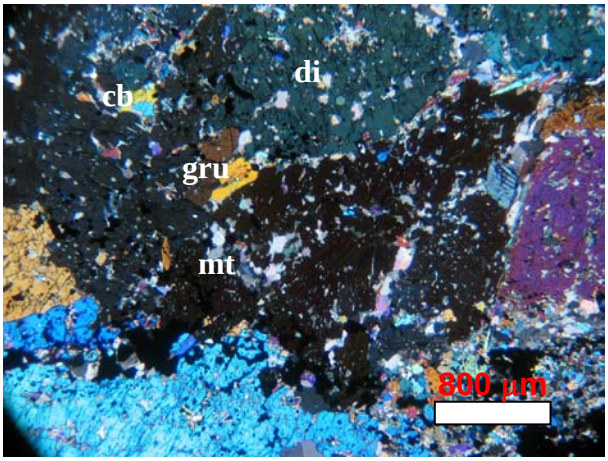
Fotomicrografia 21: FD795-57477- Poiquiloblasto de di, com inclusões de gru + mt em bandas. Lente 10 X, nicóis cruzados, luz transmitida.



Fotomicrografia 22: FD659-18600 - Poiquiloblasto de di, com inclusões de gru + mt e veio de cb cortando di. Lente 2,5 X, nicóis cruzados, luz transmitida.

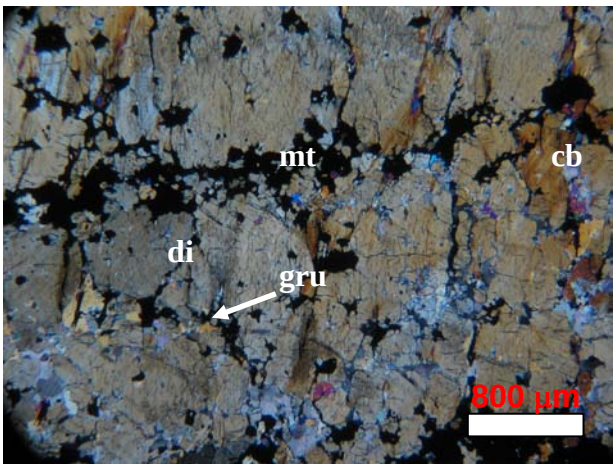


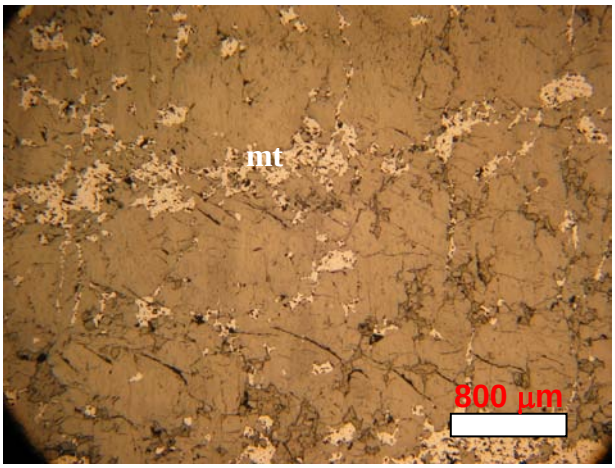
Fotomicrografia 23: FD659-18600.- Mesma banda de mt, registrada em dois poiquiloblastos de di. Lente 2,5 X, nicóis cruzados, luz transmitida.



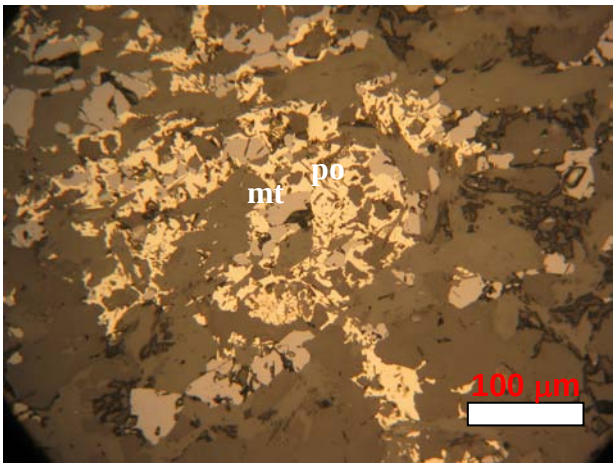
Fotomicrografia 24: FD708-23497 - Poiquiloblasto de di, com inclusões de gru, mt e agregados de grãos de cb. Lente 2,5 X, nicóis cruzados, luz transmitida.

Abreviaturas: cb – carbonato, di – diopsídio, gru – grunerita, mt – magnetita, qzo – quartzo.

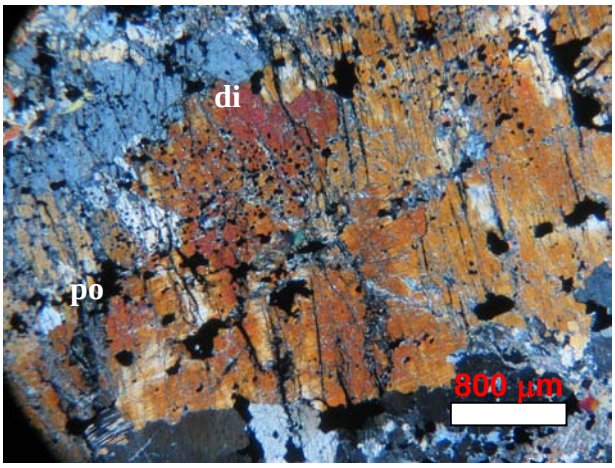




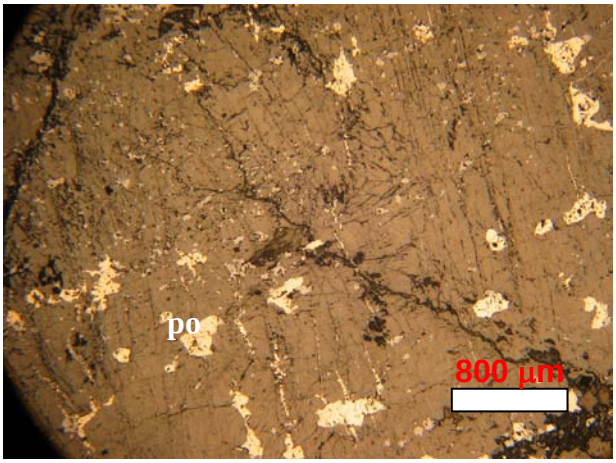
Fotomicrografias 25 e 26: FD703-23207. Poiquiloblasto de di, com inclusões de gru, mt e cb, e mt preenchendo fraturas no di. Lente 2,5 X, nicóis cruzados, luz transmitida e Lente 2,5 X, luz refletida.



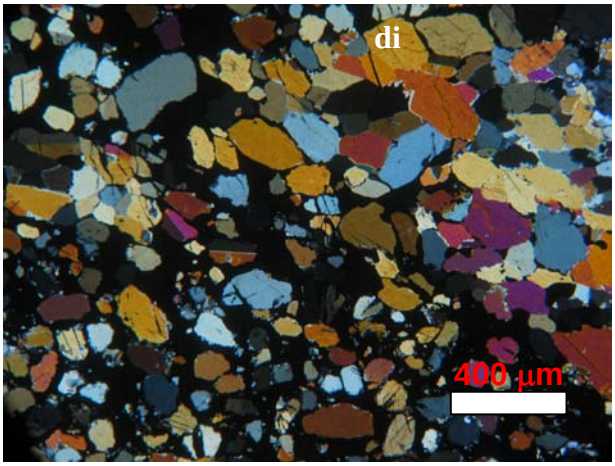
Fotomicrografia 27: FD192-169. Po envolve mt. Lente 20 X, luz refletida.



Fotomicrografia 28: FD192-172. Po preenche fratura do di. Lente 2,5 X, nicóis cruzados, luz transmitida.

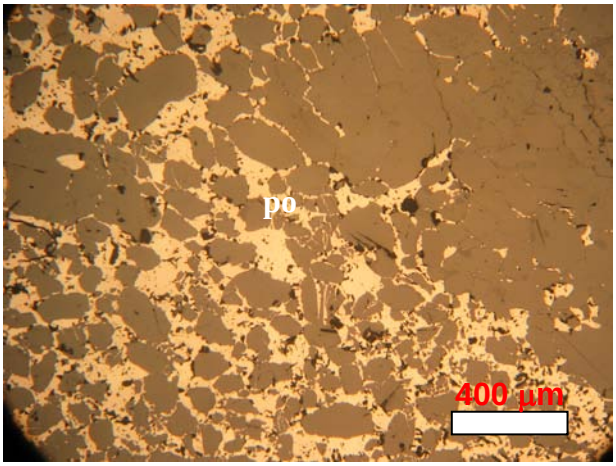


Fotomicrografia 29: FD192-172. Po preenche fratura do di. Lente 2,5 X, luz refletida.

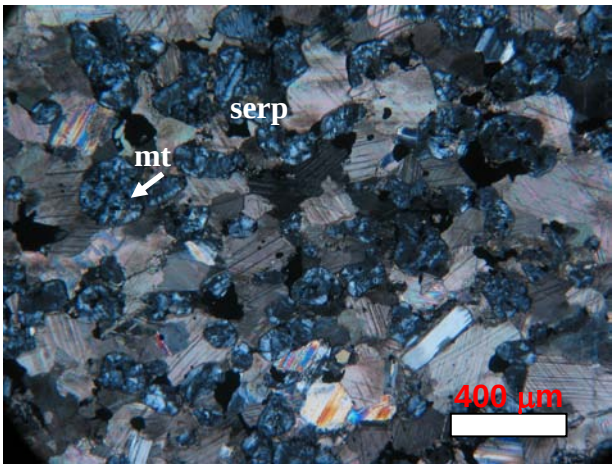


Fotomicrografia 30: FD795-57438. Fraturas no di, preenchidas por po. Lente 5 X, nicóis cruzados, luz transmitida.

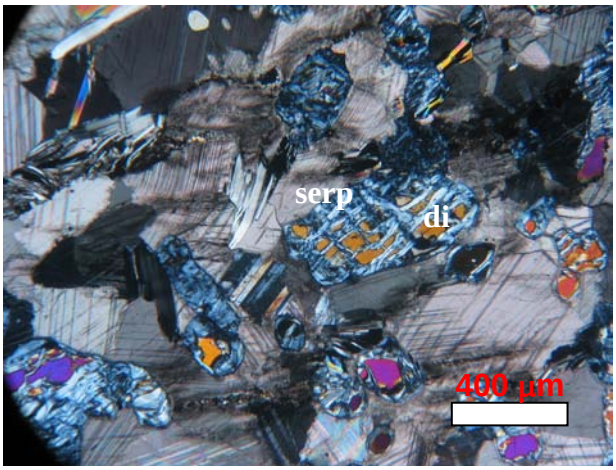
Abreviaturas: cb – carbonato, di – diopsídio, gru – grunerita, mt – magnetita, po – pirrotita.



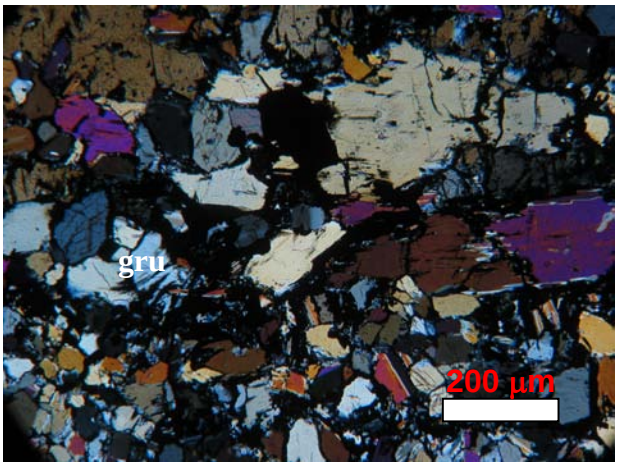
Fotomicrografia 31: FD795-57438. Fraturas no di, preenchidas por po. Lente 5 X, luz refletida.



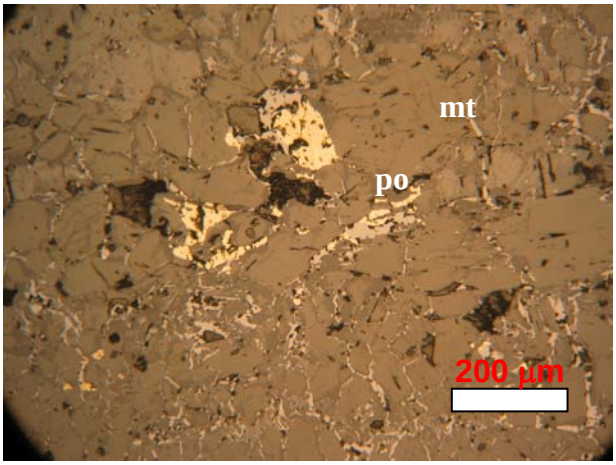
Fotomicrografia 32: FD659-18621. Serp incluindo diminutos grãos de mt. Lente 5 X, nicóis cruzados, luz transmitida.



Fotomicrografia 33: FD829-A. Serp substitui o di. Lente 5 X, nicóis cruzados, luz transmitida.



Fotomicrografia 34: FD192-180. Mt e po preenche fraturas na gru. Lente 10 X, nicóis cruzados, luz transmitida.



Fotomicrografia 35: FD192-180. Mt e po preenche fraturas na gru Lente 10 X, luz refletida.

Abreviaturas: di – diopsídio, gru – grunerita, mt – magnetita, po – pirrotita, serp – serpentina.

IV.3.4 Zonas de alteração hidrotermal do Amapari

Segundo Eilu et al. (1999), o estilo de deformação em depósitos de ouro orogênico, em rochas da fácies anfibolito médio a granulito inferior, é dominantemente dúctil e a estrutura hospedeira mais comum do ouro são amplas zonas de cisalhamento. Nessas zonas ocorrem múltiplos veios paralelos de 1-20 cm de largura, sendo a pirrotita o mineral dominante, enquanto que a arsenopirita é comum. Estes podem ser acompanhados por elementos traço de outros sulfetos e minerais de As, Bi, Sb e Te. Os halos de alteração hidrotermal são estreitos, raramente se estendendo além da zona de cisalhamento mineralizada. Na maioria dos casos, ocorrem somente duas zonas de alteração, uma distal da biotita e outra proximal do diopsídio. A largura da alteração distal é de 2 a 30 m (Fare 1989, Ridley & Barnicoal 1990, Cassidy 1992, McCuaig et al 1993, Bloem 1994, Witt et al. 1994 in Eilu et al. 1999) e a alteração proximal em torno de 5 m. Porém, como as bandas mono ou bi-minerálicas da rocha possuem entre 2 a 10 cm de largura, resultam em alteração proximal de aproximadamente 20 cm de largura (Fare 1989, Ridley & Barnicoal 1990, Mueller & Groves 1991, Cassidy 1992, McCuaig et al. 1993, Bloem 1994, Mernagh & Witt 1994, Witt et al. 1994 in Eilu et al. 1999).

Ainda segundo Eilu et al. (1999), a paragênese mineral na zona distal compreende a biotita + plagioclásio + hornblenda + ilmenita, com pirrotita e quartzo subordinados. Em FFb pode ser uma combinação de grunerita, ferro-actinolita, magnetita e quartzo de metamorfismo regional com pequena quantidade de grunerita, pirrotita e granada almandina rica em Fe. A paragênese na zona de alteração proximal apresenta diopsído + hornblenda + biotita + calcita + quartzo + ilmenita + pirrotita ± plagioclásio, K-feldspato, tremolita, granada, arsenopirita, loellingita e titanita. A melhor feição diagnóstica é a presença de minerais cálcio-silicáticos, sendo o diopsídio o mineral característico. Em FFb, o clinopiroxênio é mais rico em Fe e pode ter a composição de hedenbergita; entretanto a grunerita (ou fayalita) pode também estar presente.

No Amapari foi identificada a paragênese mineral das zonas distal e proximal nos domínios das FFb, rochas carbonáticas (RC) e, nas cálcio-silicáticas somente a zona proximal. Na zona distal algumas amostras apresentam biotita, além de outros minerais que a caracterizam, tais como quartzo, magnetita, grunerita, hornblenda e pirrotita. Na zona proximal o diopsídio está onipresente, assim como outros minerais característicos desta zona, estando em concordância com as observações de Eilu et al. (1999). A paragênese mineral de todas as amostras do Amapari encontram-se no Anexo 1.

No domínio das FFb, as amostras da zona distal e proximal apresentam as seguintes características:

FFb - zona distal → Observadas nos alvos Urucum, Taperebá C, Taperebá A e Martelo, com a paragênese biotita, hornblenda, grunerita, magnetita, quartzo e pirrotita. No geral, o quartzo e a magnetita aparecem em proporções maiores que 25%, a hornblenda, grunerita e pirrotita entre 10 a 25 % e, subordinadamente, a biotita entre traço a 3%, conforme pode ser observado na Figura 26.

FFb – zona proximal → Ocorre nos alvos Urucum, Taperebá B, Taperebá A e Vila do Meio, apresentando a paragênese diopsídio, hornblenda, grunerita, magnetita quartzo, pirrotita e arsenopirita. O diopsídio e o quartzo aparecem em proporções maiores que 25%, a hornblenda, grunerita, magnetita e pirrotita entre 10 a 25% e, subordinadamente, traços de arsenopirita (Figura 26).

Minerais	**FFb – zona de alteração distal**	**FFb - zona de alteração proximal**
Biotita	.....	
Hornblenda	– – – – – – – – –	– – – – – – – – –
Grunerita	– – – – – – – – –	– – – – – – – – –
Magnetita	———————	– – – – – – – – –
Quartzo	———————	———————
Pirrotita	– – – – – – – – –	– – – – – – – – –
Diopsídio		———————
Arsenopirita		.....

Proporção mineral

traço a 10% .....

10 – 25% – – – –

> 25% ———

Figura 26: Paragênese mineral das zonas de alteração hidrotermal distal e proximal das FFb do Amapari.

No domínio das rochas carbonáticas, as zonas de alteração apresentam as seguintes características:

RC – zona distal → Ocorrem nos alvos Taperebá C, Taperebá B e Vila do Meio e apresentam a paragênese grunerita, magnetita, quartzo, pirrotita e titanita. A magnetita e a grunerita se apresentam em proporções entre 10 a 25%; subordinadamente, a pirrotita e a titanita entre traço a 10%. O quartzo é raro e onde presente é de aproximadamente 2% (Figura 27).

RC – zona proximal → No estudo das rochas carbonáticas não se efetuou a distinção da calcita de outros carbonatos. Portanto, o carbonato foi incluído como mineral da paragênese proximal. Ocorrem nos alvos Taperebá D, Taperebá B, Taperebá A e Vila do Meio, com a paragênese mineral diopsídio, hornblenda, grunerita, magnetita, quartzo, pirrotita, plagioclásio, K-feldspato, biotita, arsenopirita e titanita. O diopsído e o carbonato estão presentes em todas as amostras desta zona, em grande parte em proporções maiores que 25%, a hornblenda, onde presente, também apresenta mais que 25%, a grunerita e magnetita entre 10 a 20% e a biotita entre traço a 10%, excepcionalmente 12 a 15%. Subordinadamente estão a pirrotita, arsenopirita e a titanita entre traço a 6%. O quartzo, K-feldspato e o plagiclásio são esporádicos e em proporções entre 3 a 8 %, excepcionalmente 15% para este último mineral (Figura 27).

Minerais	**RC – zona de alteração distal**	**RC – zona de alteração proximal**
Carbonato		———
Biotita		.....
Grunerita	.....	– – – – – – –
Hornblenda		———
Magnetita	– – – – – –	– – – – – – –
Quartzo	.....	.....
Pirrotita	.....	.....
Diopsídio		———
Plagioclásio		.....
K-feldspato		.....
Arsenopirita		.....
Titanita	.....	.....

Proporção mineral

traço a 10% .....

10 – 25% – – – –

> 25% ———

Figura 27: Paragênese mineral das zonas de alteração hidrotermal distal e proximal das rochas carbonáticas do Amapari.

As rochas cálcio-silicáticas apresentam somente amostras da paragênese mineral da zona de alteração proximal, com as seguintes características:

Cálcio-silicáticas - zona proximal → Ocorrem nos alvos Urucum, Taperebá B e Vila do Meio, com diopsídio, hornblenda, grunerita, magnetita, quartzo, pirrotita, titanita e biotita. O diopsídio e a magnetita ocorrem, em geral, acima de 25 %, a hornblenda e a grunerita entre 5 a 25%, excepcionalmente 30% no caso da grunerita; subordinadamente o quartzo e a pirrotita ocorrem entre 1 a 14%, além de esporádica titanita e biotita entre 1 e 2% (Figura 28).

Minerais	**Cálcio-silicática – zona de alteração proximal**
Hornblenda	– – – – – – – –
Grunerita	– – – – – – – –
Magnetita	———————
Quartzo	.....
Pirrotita	.....
Diopsídio	———————
Biotita	.....
Titanita	.....

Proporção mineral

traço a 10%	.....
10 – 25%	– – – –
> 25%	———

Figura 28: Paragênese mineral da zona de alteração hidrotermal proximal das rochas cálcio-silicáticas do Amapari.

Isto quer dizer que certos alvos representam zonas mais ou menos alterados, o que deve refletir a quantidade de ouro que cada um tem.

CAPÍTULO V – GEOUÍMICA DE ROCHA

As formações ferríferas bandadas (FFb) e as metacarbonáticas (doravante chamdas de rochas carbonáticas) são as hospedeiras da mineralização aurífera do depósito de ouro do Amapari.

O que motivou a análise química dessas litologias foi a suspeita de que algumas rochas carbonáticas, ricas em magnetita e, às vezes, até bandadas, pudessem representar o produto de intensa alteração hidrotermal carbonática sobre FFb. Além disso, pretendia-se tentar distinguir possíveis diferentes protólitos para as rochas resultantes do metamorfismo de contato/escarnítico. Essas amostras correspondem aos alvos Urucum (URUC), Taperebá A (TAP A), B (TAP B), C (TAP C), D (TAP D) e Vila do Meio (V. MEIO).

Um total de 22 amostras de testemunhos de sondagem foram submetidas à análise química de elementos maiores (óxidos), elementos traços e elementos terras raras (ETR), no laboratório Acme de Vancouver - Canadá. Desse total, 10 são de FFb, 11 de rocha carbonática e 1 de cálcio-silicática. O certificado de análise encontra-se no Anexo 14.

V.1 Laboratório AcmeLabs

Amostras de testemunho de sondagem analisadas no laboratório Acme foram secadas a aproximadamente 60ºC, britadas a -10 *mesh*, submetidas a quarteamento até uma alíquota de 250 gramas e pulverizadas a -150 *mesh*. Os procedimentos analíticos estão relacionados a dois grupos principais, codificadas como: Grupo 4A e Grupo 4B, conforme manual de análise da ACME.

Grupo 4A: amostras de 5 gramas foram fundidas com metaborato de lítio e digeridas com HNO_3 e analisadas por ICP-ES para elementos maiores (óxidos) e alguns elementos menores. Perda ao Fogo (PF) foi por perda por ignição e, C e S analisados por Leco. Grupo 4B: para análise de metais base, as amostras foram digeridas por água-régia, enquanto para análise de elementos de terras raras e demais elementos químicos foram fundidas com metaborato/tetraborato de lítio. Alíquotas de 5 gramas foram analisadas por ICP-MS. Na Tabela 6, são apresentados os elementos de cada grupo, com os respectivos limites de detecção inferior e superior.

V.2 Tratamento dos dados

Os resultados analíticos de óxidos foram tabulados em planilha Excel e tratados em programa Minpet Mineralogical and Petrological Data Processing System versão 2.0, de

autoria da Linda R.Richard para a elaboração de gráficos: CaO x SiO_2, Mg x SiO_2 e CaO +MgO x SiO_2.

V.3 Elementos maiores (óxidos)

Os óxidos analisados foram os elementos usuais e constaram de: SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3 (Fe total), MgO, CaO, Na_2O, K_2O, TiO_2, P_2O_5, MnO, Cr_2O_3 e PF (Anexo 14), com resultados expressos em porcentagem (Tabelas 7 e 8). Esses resultados são importantes na obtenção da composição modal das litologias analisadas e permitem também separar as FFb das rochas carbonáticas.

Tabela 6: Código dos métodos analíticos e limites de detecção inferior e superior

Grupo 4A		Grupo 4B		Grupo 4B	
SiO2	(0.01 - 100 %)	Au	(0.5ppb – 100 ppm)	U	(0.1 – 10.000 ppm)
Al2O3	(0.01 - 100%)	Ag	(0.1 – 100 ppm)	V	(8 – 10.000 ppm)
Fe2O3	(0.04 - 100 %)	As	(1 – 10.000 ppm)	W	(0.5 – 10.000 ppm)
CaO	(0.01 - 100%)	Ba	(1 – 50.000 ppm)	Y	(0.1 – 50.000 ppm)
MgO	(0.01 - 100 %)	Be	(1 – 10.000ppm)	Zn	(1 – 10.000 ppm)
Na2O	(0.01 - 100%)	Bi	(0.1 – 2.000 ppm)	Zr	(0.1 – 50.000 ppm)
K2O	(0.01 - 100 %)	Cd	(0.1 – 2.000 ppm)	La	(0.1 – 50.000 ppm)
MnO	(0.01 - 100%)	Co	(0.2 – 10.000ppm)	Ce	(0.1 – 50.000 ppm)
TiO2	(0.01 -100 %)	Cs	(0.1 – 10.000 ppm)	Pr	(0.02 – 10.000 ppm)
P2O5	(0.001 - 100 %)	Cu	(1 – 10.000 ppm)	Nd	(0.3 – 10.000 ppm)
Cr2O3	(0.002 - 100%)	Ga	(0.5 – 10.000 ppm)	Sm	(0.05 – 10.000 ppm)
LOI	(0.1 - 100%)	Hf	(0.1 – 10.000 ppm)	Eu	(0.02 – 10.000 ppm)
C	(0.01 - 100%)	Hg	(0.1 - 100 ppm)	Gd	(0.05 – 10.000 ppm)
S	(0.01 - 100%)	Mo	(0.1 – 2.000 ppm)	Tb	(0.01 – 10.000 ppm)
Ba	(5 - 50.000 ppm)	Nb	(0.1 – 50.000 ppm)	Dy	(0.05 – 10.000 ppm)
Co	(20 – 10.000 ppm)	Ni	(0.1 – 10.000 ppm)	Ho	(0.02 – 10.000 ppm)
Cu	(5 – 10.000 ppm)	Pb	(0.1 – 10.000 ppm)	Er	(0.03 – 10.000 ppm)
Nb	(5 – 50.000 ppm)	Rb	(0.1 – 10.000 ppm)	Tm	(0.01 – 10.000 ppm)
Ni	(20 – 10.000 ppm)	Sb	(0.1 – 2.000 ppm)	Yb	(0.05 – 10.000 ppm)
Sc	(1 - 10.000 ppm)	Sc	(upper limit 10.000)	Lu	(0.01 – 10.000 ppm)
Sr	(2 – 50.000 ppm)	Se	(0.5 - 100 ppm)		
Ta	(20 – 50.000 ppm)	Sn	(1 – 10.000 ppm)		
Y	(3 – 50.000 ppm)	Sr	(0.5 – 50.000 ppm)		
Zn	(5 – 10.000 ppm)	Ta	(0.1 – 50.000 ppm)		
Zr	(5 – 50.000 ppm)	Th	(0.2 – 50.000 ppm)		
Ce	(30 – 50.000 ppm)	Tl	(0.1 – 1.000 ppm)		

V.3.1 Formação ferrífera bandada (FFb), rochas carbonáticas e cálcio-silicáticas

Os resultados analíticos de FFb, listados na Tabela 7, mostram alto conteúdo em Fe_2O_3, variando entre 25,8 a 57,3 % e também em SiO_2, variando entre 38,2 % a 63,7%.

Além dos valores elevados em CaO, os resultados de rocha carbonática apontam quatro amostras (FD659-18627, FD829-A e FVD007-46507 e 511), respectivamente dos alvos

Taperebá A, Urucum e Vila do Meio, com conteúdos relativamente elevados de MgO respectivamente, 15,71; 17,78; 18,93 e 17,4 %. Os minerais magnesianos observados em seções delgadas, nas referidas amostras, estão representados por clorita magnesiana (comum às três primeiras amostras), serpentina nas duas primeiras amostras e talco (somente na primeira). Esta associação de minerais magnesianos sugere uma rocha carbonática, dolomítica, impura. Entretanto, na última amostra só se observa a flogopita.

A amostra de cálcio-silicática (FVD 795-57451/52) do alvo Urucum apresenta valores elevados a médios de CaO e MgO 16,74 e 10,43 %, respectivamente, e elevado valor de SiO_2.

No estudo petrográfico são identificados os principais minerais (em porcetagens em volume): diopsídio (51%), hornblenda (25%), quartzo (1%) e grunerita (5%) e subordinadamente pirrotita + ilmenita (3%). Assim, a amostra parece representar, sob o ponto de vista geoquímico (Anexo 1), um termo intermediário entre as FFb e as rochas carbonáticas.

Análise de dolomito apresentada, abaixo, por Pettijohn (1975) indica que as quatro amostras de rocha carbonática do Amapari, com alto conteúdo de MgO, mostram certa semelhança com o dolomito chértico do Niagaran Group (Silurian), Highland County, Ohio (amostra E) no conteúdo de sílica, CaO e MgO.

TABLE 81. Chemical Composition of Dolomites
(per cent)

Constituent	A	B	C	D	E	F
SiO_2	....	2.55	7.96	3.24	24.92	0.73[a]
TiO_2	....	0.02	0.12	....	0.18	....
Al_2O_3	....	0.23	1.97	0.17	1.82	0.20
Fe_2O_3	....	0.02	0.14	0.17	0.66	....
FeO	....	0.18	0.56	0.06	0.40	1.03[b]
MnO	....	0.04	0.07	....	0.11	....
MgO	21.9	7.07	19.46	20.84	14.70	20.48
CaO	30.4	45.65	26.72	29.58	22.32	30.97
Na_2O	....	0.01	0.42	....	0.03	....
K_2O	....	0.03	0.12	....	0.04	....
H_2O+	....	0.05	0.33	0.30	0.42	....
H_2O-	....	0.18	0.30		0.36	....
P_2O_5	....	0.04	0.91	....	0.01	0.05
CO_2	47.7	43.60	41.13	45.54	33.82	47.51[c]
SO_3	....	0.03	....	....	0.01[d]	....
S	....	0.30[e]	0.19	....	0.16[e]	....
BaO	....	0.01[d]	none	....	none	....
SrO	....	0.01[d]	none	....	none	....
Organic	....	0.04[f]	....	....	0.08[f]	....
Total	100.0	100.06	100.40	99.90	100.04	100.97

A. Theoretical composition of pure dolomite.
B. Dolomitic limestone, Monroe formation (Devonian), Downs Schaaf, analyst (Stout, 1941, p. 564).
C. Niagaran dolomite (Silurian), Joliet, Ill. D. F. Higgins, analyst (Fisher, 1925, p. 34). MgO dolomite equivalent is 89.5 per cent.
D. "Knox" dolomite (Cambro-Ordovician), Morrisville, Ala. W. F. Hillebrand, analyst (Russell, 1889, p. 25). MgO dolomite equivalent is 96.5 per cent.
E. Cherty dolomite, Niagaran group (Silurian) Highland County, Ohio. Downs Schaaf, analyst (Stout, 1941, p. 82).
F. Randville dolomite (Precambrian), Dickinson County, Michigan. E. E. Brewster, analyst (Bayley, 1904, p. 215). MgO dolomite equivalent is 94.5 per cent.
[a] Residue (mostly silica).
[b] Calculated from reported iron.
[c] Calculated from ferrous iron, magnesia, and lime.
[d] Constituent does not exceed figure given.
[e] Calculated as pyrite.
[f] Organic carbon.

Tabela 7: Elementos Óxidos - FFb – Depósito de Ouro do Amapari

Alvo	TAP C	TAP C	TAP A	TAP A	TAP A	URUC	URUC	URUC	URUC	URUC
Elemento	FD162-102	FD162-137-138	FD708-23490	FD708-23504	FD708-23531	FD795-57438	FD795-57485	FD815-69464	FD815-69469	FD815-69500
SiO2 %	47.55	50.35	53.51	38.16	40.05	46.96	52.39	63.75	46.82	55.45
Al2O3 %	0.44	0.41	0.18	0.26	0.13	1.52	0.26	1.27	0.69	0.24
Fe2O3 %	46.14	41.30	41.45	48.72	57.31	30.67	44.65	25.83	42.85	35.95
MgO %	4.19	3.73	1.72	1.90	1.41	6.03	1.44	3.25	4.44	2.44
CaO %	3.33	3.13	3.35	2.96	2.50	10.72	2.18	4.99	4.36	3.54
Na2O %	0.06	0.07	0.03	0.02	0.01	0.14	0.03	0.08	0.03	*
K2O %	0.04	0.05	*	0.02	*	0.04	*	0.02	0.02	*
TiO2 %	0.03	0.03	*	0.02	*	0.10	0.01	0.02	0.04	0.01
P2O5 %	0.34	0.26	0.14	0.39	0.25	0.68	0.16	0.12	0.33	0.23
MnO %	0.19	0.16	0.12	0.11	0.08	0.48	0.06	0.28	0.21	0.63
Cr2O3 %	0.01	*	*	*	*	0.00	*	*	*	*
LOI %	0.00	0.40	0.00	7.00	0.00	2.50	0.00	0.30	0.10	1.40
Total %	102.31	99.89	100.50	99.56	101.74	99.84	101.18	99.91	99.89	99.89

* Valores abaixo do limite de detecção

Tabela 8: Elementos Óxidos – rochas carbonáticas – Depósito de Ouro do Amapari

Alvo	TAP C	TAP C	TAP D	TAP D	TAP D	TAP D	TAP A	TAP B	URUC	V. MEIO	V. MEIO	V. MEIO
Elemento	FD162-182	FD162-192	FD196-42	FD196-89	FD640-10190A	FD640-10210	FD659-18627	FD703-23237	FD829-A	FVD007-46507	FVD007-46511	**FVD007-57451/52[cc]**
SiO2_%	7.89	1.67	15.68	20.25	27.96	41.01	25.3	4.22	20.79	16.09	13.59	
Al2O3_%	1.67	0.17	1.82	2.53	5.02	4.4	0.51	0.1	1.02	0.76	1.93	
Fe2O3_%	46.06	54.99	3.15	4.21	7	4.45	18.79	45.53	4.55	2.68	3.41	
MgO_%	7.43	9.7	6.05	7.6	7.53	6.58	15.71	6.82	17.78	18.93	17.4	
CaO_%	17.55	10.48	39.61	36.38	29.22	26.88	22.2	21.38	27.58	30.28	27.05	
Na2O_%	0.28	*	0.02	0.17	0.08	0.74	0.04	*	0.05	*	0.03	
K2O_%	0.14	*	0.51	0.54	1.02	0.79	0.07	*	0.28	0.12	0.6	
TiO2_%	0.09	0.08	0.07	0.1	0.22	0.12	0.04	0.04	0.06	0.14	0.09	
P2O5_%	0.284	0.153	*	0.016	0.021	0.022	0.089	0.393	0.015	0.13	0.023	
MnO_%	0.9	0.96	0.87	0.99	0.95	0.82	1.71	0.28	0.69	1.09	1.33	
Cr2O3_%	*	0.004	0.007	0.007	0.011	0.009	*	*	*	0.003	0.004	
LOI_%	5.3	7.6	31.2	26.5	20.5	13.8	14.5	21.1	26	28.5	33.5	
Sum_%	87.594	85.807	98.987	99.293	99.532	99.621	98.959	99.863	98.815	98.723	98.957	99.84

* Valores abaixo do limite de detecção, [CC] = cálcio-silicática

V.3.2 Discriminação geoquímica entre rochas carbonáticas e FFb

Para efeito de apresentação, tanto em tabelas como em gráficos, a amostra de cálcio-silicática é apresentada juntamente com as rochas carbonáticas.

A diferenciação entre as rochas carbonáticas e as FFb pode ser obtida graficamente quando se compara a relação CaO x SiO_2, MgO x SiO_2 (Figuras 29 a e b). As rochas carbonáticas apresentam maior conteúdo de CaO, MgO e CaO+MgO e baixo conteúdo em SiO_2, enquanto as FFb são mais ricas em SiO_2 e são mais pobres em CaO e MgO. A amostra de cálcio-silicática revela elevado a médio conteúdo em CaO e MgO e, baixo a médio conteúdo em SiO_2..

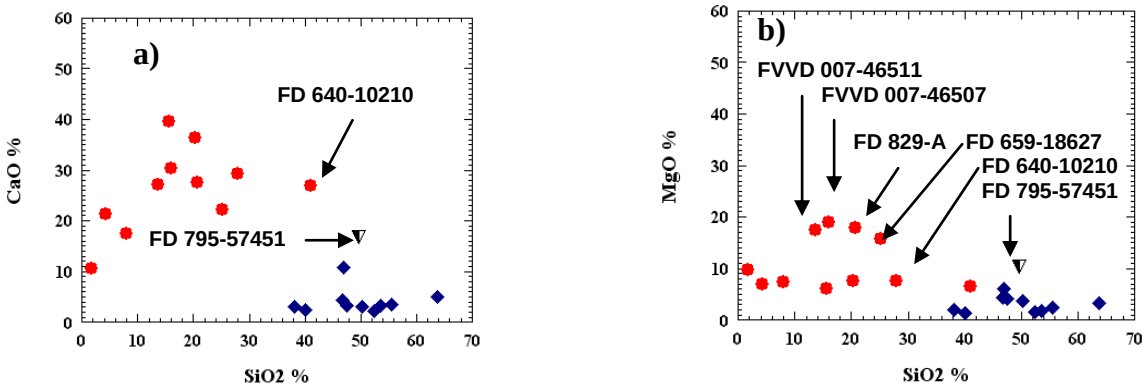


Figura 29: Diagramas a) CaO x SiO_2, b) MgO x SiO_2, que separam as rochas carbonáticas (vermelho), com pouca sílica e porcentagem mais elevada em CaO, MgO ou CaO + MgO, em relação à FFb (azul), com baixo conteúdo de CaO, MgO e elevado em SiO_2. Valores elevados em MgO do gráfico b referem-se a rochas carbonáticas dolomíticas. Preto corresponde a cálcio-silicática.

A rocha carbonática (FD 640-10210) do alvo Taperebá D, com significativo conteúdo em SiO_2, é rica em diopsídio, grunerita e biotita. A diferenciação entre a FFb e a rocha carbonática pode também ser efetuada através do gráfico Fe_2O_3T (total) x SiO_2, ou CaO x razão SiO_2/Fe_2O_3T (total). As FFb são mais ricas em Fe_2O_3T (total) e em SiO_2, conseqüentemente menor razão SiO_2/Fe_2O_3T (total), enquanto as rochas carbonáticas, no geral, são mais pobres nesses dois óxidos (Figuras 30 a e b). Entre as 11 amostras de rocha carbonática observam-se dois grupos (Figura 30 b), marcados por diferentes concentrações na razão Si/Fe. As quatro amostras da esquerda são as que contêm maior porcentagem de Fe_2O_3 e as demais maior porcentagem de carbonato. Essas quatro com mais alto ferro são FD 162-182 e 192, FD 703-23237 e FD 659-18627, respectivamente dos alvos Taperebá C, B e A. Em seção delgada, as mesmas contêm quantidades consideráveis de magnetita + pirrotita (nas duas primeiras amostras) e somente magnetita na terceira. A última amostra apresenta

magnetita + pirita. As três primeiras contêm também ouro. A possibilidade dessas amostras de Fe_2O_3 mais alto representarem FFb afetadas por intensa alteração hidrotermal carbonática deve ser investigada. Em termos de conteúdo em Fe_2O_3 e SiO_2, bem como no conteúdo de CaO e razão Fe/SiO2 (Figuras 30 a e b), a amostra de rocha cálcio-silicática situa-se numa zona intermediária entre as FFb e as rochas carbonáticas.

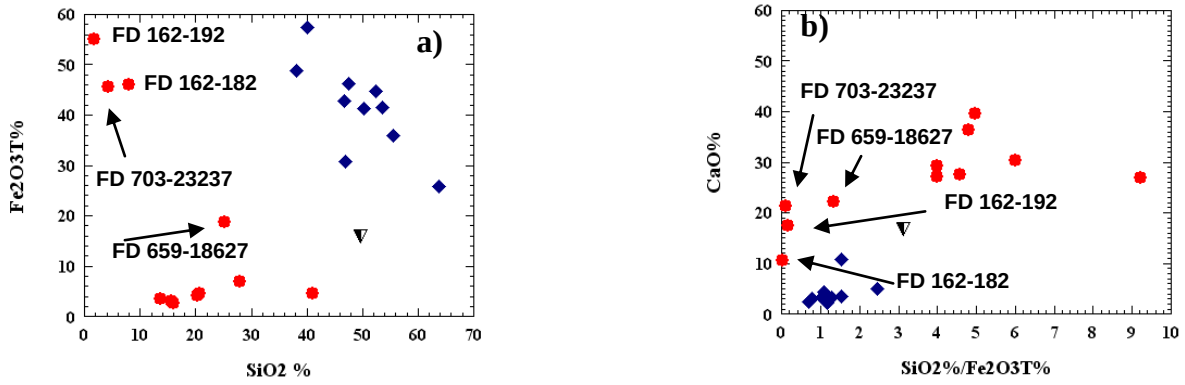


Figura 30: Diagramas a) Fe_2O_3T x SiO_2 e b) CaO x SiO_2 /Fe_2O_3T (total), mostrando a nítida separação entre as rochas carbonáticas (vermelho) pobres em Fe_2O_3T e SiO_2 e as FFb (azul) ricas nesses dois óxidos; a amostra de cálcio-silicática está em preto.

V.4 Elementos Terras Raras

V.4.1 Revisão do conhecimento

Os estudos de ETR têm importantes aplicações na petrologia ígnea, sedimentar e metamórfica (Rollinson 1993). Os ETR compreendem uma série de metais com número atômico entre 57 a 71, do Lantânio (La), Cério (Ce), Praseodímio (Pr), Neodímio (Nd), Samário (Sm), Européio (Eu), Gadolínio (Gd), Térbio (Tb), Disprásio (Dy), Hólmio (Ho), Érbio (Er), Túlio (Tm), Ytérbio (Yb) até o Lutércio (Lu).

Os membros da série com menor massa e número atômico, entre o La e o Sm, são denominados elementos terras raras leves (ETRL). Aqueles com maior massa e número atômico são os elementos terras raras pesados (ETRP), entre Gd e Lu. Os membros médios do grupo, entre o Pm e o Ho, são os elementos terras raras médios (ETRM) (Henderson 1984).

Todos os ETR possuem propriedades químicas e físicas semelhantes, pelo fato de formarem íons 3+ estáveis de tamanho similar. As diferenças que existem no seu comportamento químico são devidas ao pequeno, mas regular, decréscimo no tamanho iônico com o aumento do número atômico. Estas pequenas diferenças no tamanho e comportamento são exploradas em numerosos processos petrológicos, quando ocorre o fracionamento de alguns dos ETR em relação a outros. Este fenômeno é utilizado em geoquímica para investigar processos petrológicos (Rollinson 1993).

Os ETR são considerados os elementos traços menos solúveis e são relativamente imóveis durante o metamorfismo de baixo grau, intemperismo e alteração hidrotermal (Rollinson 1993). Portanto, o padrão de

ETR, mesmo em rochas levemente alteradas, pode representar fielmente a composição da rocha original não alterada, com bom grau de confiança.

V.4.2 ETR em sedimentos e rochas sedimentares clásticas

Segundo Fleet (1984), a análise por Minami (1935) de "folhelhos" europeus e japoneses do Paleozóico e Mesozóico foi o primeiro trabalho sobre ETR em ambiente sedimentar. Poucos trabalhos foram realizados até a década de 1960. Estes estão relacionados a estudos fundamentais realizados por Haskin & Gehl (1968), Balashov et. al. (1964), Wildeman & Haskin (1965), Spirn (1965), Haskin et al. (1966). Esses trabalhos estabeleceram que o conteúdo de ETR da maioria dos folhelhos são muito similares e os mesmos estão enriquecidos em ETRL em relação aos ETRP, quando normalizados para condritos.

O reconhecimento da similaridade no conteúdo em ETR de sedimentos em geral e de "folhelhos" em particular direcionou a idéia de que a média de abundância dos ETR em rochas sedimentares pode ser tomada para representar a média do conteúdo de ETR da crosta, ou pelo menos da crosta superior, como sugeriu originalmente Goldschmidt (1954 in Fleet 1984)

Cullers et al. (1979 in McLennan 1989) descobriram que o total dos ETR reside nas frações silte e argila, embora não tenha nenhuma correlação direta com a mineralogia da argila. A fração silte tende a ter abundância total menor, em comparação com a fração argila, sugerindo que o maior controle é o efeito da diluição do quartzo, um mineral muito pobre em ETR.

A calcita e a dolomita também têm baixa abundância de ETR (embora normalmente mais alta que o quartzo), resultando no efeito da diluição (Taylor & McLennan 1989) (in McLennan 1989).

O pH é o fator que mais controla a mobilidade dos ETR (Humphris 1986 in Fleet 1984). Brown et al. (1955 in Fleet 1984) descobriram que sob condições ácidas os ETR são facilmente removidos das argilas, mas sob condições neutras ou alcalinas eles se fixam nas argilas. Em outras palavras, a mobilização dos ETR pode ocorrer durante o intemperismo**,** mas não parece ser significante durante a erosão e o transporte.

O conteúdo dos materiais detríticos que chegam aos oceanos é semelhante àqueles dos sedimentos, em geral, estando enriquecidos em ETRL em relação aos ETRP, e não apresentando nenhum empobrecimento ou enriquecimento marcante de qualquer ETR em particular (Høgdahl 1970, Martin et al. 1976 in Fleet 1984). É sugestivo que o material detrítico, uma vez introduzido no ambiente marinho, se acumule ali para formar depósitos sedimentares sem experimentar significativas mudanças no seu conteúdo de ETR**.** O enriquecimento em ETRL reflete a grande abundância destes ETR na crosta continental, enquanto o enriquecimento dos ETRP provavelmente reflete a habilidade destes elementos em formar complexos solúveis (Goldberg et al. 1963 in Fleet 1984).

O conteúdo de ETR em rochas sedimentares clásticas pode fornecer a sua proveniência (Fleet 1984, McLennan 1989 in Rollinson 1993). Isto porque os ETR são insolúveis e estão presentes em concentrações bastante baixas nas águas do mar e nos rios. Os ETR presentes nos sedimentos são transportados principalmente como partículas e refletem a química de sua fonte. Os efeitos de intemperismo e transporte são pouco significativos. Estudos de Nesbit (1979 in Rollinson 1993) mostram que os ETR mobilizados durante o intemperismo são reprecipitados no mesmo sítio de intemperismo

V.4.3 Sedimentos e rochas sedimentares químicas

Os sedimentos químicos parecem refletir essencialmente a composição da água do mar de onde eles foram precipitados (Rollinson 1993). A composição dos sedimentos químicos também reflete as condições locais de óxi-redução que são fortemente influenciadas por mudanças pós-deposicionais (Ederfield & Greaves 1981 in Rollingson, 1993).

Segundo Klein (2005), as formações ferríferas são rochas sedimentares químicas incomuns por causa de seu alto conteúdo em Fe. Em média, o Fe total varia entre 20 – 40% em peso, SiO_2 varia entre 34 – 56% em peso e contêm quantidades muito menores de CaO, MgO, MnO, Al_2O_3, Na_2O, K_2O e P_2O_5. O conteúdo de CaO, MgO e MnO reflete a presença comum de carbonatos em FFb (siderita, ankerita, pouca calcita), enquanto Al_2O_3, Na_2O, e K_2O estão contidos principalmente em silicatos (riebeckita, greenalita e stilpnomelano). Os valores de CaO e MgO variam de 1,75 a 9,0 % e 1,20 a 6,7 % em peso, respectivamente. O conteúdo de MnO geralmente é muito pequeno, variando de 0,1 a 1,15 %. O Al_2O_3 mostra uma variação de 0,09 a 1,8 % em peso (Klein 2005).

O perfil de FFbs de vários locais do mundo mostra uma diminuição na concentração total dos ETR, bem como anomalia positiva de Eu que é suavizada (até mesmo levemente negativa) em FFb mais jovens, com o decréscimo da idade das FFb. Este decréscimo da anomalia sugere um declínio da atividade hidrotermal nas bacias de oceano profundo desde o início do Arqueano até o início do Proterozóico (Klein 2005). Bau & Möller (1993 in Klein 2005) concluem que este decréscimo na anomalia positiva de Eu é o resultado do abaixamento de temperatura das soluções hidrotermais, como um reflexo do decréscimo da temperatura do manto superior.

V.4.4 Água do mar e fluidos hidrotermais

Os ETR são os constituintes estáveis menos abundantes da água do mar, tendo concentrações da ordem de poucos nanogramas, isto porque estes elementos são eficientemente dela removidos, assim que entram no oceano; por exemplo, o Ce o que ocasiona o empobrecimento nesse elemento na água (Turner & Whitfield 1979 in Fleet 1984). Muitos padrões de terras raras também mostram anomalias negativas de Ce**,** porque o Ce_3^+ é oxidado nos oceanos para C^{4+} (Goldberg et al. 1963, Elderfield & Greaves 1982 in Peter 2003)**.** Goldberg (1961 in Fleet 1984) foi o primeiro a propor que o Ce^{3+} nos oceanos é oxidado para Ce^{4+} e é precipitado da solução como CeO_2, enquanto outros ETR permanecem no estado 3+ e são perdidos da solução sem fracionamento discernível desses ETR individuais.

Alguns minerais podem ajudar na remoção de ETR da água do mar, como por exemplo, a barita e fosfatos, além de sedimentos hidrotermais de cadeia meso oceânica e de nódulos de Mn. A barita de mar profundo contém maior abundância de ETR do que os sedimentos em geral (Piper 1974a, Guichard et al. 1979 in Fleet, 1984).

Os nódulos de manganês oceânico estão enriquecidos em ETR em relação aos sedimentos em geral. O Ce em particular exibe anomalia positiva, exceto em poucos casos em que os nódulos contêm significativo componente hidrotermal, exibindo assim anomalia negativa de Ce (Elderfield & Greaves 1981) (in Fleet 1984). Todos esses processos descritos contribuem para a extração do Ce da água do mar, com consequente empobrecimento deste elemento.

Estudos de Mitra et al. (1994 in Peter 2003), baseados em fluidos hidrotermais de fumarolas de assoalho oceânico, indicam que os fluidos tornam-se reduzidos devido a interação com rochas de subsuperfície, sendo assim enriquecidos em Eu devido à interação com o plagioclásio dessas rochas. De acordo com Sverjensky (1984 in Peter 2003), o potencial de oxi-redução Eu^{3+} / Eu^{2+} depende principalmente da temperatura e em menor

grau do pH, sendo pouco afetado pela pressão. À alta temperatura (> 250º C), o fluido vulcanogênico que reage com as rochas torna-se reduzido, favorecendo a estabilidade do Eu^{2+}.

Segundo Douville et al. (1999 in Peter 2003), o Eu existe primariamente como Eu^{2+}, na forma de complexo solúvel, sob alta temperatura, em condição redutora, junto a fumarolas hidrotermais no assoalho marinho. Nessas condições, os ETR ocorrem como complexo clorídrico, predominantemente como $EuCl_4^{2-}$ e subordinadamente como $EuCl^{3-}$. Como outros ETR estão no estado +3 (exceto para o Ce), a presença de Eu no estado +2 resulta em uma anomalia positiva de Eu, no fluido e no precipitado. Por exemplo, nos modernos assoalhos marinhos, os sulfetos maciços e óxidos que precipitam de *mounds* e de estruturas de chaminés na *Geotrasverse Trans-Atlântico* (TAG), situado na cadeia Meso-Atlântica, mostram anomalias positivas de Eu.

Estudos de Ruhlin & Owen (1986 in Figueiredo e Silva 2004) indicam que ETR de sedimentos metalíferos da cadeia do Pacífico leste e *mid Pacific rise* (EPR) mostram evidências de retirada de ETR por óxi-hidróxidos de ferro e um claro padrão de diminuição gradual em ETRL com o aumento da distância do eixo da cadeia.

Olivares & Owen (1991 in Figueiredo e Silva 2004) sugerem que a ausência de anomalia positiva significativa de Eu na água do mar se dá porque esse elemento é preferencialmente removido, em relação aos elementos vizinhos, das soluções de fumarolas, por precipitados hidrotermais.

V.4.5 A Transição Arqueano – Proterozóico

Estudos de Wilde & Raskin (1973) e Wildeman & Condie (1973 in McLennan 1989) confirmaram que as rochas sedimentares arqueanas estavam enriquecidas em Eu, em relação aos folhelhos pós-arqueanos.

Veizer & Jansen (1979) e McLennan (1988 in McLennan 1989) consideram que durante um extenso período de tempo, entre aproximadamente 3,2 Ga a 2,6 Ga, ocorreu um importante episódio de crescimento crustal. Isto foi acompanhado por: ampla granitogênese rica em K, com menor conteúdo de Eu (granitos e granodioritos), estabilização destas novas crostas que foram adicionadas aos terrenos cratônicos; e efetiva mudança na composição da crosta continental superior. Como estas novas adições foram incorporadas à massa sedimentar, a assinatura dos ETR do Arqueano deixou de ser a predominante e a média de composição das rochas sedimentares mudou para aquelas semelhantes ao *Post-Archean average Australian sedimentary rock* (*PAAS)* de MacLennan (1989). A abrupta mudança na composição dos sedimentos, apesar do efeito tampão induzido pelo processo de reciclagem sedimentar, atesta a magnitude deste evento (Veizer & Jansen 1979, McLennan 1988).

O padrão dos sedimentos com baixo Eu tem grande significado porque é sugestivo que, para o Arqueano e pós-Arqueano, a diferenciação intracrustal foi um processo fundamental envolvendo a maturação da crosta continental para um cráton estável (McLennan 1989).

V.5 Tratamento dos dados do Amapari

Os resultados analíticos das 22 amostras analisadas para ETR (Anexo 14) foram processados em programa Excel 5.0 para o cálculo de razões entre os mesmos. Para a confecção dos diagramas de distribuição de ETR utilizou-se o programa Minpet Mineralogical and Petrological Data Processing System versão 2.0, de autoria da Linda R. Richard.

Os valores obtidos estão apresentados nas Tabelas 8, 9 e 10, incluindo os somatórios dos ETRL, ETRP, ETR, as razões ETRL/ETRP e também as razões $(La/Sm)_N$ e $(Gd/Lu)_N$, tanto para condrito como para *PAAS* e água do mar – *Typical seawater* de Elderfield & Greaves (1982). As anomalias de Ce e de Eu, foram calculadas através da seguinte equação:

$Ce/Ce^* = Ce_N / \sqrt{[(La_N).(Pr_N)]}$ (1) (Taylor & McLennan, 1985)

onde: Ce_N é o valor do Ce normalizado

$Ce^* = \sqrt{[(La_N).(Pr_N)]}$

La_N é o valor do La normalizado

Pr_N é o valor do Pr normalizado

$Eu/Eu^* = Eu_N / \sqrt{[(Sm_N).(Gd_N)]}$ (2) (Taylor & McLennan, 1985)

onde: Eu_N é o valor do Eu normalizado

$Eu^* = \sqrt{[(Sm_N).(Gd_N)]}$

Sm_N é o valor do Sm normalizado

Gd_N é o valor do Gd normalizado

A extensão do fracionamento entre os ETRL é medido pela razão $(La/Sm)_N$ e entre os ETRP pela razão $(Gd/Lu)_N$ (Grossi Sad & Dutra 1987). Nestes cálculos, utilizam-se os valores normalizados de cada um dos referidos ETR.

O coeficiente de distribuição, que é a partição de um determinado elemento entre um mineral e um magma (ou outro meio), é dado pela razão da concentração entre o elemento no mineral e a concentração do elemento no meio (Grossi Sad & Dutra 1987 in Figueiredo e Silva, 2004). Os minerais formados por grandes poliedros de coordenação (alanita, magnetita e titanita) favorecem a entrada de ETRL (maior raio iônico), enquanto os minerais com estrutura poliédrica pequena (zircão) favorecem os ETRP (raio iônico menor). A aplicação prática desse coeficiente é a distribuição dos ETR entre minerais de um dado sistema.

Os resultados analíticos de ETR foram normalizados para o condrito Leedey obtido por Masuda et al. (1973) e para o *PAAS* de McLennan (1989). A vantagem da normalização para condritos é que a variação da abundância entre os ETR de número atômico ímpar e os de número par é eliminada e qualquer fracionamento entre os vários ETR nas espécies é discernível, já que nenhum fracionamento entre os ETRL e os ETRP é considerado nos condritos (Henderson 1984).

A opção pelo *PAAS* é devido à possibilidade de incluir material aberrante na composição da amostra (McLennan 1989). A normalização para a água do mar de Elderfield & Greaves (1982) tem o objetivo de comparar o conteúdo dos ETR nas amostras analisadas com a da água do mar, já que essas amostras originam-se de rochas sedimentares químicas.

Os dados de ETR das rochas carbonáticas e FFb são apresentados e interpretados a seguir.

V.5.1 ETR de formação ferrífera bandada e de rochas carbonáticas

Os resultados analíticos de ETR das FFb, rochas carbonáticas e uma amostra de cálcio-silicática do depósito Amapari, bem como suas classificações petrográficas, encontram-se nas Tabelas 9, 10 e 11, enquanto a Tabela 12 apresenta o ETR total, a classificação das rochas e as respectivas porcentagens em volume dos minerais mais importantes (no geral ≥ 5%) de cada amostra.

Esses resultados indicam que praticamente não existem diferenças significativas entre os ETR das rochas carbonáticas e as FFb. No geral, estas amostras apresentam maior conteúdo de ETRL, em relação aos ETRP. A razão ETRL/ETRP é maior nas rochas carbonáticas.

Na Tabela 9 abaixo estão sumarizados os valores máximos e mínimos do somatório dos ETRL, ETRP, ETR total, bem como a média desses valores, para FFb e rochas carbonáticas.

Tabela 9: Resultados de ETR e razões ETRL/ETRP

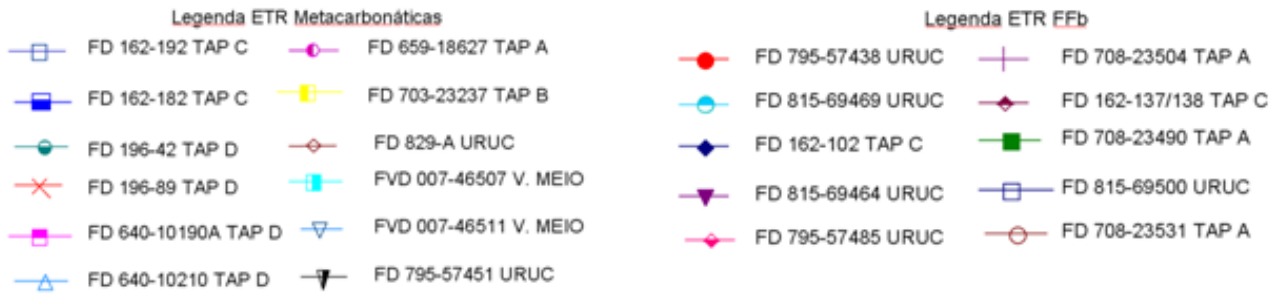
FFb - Variação dos Valores de ETR

Discriminação	Valor mín (ppm)	Valor máx (ppm)	Média (ppm)
Σ ETRL	9.24	43.04	23.55
Σ ETRP	2.78	12.71	7.32
Σ ETR	12.02	54.07	30.88
ETRL / ETRP	2.38	4.29	3.31

Rocha carbonática - Variação dos Valores de ETR

Discriminação	Valor mín (ppm)	Valor máx (ppm)	Média ppm)
Σ ETRL	11.13	59.1	28.98
Σ ETRP	2.01	11.22	6.35
Σ ETR	14.2	70.39	35.33
ETRL / ETRP	3.45	7.8	5.30

A legenda das amostras, a seguir, é a base de todas as figuras deste item sobre ETR.



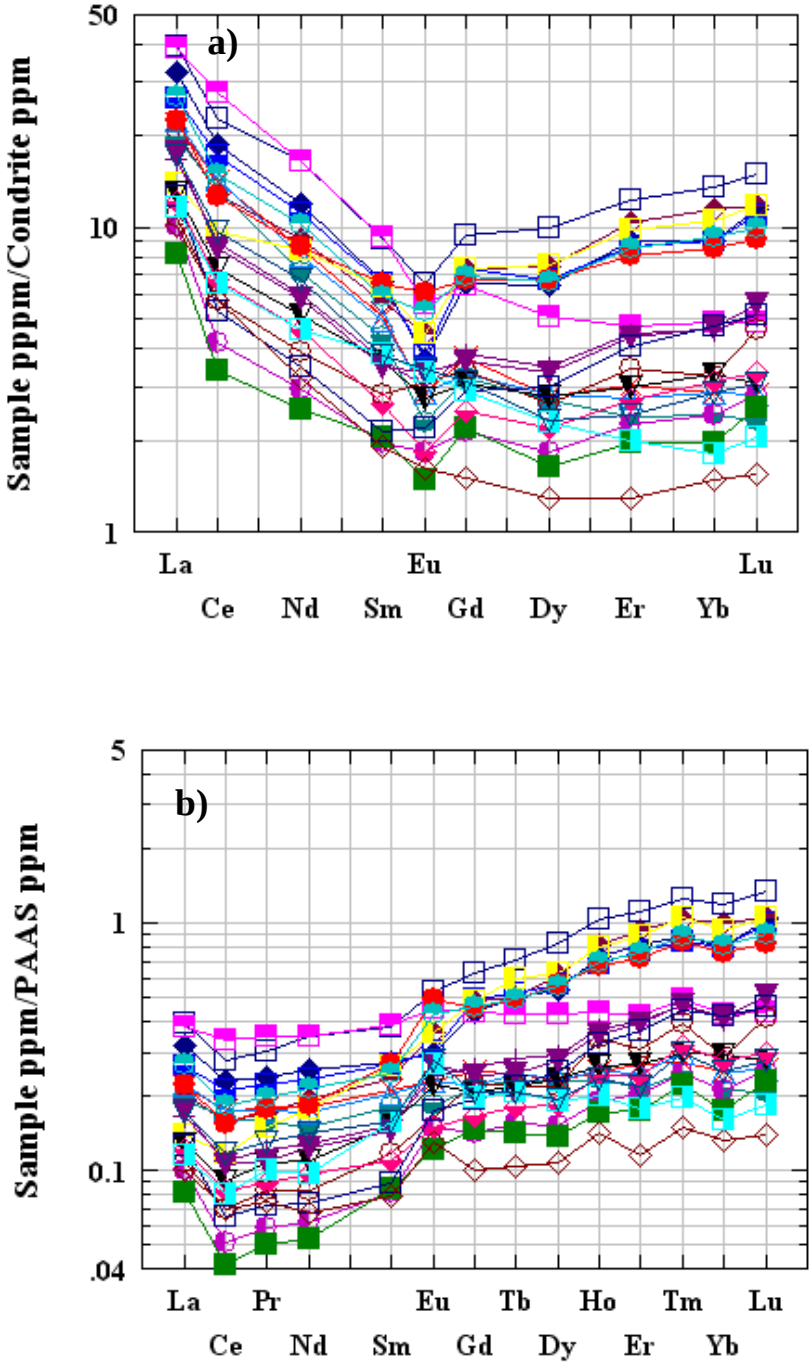
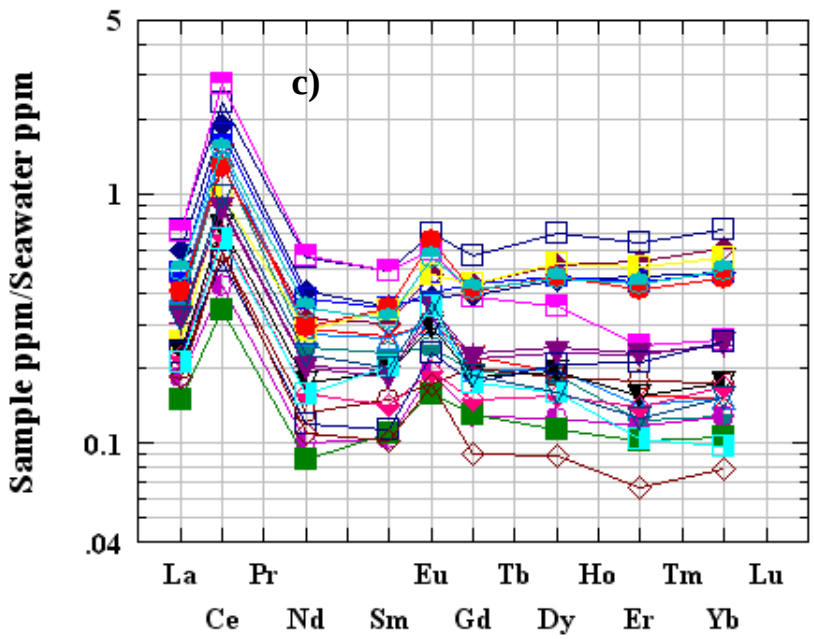


Figura 31: Padrão de ETR de FFb + rochas metacarbonáticas normalizados para: a) condrito de Masuda et al. (1973), b) *PAAS* de McLennan (1989) e c) água do Mar de Ederfield & Greaves (1982). Observar legenda na pág. 86.



As assinaturas dos ETR das amostras de rocha carbonática e FFb normalizados para cada um dos três padrões mencionados são bastante semelhantes (Figuras 31 a, b e c). Praticamente não se diferencia o padrão das rochas carbonáticas, da cálcio-silicática e das FFb em nenhum dos três gráficos de ETR. Para melhor entendimento, os padrões de ETR das rochas carbonáticas e das FFb são apresentados e comentados separadamente para os três casos. Os respectivos diagramas são colocados lado a lado para maior facilidade de comparação.

V.5.2 ETR de formação ferrífera bandada normalizados para condrito

A assinatura de ETR das 10 amostras de FFb normalizadas para condrito de Masuda et al. (1973) mostram (Figura 32 a): enriquecimento dos ETRL (9,24 – 43,04 ppm) em relação aos ETRP (2,78 – 12,71 ppm) (Tabelas 9 e 10) e anomalias negativas de Ce e Eu, característicos de rochas de idade pós- Arqueanas (McLennan 1984 in McLennan 1989). As assinaturas de ETR das 10 amostras podem ser agrupadas em 3 grupos principais que são:

Grupo 1: Compreende 4 amostras, sendo FD 795-57438 e FD 815-69469 do alvo Urucum e FD 162-102 e 137/138 do Taperebá C. Possuem maior conteúdo em ETRL (30,22 – 43,04 ppm) em relação às ETRP (10,68 – 12,71 ppm) (Tabela 10) e um leve enriquecimento em ETRP. Essas amostras apresentam associação de hornblenda + magnetita ou pirita. Essa associação mineral parece ditar o comportamento dos ETR, pois no gráfico coeficiente de partição x número atômico, em fusão de composição riolítica (Rollingson 1993), a hornblenda

Tabela 10: ETR – Resultados Analíticos - FFb do depósito de Ouro do Amapari – AP

Alvo	TAP C	TAP C	TAP A	TAP A	TAP A	URUC	URUC	URUC	URUC	URUC
Elemento	FD162-102	FD162-137-38	FD708-23490	FD708-23504	FD708-23531	FD795-57438	FD795-57485	FD815-69464	FD815-69469	FD815-69500
La_ppm	12.30	7.80	3.10	6.30	4.10	8.50	4.60	6.70	10.20	4.80
Ce_ppm	18.20	12.60	3.30	8.70	5.60	12.40	6.60	8.40	14.70	5.20
Pr_ppm	2.10	1.52	0.44	1.07	0.73	1.56	0.78	0.97	1.75	0.64
Nd_ppm	8.60	6.60	1.80	4.30	2.80	6.20	3.30	4.20	7.30	2.50
Sm_ppm	1.52	1.31	0.47	0.85	0.65	1.50	0.61	0.80	1.36	0.49
Eu_ppm	0.32	0.39	0.13	0.26	*	0.53	0.16	0.29	0.46	0.19
Gd_ppm	2.04	2.27	0.68	1.20	1.05	2.11	0.77	1.13	2.14	0.90
Tb_ppm	0.39	0.39	0.11	0.22	0.17	0.38	0.14	0.19	0.38	0.17
Dy_ppm	2.53	2.89	0.64	1.36	1.03	2.63	0.86	1.30	2.59	1.17
Ho_ppm	0.72	0.80	0.17	0.37	0.34	0.67	0.24	0.35	0.69	0.32
Er_ppm	2.30	2.64	0.50	1.14	0.88	2.06	0.69	1.12	2.17	1.04
Tm_ppm	0.36	0.42	0.09	0.19	0.16	0.34	0.13	0.19	0.36	0.18
Yb_ppm	2.24	2.84	0.49	1.15	0.81	2.13	0.78	1.16	2.30	1.19
Lu_ppm	0.45	0.46	0.10	0.20	0.18	0.36	0.13	0.22	0.39	0.20
Σ ETRL	**43.04**	**30.22**	**9.24**	**21.48**	**13.88**	**30.69**	**16.05**	**21.36**	**35.77**	**13.82**
Σ ETRP	**11.03**	**12.71**	**2.78**	**5.83**	**4.62**	**10.68**	**3.74**	**5.66**	**11.02**	**5.17**
Σ ETR	**54.07**	**42.93**	**12.02**	**27.31**	**18.50**	**41.37**	**19.79**	**27.02**	**46.79**	**18.99**
ETR L / ETR P	**3.90**	**2.38**	**3.32**	**3.68**	**3.00**	**2.87**	**4.29**	**3.77**	**3.25**	**2.67**
Ce/Ce* PAAS	0.83	0.84	0.65	0.77	0.75	0.79	0.80	0.76	0.80	0.68
Eu/Eu* Condr.	0.56	0.70	0.71	0.79		0.92	0.72	0.94	0.83	0.88
Eu/Eu* PAAS	0.86	1.06	1.08	1.21		1.40	1.10	1.44	1.27	1.35
Eu/Eu* AM	1.05	1.30	1.32	1.48		1.72	1.34	1.76	1.55	1.65
$(La/Sm)_N$ Cond.	4.92	3.62	4.01	4.51	3.84	3.45	4.59	5.10	4.56	5.96
$(Gd/Lu)_N$ Cond.	0.57	0.62	0.85	0.75	0.73	0.73	0.74	0.64	0.69	0.56
$(La/Sm)_N$ PAAS.	1.18	0.87	0.96	1.08	0.92	0.82	1.10	1.22	1.09	1.42
$(La/Sm)_N$ AM	1.68	1.24	1.37	1.54	1.31	1.18	1.57	1.74	1.56	2.03
$(Gd/Lu)_N$ PAAS	0.42	0.46	0.63	0.56	0.54	0.54	0.55	0.48	0.51	0.42

Em branco – valores abaixo do limite de detecção

Tabela 11: ETR – Resultados Analíticos – Rocha carbonática do depósito de ouro do Amapari – AP.

Alvo	TAP C	TAP C	TAP D	TAP D	TAP D	TAP D	TAP A	TAP B	URUC	V. MEIO	V. MEIO	URUC
Elemento	FD162-182	FD162-192	FD196-42	FD196-89	FD640-10190A	FD640-10210	FD659-18627	FD703-23237	FD829-A	FVD007-46507	FVD007-46511	**FD795-57451-52^{cc}**
La_ppm	10.1	14.9	7.4	8.3	14.6	8.5	3.8	5.3	3.8	4.4	6.5	4.9
Ce_ppm	16.8	22.3	13	13.9	26.9	14	4.1	9.4	5.6	6.4	9.4	7.2
Pr_ppm	1.97	2.7	1.4	1.58	3.07	1.53	0.52	1.31	0.66	0.89	1.15	0.95
Nd_ppm	8	11.8	5.1	6.1	11.9	5.8	2.1	6	2.3	3.3	4.8	3.7
Sm_ppm	1.5	2.12	1	1.17	2.14	1.14	0.45	1.47	0.44	0.88	0.87	0.84
Eu_ppm	0.33	0.57	0.2	0.25	0.49	0.25	0.16	0.39	0.14	0.29	0.3	0.24
Gd_ppm	2.28	2.93	1	1.16	2.02	1.02	0.66	2.27	0.47	0.91	0.97	0.96
Tb_ppm	0.4	0.55	0.18	0.19	0.33	0.19	0.12	0.46	0.08	0.16	0.16	0.17
Dy_ppm	2.63	3.9	1.05	1.08	1.99	1.1	0.71	2.94	0.5	0.89	0.9	1.09
Ho_ppm	0.68	1.02	0.23	0.25	0.43	0.25	0.19	0.79	0.14	0.2	0.23	0.26
Er_ppm	2.21	3.15	0.61	0.77	1.21	0.7	0.58	2.52	0.33	0.51	0.62	0.76
Tm_ppm	0.34	0.51	0.1	0.11	0.2	0.12	0.1	0.43	0.06	0.08	0.12	0.12
Yb_ppm	2.25	3.36	0.6	0.71	1.21	0.71	0.6	2.61	0.37	0.45	0.71	0.82
Lu_ppm	0.43	0.58	0.09	0.11	0.19	0.11	0.11	0.46	0.06	0.08	0.12	0.12
Σ ETRL	38.7	54.39	28.1	31.3	59.1	31.22	11.13	23.87	12.94	16.16	23.02	17.83
Σ ETRP	11.22	16	3.86	4.38	7.58	4.2	3.07	12.48	2.01	3.28	3.83	4.3
Σ ETR	49.92	70.39	31.96	35.68	66.68	35.42	14.2	36.35	14.95	19.44	26.85	22.13
ETRL/ETRP	3.45	3.40	7.28	7.15	7.80	7.43	3.63	1.91	6.44	4.93	6.01	4.15
Ce/Ce* PAAS	0.87	0.81	0.93	0.89	0.93	0.90	0.67	0.82	0.82	0.75	0.79	0.77
Eu/Eu* Condr.	0.55	0.70	0.61	0.66	0.72	0.71	0.90	0.66	0.95	1.00	1.00	0.82
Eu/Eu* PAAS	0.84	1.08	0.94	1.01	1.11	1.09	1.38	1.01	1.45	1.53	1.54	1.26
Eu/Eu* AM	1.03	1.32	1.15	1.24	1.36	1.34	1.69	1.23	1.77	1.87	1.88	1.54
$(La/Sm)_N$ Condr.	4.10	4.28	4.50	4.32	4.15	4.54	5.14	2.19	5.25	3.04	4.55	3.55
$(Gd/Lu)_N$ Condr.	0.66	0.63	1.39	1.32	1.33	1.16	0.75	0.62	0.98	1.43	1.01	1.00
$(La/Sm)_N$ PAAS	0.98	1.02	1.08	1.03	0.99	1.08	1.23	0.52	1.25	0.73	1.09	0.85
$(Gd/Lu)_N$ PAAS	0.49	0.47	1.03	0.98	0.99	0.86	0.56	0.46	0.73	1.06	0.75	0.74
$(La/Sm)_N$ AM	1.40	1.46	1.54	1.47	1.42	1.55	1.75	0.75	1.79	1.04	1.55	1.21

Tabela 12: Concentrações de ETR (ppm) e mineralogia (no geral > 5% em volume) de FFb e rochas rochas carbonáticas. Qzo – quartzo, Carb – carbonato, hbl – hornblenda, Gru – grunerita, Di – diopsídio, Bi – biotita, Clo – clorita, MgCl – clorita magnesiana, Serp – serpentina, Mt – magnetita, hm- hematita, Py – pirita, Po – pirrotita e Gr – granada

FFb

Amostras	Class.	Σ ETR	Qzo	Hbl	Gru	Di	Gr	Mt	Py	Po
FD162-102	FFb	54.07	25	20	20			35		
FD162-137-138	FFb	42.93	15		60			25		
FD708-23490	FFb	12.02	50			18		30		
FD708-23504	FFb	27.31	36		14		7	24	18	
FD708-23531	FFb	18.5	52		3	15		30		
FD795-57438	FFb	41.37	30	50	5				13	
FD795-57485	FFb	19.79	40	33		7		19		1
FD815-69464	FFb	27.02	44	20		20		10		5
FD815-69469	FFb	46.79	40	13	7	10		22		7
FD815-69500	FFb	18.99	27	30	15	6			20	

Rochas rochas carbonáticas

Amostras	Class.	Σ ETR	Qzo	Carb	Hbl	Gru	Di	Bi	Clo	MgCl	Serp	Tc	Flg	Mt	Hm	Py	Po
FD162-182 TAP C	Mcarb	49.92		64		5					5			12			8
FD162-192 TAP C	Mcarb	70.39		35							5			35			25
FD196-42 TAP D	Mcarb	31.96		45		15	22		12								4
FD196-89 TAP D	Mcarb	35.68		54		20	15	8									1
FD640-10190A TAP D	Mcarb	66.68		30		5	42	15	2			3					
FD640-10210 TAP D	Mcarb	35.42		40		10	36	10									2
FD659-18627 TAP A	Mcarb	14.2		30		32	8		4	2	5			12		3	
FD703-23237 TAP B	Mcarb	36.35		50		5	10							33			
FD829-A URUC	Mcarb	14.95		40		5	20			5	20	5		3			
FVD007-46507 V. MEIO	Mcarb	19.44		69			20			6					3		
FVD007-46511 V. MEIO	Mcarb	26.85		70		15	5						10				
FD795-57451-52^{cc} URUC	Calc	22.13	10	1	25	5	51	2	2								2

Tabela 13: FFb – Valores Normalizados para Condrito

Alvo	TAP C	TAP C	TAP A	TAP A	TAP A	URUC	URUC	URUC	URUC	URUC
Elemento	FD162-102	FD162-137-38	FD708-23490	FD708-23504	FD708-23531	FD795-57438	FD795-57485	FD815-69464	FD815-69469	FD815-69500
La_ppm	32.54	20.63	8.20	16.67	10.85	22.49	12.17	17.72	26.98	12.70
Ce_ppm	18.65	12.91	3.38	8.91	5.74	12.70	6.76	8.61	15.06	5.33
Pr_ppm										
Nd_ppm	12.01	9.22	2.51	6.01	3.91	8.66	4.61	5.87	10.20	3.49
Sm_ppm	6.61	5.70	2.04	3.70	2.83	6.52	2.65	3.48	5.91	2.13
Eu_ppm	3.68	4.48	1.49	2.99	23.32	6.09	1.84	3.33	5.29	2.18
Gd_ppm	6.56	7.30	2.19	3.86	3.38	6.78	2.48	3.63	6.88	2.89
Tb_ppm										
Dy_ppm	6.49	7.41	1.64	3.49	2.64	6.74	2.21	3.33	6.64	3.00
Ho_ppm										
Er_ppm	9.02	10.35	1.96	4.47	3.45	8.08	2.71	4.39	8.51	4.08
Tm_ppm										
Yb_ppm	9.00	11.41	1.97	4.62	3.25	8.55	3.13	4.66	9.24	4.78
Lu_ppm	11.54	11.79	2.56	5.13	4.62	9.23	3.33	5.64	10.00	5.13
Σ ETRL Condr.	73.49	52.94	17.63	38.27	23.32	56.46	28.03	39.01	63.44	25.83
Σ ETRP Condr.	42.60	48.26	10.32	21.56	17.34	39.39	13.85	21.66	41.27	19.88
Σ ETR Condr	116.09	101.20	27.95	59.83	40.66	95.86	41.88	60.67	104.71	45.71
ETRL/ETRP Condr.	1.72	1.10	1.71	1.77	1.35	1.43	2.02	1.80	1.54	1.30
Eu/Eu* Condr.	0.56	0.70	0.71	0.79		0.92	0.72	0.94	0.83	0.88
(La/Sm)N Condr.	4.92	3.62	4.01	4.51	3.84	3.45	4.59	5.10	4.56	5.96
(Gd/Lu)N Condr.	0.57	0.62	0.85	0.75	0.73	0.73	0.74	0.64	0.69	0.56

possui elevado coeficiente de partição e, conseqüentemente, a propriedade de fixação de ETR, bem como a propriedade de maior fixação de ETRL em relação ao ETRP.

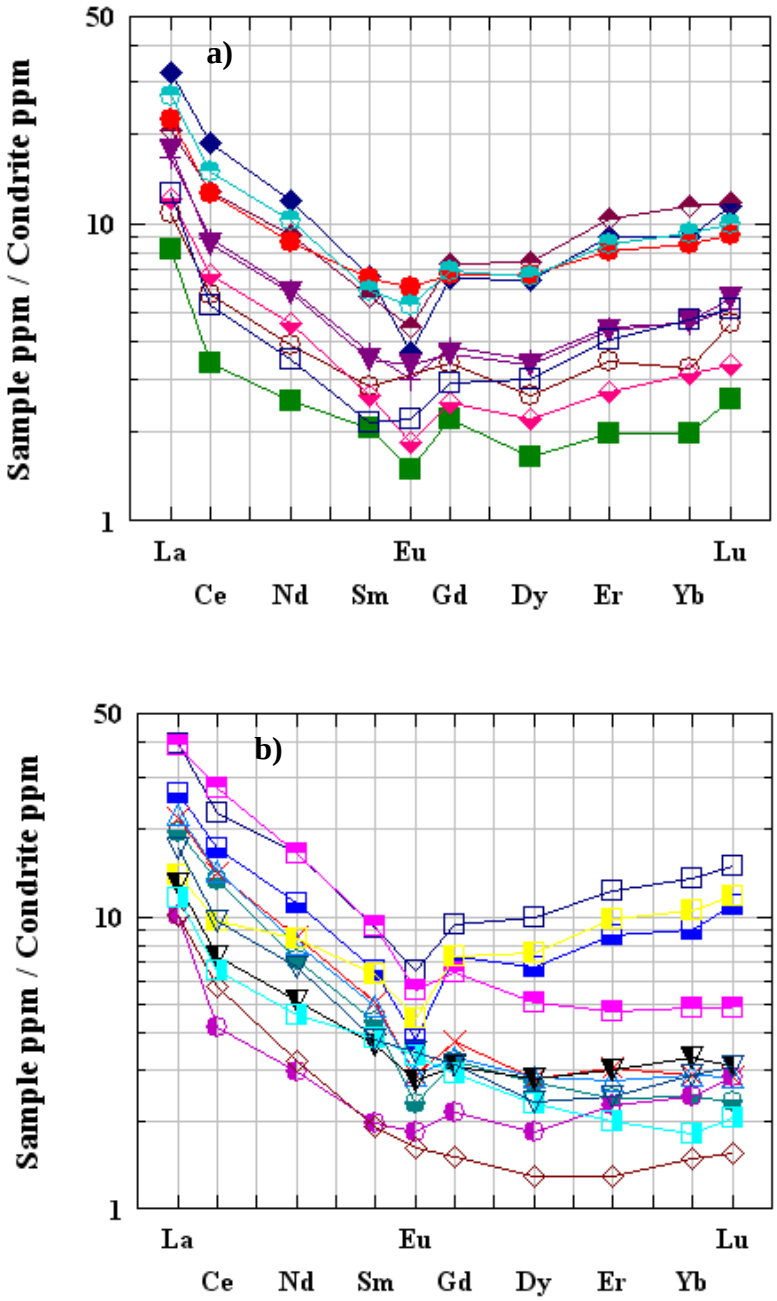


Figura 32: Padrão de ETR normalizados para condrito de Masuda et al. (1973), para: a) FFb e b) rocha metacarbonática. Observar legenda na pág. 86.

Grupo 2: Está representado por 5 amostras, FD 815-69464, 69500 e 57485 do alvo Urucum e FD 708-23504 e 23531 do Taperebá A. São menos enriquecidas em ETRL (13,82 – 35,77 ppm) e ETRP (4,62 – 5,83 ppm) (Tabela 10) do que o Grupo 1. Apresentam um leve enriquecimento em ETRP. No estudo petrográfico apresentam associação, principalmente, de

diopsído + magnetita e/ou pirita. A presença de diopsídio provavelmente influenciou no abaixamento da concentração de ETRL e ETRP, em relação ao Grupo 1 (Figura 32 a).

Grupo 3: Constituído pela amostra FD 708-23490 do alvo Taperebá A é, de todas as amostras, a que apresenta o menor conteúdo, tanto em ETRL (9,24 ppm) quanto em ETRP (12,71 ppm) (Tabela 10). A associação observada é diopsídio + magnetita e 50% de quartzo. A alta porcentagem de quartzo deve ser responsável pelo baixo conteúdo em ETR, conforme Cullers et al. (1979 in McLennan 1989) que indicam o efeito de diluição do quartzo, que é um mineral de baixo conteúdo em ETR.

V.5.3 ETR de rocha carbonática normalizados para condrito

A assinatura de ETR das 11 amostras de rocha carbonática e 1 de cálcio-silicática, normalizados para condrito, indica que os ETRL, entre 11,13 a 59,1 ppm, são mais enriquecidos em relação ao ETRP, entre 2,01 a 12,48 ppm (Tabela 11). Todas as amostras exibem anomalia negativa de Ce e Eu (Figura 32 b). A razão $(La/Sm)_N$ varia de 2,19 a 5,25 e $(Gd/Lu)_N$ varia entre 0,62 a 1,43, indicando que os ETRL são mais fracionados do que os ETRP. De acordo com a assinatura dos ETR, os mesmos podem ser reunidos em 4 grupos principais:

Grupo 1: Constituído pelas três amostras com maior conteúdo de ETR do conjunto, FD 162-192, FD 162-182 do alvo Taperebá C e FD 703-23237 do alvo Taperebá B, As mesmas são enriquecidas em ETRL (23,87 -54,39 ppm) e ETRP (11,22 – 16 ppm) (Tabela 11); o gráfico da Figura 32 b mostra leve concavidade para cima, em direção aos ETRP. Coincidentemente, são as amostras que apresentam maior conteúdo em Fe_2O_3. O estudo petrográfico das mesmas indica associação de carbonato + magnetita e/ou sulfeto, como os principais minerais, e que devem ter influenciado na assinatura dos ETR. A magnetita tem a propriedade de maior fixação de ETRL em relação às ETRP, mas mesmo assim mostra certo enriquecimento deste último. Na Tabela 15 de média do coeficiente de distribuição (mineral/fusão ácida) em rochas riolíticas e dacíticas (Henderson 1984) observa-se este comportamento da magnetita. Análises químicas dessas amostras, realizadas pela MPBA, também indicam a presença de ouro em todas as amostras desse grupo.

Grupo 2: Corresponde a uma única amostra FD 640-10190A do alvo Taperebá D, com alto ETRL (59,1 ppm) e decréscimo em ETRP (7,58 ppm) (Tabela 11). A curva de ETRP (Figura 32 b) é praticamente horizontal. Petrograficamente apresenta associação de diopsídio + grunerita + alta porcentagem de biotita (15%). Em tabela mineral/fusão dacítica e riolítica

Tabela 14: Rocha carbonática – Valores Normalizados para Condrito

Alvo	TAP C	TAP C	TAP D	TAP D	TAP D	TAP D	TAP A	TAP B	URUC	V. MEIO	V. MEIO	URUC
Elemento	FD162-182	FD162-192	FD196-42	FD196-89	FD640-10190A	FD640-10210	D659-1862	FD703-23237	FD829-A	FVD007-46507	FVD007-46511	FD795-57451-52
La_ppm	26.72	39.42	19.58	21.96	38.62	22.49	10.05	14.02	10.05	11.64	17.20	12.96
Ce_ppm	17.21	22.85	13.32	14.24	27.56	14.34	4.20	9.63	5.74	6.56	9.63	7.38
Pr_ppm												
Nd_ppm	11.17	16.48	7.12	8.52	16.62	8.10	2.93	8.38	3.21	4.61	6.70	5.17
Sm_ppm	6.52	9.22	4.35	5.09	9.30	4.96	1.96	6.39	1.91	3.83	3.78	3.65
Eu_ppm	3.79	6.55	2.30	2.87	5.63	2.87	1.84	4.48	1.61	3.33	3.45	2.76
Gd_ppm	7.33	9.42	3.22	3.73	6.50	3.28	2.12	7.30	1.51	2.93	3.12	3.09
Tb_ppm												
Dy_ppm	6.74	10.00	2.69	2.77	5.10	2.82	1.82	7.54	1.28	2.28	2.31	2.79
Ho_ppm												
Er_ppm	8.67	12.35	2.39	3.02	4.75	2.75	2.27	9.88	1.29	2.00	2.43	2.98
Tm_ppm												
Yb_ppm	9.04	13.49	2.41	2.85	4.86	2.85	2.41	10.48	1.49	1.81	2.85	3.29
Lu_ppm	11.03	14.87	2.31	2.82	4.87	2.82	2.82	11.79	1.54	2.05	3.08	3.08
Σ ETRL Condr.	65.42	94.52	46.67	52.68	97.74	52.76	20.98	42.91	22.53	29.97	40.76	31.92
Σ ETRP Condr.	42.80	60.14	13.02	15.19	26.07	14.52	11.45	47.00	7.11	11.07	13.79	15.23
Σ ETR Condr.	108.22	154.66	59.68	67.87	123.82	67.28	32.43	89.90	29.64	41.03	54.55	47.15
ETRL / ETRP Cond.	1.53	1.57	3.58	3.47	3.75	3.63	1.83	0.91	3.17	2.71	2.96	2.10
Eu/Eu* Condr.	0.00	0.70	0.61	0.66	0.72	0.71	0.90	0.66	0.95	1.00	1.00	0.29
$(La/Sm)_N$ Condr.	4.10	4.28	4.50	4.32	4.15	4.54	5.14	2.19	5.25	3.04	4.55	3.55
$(Gd/Lu)_N$ Condr.	0.66	0.63	1.39	1.32	1.33	1.16	0.75	0.62	0.98	1.43	1.01	1.00

Tabela 15: Média do coeficiente de distribuição (mineral / fusão ácida) de ETR em rochas riolíticas e dacíticas (Henderson 1984).

Average mineral/melt distribution coefficients of REE in dacitic and rhyolitic rocks

	Ortho-pyroxene	Clino-pyroxene	Amphibole	Plagioclase	Alkali feldspar[a]	Garnet	Magnetite
La	0.65	0.6	0.9[a]	0.32		0.39	0.5
Ce	0.5	0.9	1.2	0.24	0.04	0.62	0.6
Nd	0.6	2.1	3.2	0.19	0.03	0.63	0.9
Sm	0.7	2.7	5.4	0.13	0.02	2.2	0.9
Eu	0.5	1.9	3.6	2.0	1.13	0.7	0.6
Gd	1.1	3.1		0.16		7.7	0.8
Tb	1.2	3.0	3.0[a]	0.15		12	0.8
Dy	0.7	3.3	9	0.13	0.006	29[a]	
Ho						28	
Er	0.61		8	0.05	0.006	43[a]	
Tm	1.4		5[a]	0.1			0.8
Yb	1.0	2.1	6.2	0.08	0.012	43	0.4
Lu	1.1	2.3	4.5	0.06		38	0.4

[a]Only one or two determinations available.

(Tabela 15) a biotita possui coeficiente de distribuição muito mais elevado do que os clinoanfibólios e clinopiroxênios e maior fixação de ETRL em relação ao ETRP (Rollinson 1993).

Grupo 3: Compreende sete amostras FD 196-42 e 89 do alvo Taperebá C, FD 640-10210 do Taperebá D, FD 659-18627 do Taperebá A, FVD 007-46507 e 46511 do alvo Vila do Meio e FD 795-57451 (cálcio-silicática) do alvo Urucum. Apresentam alto conteúdo de ETRL (11,13 – 31,3 ppm) e baixo em ETRP em relação aos ETRL (Tabela 11). O estudo petrográfico indicou uma associação diopsídio + grunerita e, localmente, hornblenda. O diopsídio está onipresente nas amostras e deve ter influído na diminuição relativa dos ETRL e ETRP, em relação aos grupos 1 e 2. Rollinson (1993) apresenta uma tabela mineral/fusão dacítica e riolítica, de onde se deduz que o coeficiente de partição do diopsídio (clinopiroxênio) é mais baixo em relação à grunerita e hornblenda (clinoanfibólio). Com relação aos ETRP, eles no geral decrescem, porém a amostra FD 659-18627 revela enriquecimento em ETRP que é explicado pela presença de magnetita. As amostras FVD 007-46507 e 46511 (com flogopita) não mostram anomalia negativa de Eu (=1) são de fato levemente positivas. Provavelmente a presença de hematita (alteração supergênica da magnetita), na primeira amostra (FVD 007-

46507), pode ter provocado mudança desse resultado. Na outra amostra não é possível diagnosticar a provável causa.

Grupo 4: Esse grupo é representado pela amostra FD 829-A do alvo Urucum, que exibe baixo conteúdo em ETRL (12,94 ppm) e o mais baixo conteúdo de ETRP (2,01 ppm) das rochas carbonáticas (Tabela 11). A amostra é constituída de diopsídio + alta porcentagem de serpentina (20%), além de clorita magnesiana e talco, com 5% de cada uma, sendo esta a amostra com maior conteúdo de minerais magnesianos.

É importante notar que o comportamento de ETR da cálcio-silicática é similar ao das rochas carbonáticas.

V.5.4 ETR de formação ferrífera bandada normalizados para *PAAS*

Com o objetivo de conhecer a assinatura de ETR das rochas carbonáticas e FFb do Amapari, e também por se tratarem de rochas metassedimentares químicas, seus respectivos resultados analíticos foram normalizados para *PAAS* de McLennan (1989).

A assinatura de ETR das 10 amostras de FFb normalizados para *PAAS* indicam que os mesmos estão empobrecidos em relação ao *PAAS* (Figura 33 a). Provavelmente porque a composição do *PAAS* certamente inclui minerais e fases mais enriquecidas em ETR. Henderson (1982) cita que minerais acessórios, por exemplo, apatita e zircão presentes no *PAAS* podem desempenhar papel importante na distribuição dos ETR, como exemplo os minerais com alto coeficiente de distribuição e ETR altamente fracionados, uns em relação aos outros, onde se incluem a alanita (afinidade e maior conteúdo em ETRL) e o zircão (afinidade e maior conteúdo em ETRP). O feldspato, por apresentar valores medianos de coeficiente de distribuição (Rollinson 1993), e as argilas por se apresentarem relativamente mais fracionadas do que silte e areia, são mais ricas em ETR (Haskin et al. 1966).

Os padrões de ETR das FFb também configuram os mesmos três grupos principais daqueles normalizados para condrito.

Na normalização para *PAAS*, as anomalias de Ce são todas negativas (Ce/Ce* <1) e praticamente positivas para Eu (Tabela 16). Somente uma amostra, FD 162-102 do alvo Taperebá C, apresentou anomalia negativa de Eu (Eu/Eu* = 0,86).

Tabela 16: FFb normalizado para *PAAS*

Alvo	TAP C	TAP C	TAP A	TAP A	TAP A	URUC	URUC	URUC	URUC	URUC
Elemento	FD162-102	FD162-137-38	FD708-23490	FD708-23504	FD708-23531	FD795-57438	FD795-57485	FD815-69464	FD815-69469	FD815-69500
La_ppm	0.32	0.20	0.08	0.16	0.11	0.22	0.12	0.18	0.27	0.13
Ce_ppm	0.23	0.16	0.04	0.11	0.07	0.16	0.08	0.11	0.18	0.07
Pr_ppm	0.24	0.17	0.05	0.12	0.08	0.18	0.09	0.11	0.20	0.07
Nd_ppm	0.25	0.19	0.05	0.13	0.08	0.18	0.10	0.12	0.22	0.07
Sm_ppm	0.27	0.24	0.08	0.15	0.12	0.27	0.11	0.14	0.25	0.09
Eu_ppm	0.30	0.36	0.12	0.24	*	0.49	0.15	0.27	0.43	0.18
Gd_ppm	0.44	0.49	0.15	0.26	0.23	0.45	0.17	0.24	0.46	0.19
Tb_ppm	0.50	0.50	0.14	0.28	0.22	0.49	0.18	0.25	0.49	0.22
Dy_ppm	0.54	0.62	0.14	0.29	0.22	0.56	0.18	0.28	0.55	0.25
Ho_ppm	0.73	0.81	0.17	0.37	0.34	0.68	0.24	0.35	0.70	0.32
Er_ppm	0.81	0.93	0.18	0.40	0.31	0.72	0.24	0.39	0.76	0.36
Tm_ppm	0.89	1.04	0.22	0.47	0.40	0.84	0.32	0.47	0.89	0.44
Yb_ppm	0.79	1.01	0.17	0.41	0.29	0.76	0.28	0.41	0.82	0.42
Lu_ppm	1.04	1.06	0.23	0.46	0.42	0.83	0.30	0.51	0.90	0.46
Σ ETRL PAAS	1.61	1.33	0.43	0.92	0.46	1.50	0.65	0.93	1.54	0.60
Σ ETRP PAAS	5.74	6.45	1.40	2.94	2.41	5.33	1.91	2.90	5.57	2.68
Σ ETR PAAS	7.35	7.78	1.83	3.86	2.87	6.83	2.56	3.83	7.10	3.28
ETRL / ETRP PAAS	0.28	0.21	0.31	0.31	0.19	0.28	0.34	0.32	0.28	0.22
Ce/Ce* PAAS	0.83	0.84	0.65	0.77	0.75	0.79	0.80	0.76	0.80	0.68
Eu/Eu* PAAS	0.86	1.06	1.08	1.21		1.40	1.10	1.44	1.27	1.35
(La/Sm)N PAAS	1.18	0.87	0.96	1.08	0.92	0.82	1.10	1.22	1.09	1.42
(Gd/Lu)N PAAS	0.42	0.46	0.63	0.56	0.54	0.54	0.55	0.48	0.51	0.42

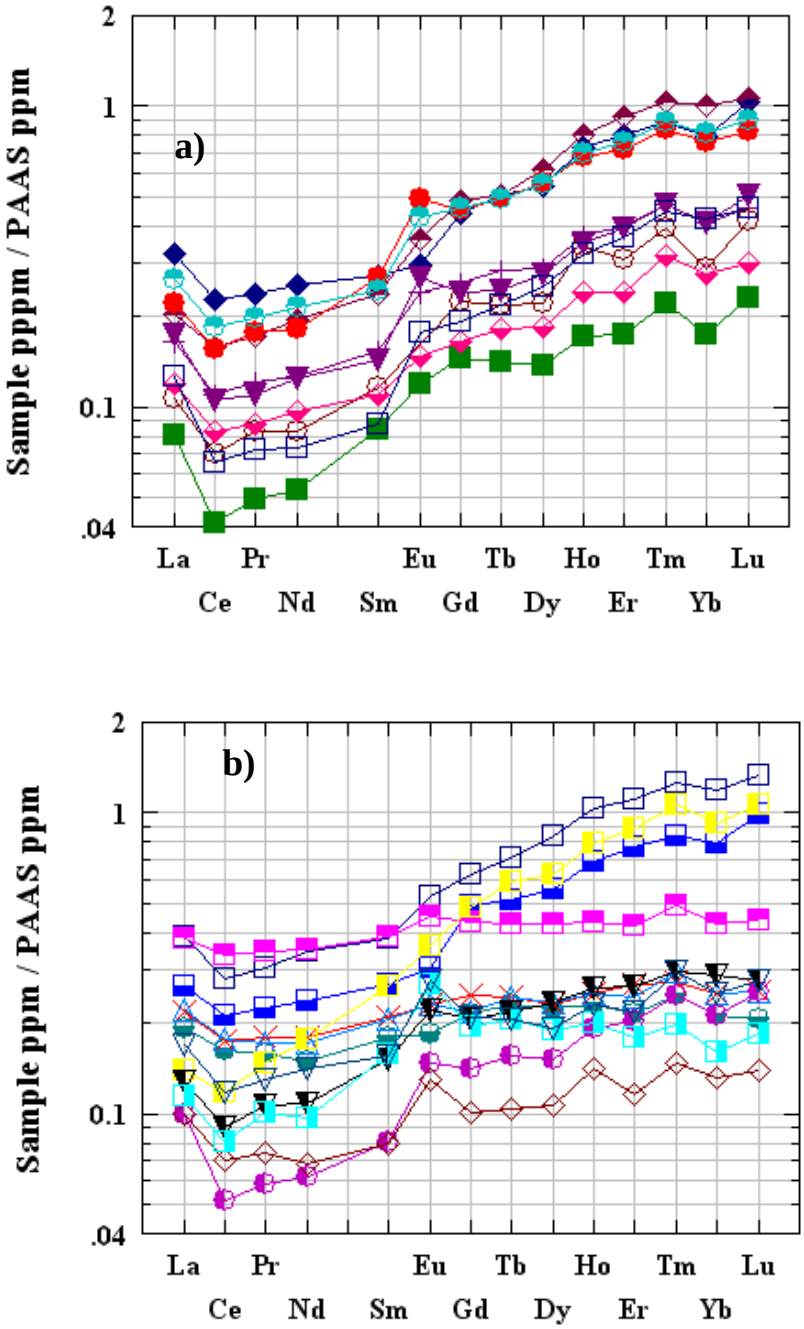


Figura 33: Padrão de ETR normalizadas para *PAAS* de McLennan (1989), para: a) FFb e b) rochas metacarbonáticas. Observar legenda na pág. 86.

V.5.5 ETR de rocha carbonática normalizados para *PAAS*

O que é notório na assinatura dos ETR das rochas carbonáticas (Figura 33 b) é que as mesmas são empobrecidas em relação ao *PAAS*. As justificativas são as mesmas comentadas no item V.5.4.

Tabela 17: Rocha carbonática – Valores Normalizados para *PAAS*

Alvo	TAP C	TAP C	TAP D	TAP D	TAP D	TAP D	TAP A	TAP B	URUC	V. MEIO	V. MEIO	URUC
Elemento	FD162-182	FD162-192	FD196-42	FD196-89	FD640-10190A	FD640-10210	FD659-18627	FD703-23237	FD829-A	FVD007-46507	FVD007-46511	**FD795-57451-52[cc]**
La_ppm	10.1	14.9	7.4	8.3	14.6	8.5	3.8	5.3	3.8	4.4	6.5	4.9
Ce_ppm	16.8	22.3	13	13.9	26.9	14	4.1	9.4	5.6	6.4	9.4	7.2
Pr_ppm	1.97	2.7	1.4	1.58	3.07	1.53	0.52	1.31	0.66	0.89	1.15	0.95
Nd_ppm	8	11.8	5.1	6.1	11.9	5.8	2.1	6	2.3	3.3	4.8	3.7
Sm_ppm	1.5	2.12	1	1.17	2.14	1.14	0.45	1.47	0.44	0.88	0.87	0.84
Eu_ppm	0.33	0.57	0.2	0.25	0.49	0.25	0.16	0.39	0.14	0.29	0.3	0.24
Gd_ppm	2.28	2.93	1	1.16	2.02	1.02	0.66	2.27	0.47	0.91	0.97	0.96
Tb_ppm	0.4	0.55	0.18	0.19	0.33	0.19	0.12	0.46	0.08	0.16	0.16	0.17
Dy_ppm	2.63	3.9	1.05	1.08	1.99	1.1	0.71	2.94	0.5	0.89	0.9	1.09
Ho_ppm	0.68	1.02	0.23	0.25	0.43	0.25	0.19	0.79	0.14	0.2	0.23	0.26
Er_ppm	2.21	3.15	0.61	0.77	1.21	0.7	0.58	2.52	0.33	0.51	0.62	0.76
Tm_ppm	0.34	0.51	0.1	0.11	0.2	0.12	0.1	0.43	0.06	0.08	0.12	0.12
Yb_ppm	2.25	3.36	0.6	0.71	1.21	0.71	0.6	2.61	0.37	0.45	0.71	0.82
Lu_ppm	0.43	0.58	0.09	0.11	0.19	0.11	0.11	0.46	0.06	0.08	0.12	0.12
Σ ETRL PAAS	1.51	2.23	1.03	1.19	2.26	1.18	0.50	1.21	0.52	0.82	0.99	0.81
Σ ETRP PAAS	5.66	8.10	1.79	2.03	3.51	2.00	1.56	6.44	0.99	1.51	1.88	2.05
Σ ETR PAAS	7.17	10.33	2.82	3.22	5.76	3.18	2.06	7.65	1.51	2.34	2.88	2.86
ETRL / ETRP PAAS	0.27	0.28	0.58	0.59	0.64	0.59	0.32	0.19	0.53	0.54	0.53	0.39
Ce/Ce* PAAS	0.87	0.81	0.93	0.89	0.93	0.90	0.67	0.82	0.82	0.75	0.79	0.77
Eu/Eu* PAAS	0.84	1.08	0.94	1.01	1.11	1.09	1.38	1.01	1.45	1.53	1.54	1.26
$(La/Sm)_N$ PAAS	0.98	1.02	1.08	1.03	0.99	1.08	1.23	0.52	1.25	0.73	1.09	0.85
$(Gd/Lu)_N$ PAAS	0.49	0.47	1.03	0.98	0.99	0.86	0.56	0.46	0.73	1.06	0.75	0.74

Os ETR normalizados para *PAAS* revelam anomalias negativas de Ce e, no geral, anomalias positivas de Eu, com exceção das amostras FD 162-182 do alvo Taperebá C e FD 196-42 do alvo Taperebá D, que apresentam sutil anomalia negativa, respectivamente com Eu/Eu* de 0,84 e 0,94 (Tabela 17), portanto bem próximo da unidade. A assinatura dos ETR normalizados para *PAAS* apresentam quatro grupos com distintos padrões de ETR. Os mesmos coincidem com aqueles caracterizados para ETR normalizados para condrito, já comentados no item V.5.3.

V.5.6 ETR de FFb e de rochas carbonáticas normalizados para água do mar

A assinatura de ETR das 10 mostras de FFb e 12 amostras de rochas carbonáticas, normalizadas para água do mar (Typical seawater) de Ederfield & Greaves (1982) (Figuras 34 a e b), revelam mais uma vez que não existem diferenças significativas no padrão de ETR dos dois conjuntos. Mostra enriquecimento em ETRL em relação ao ETRP e anomalia positiva de Ce, característico de sedimentos químicos, cujo padrão de ETR é o inverso da água do mar (Rollinson 1993). Indica também que estes litotipos do Amapari estão empobrecidos em ETR em relação à água do mar atual (Figuras 34 a e b), exceto parte do Eu cujo enriquecimento está refletido na forma de discreta anomalia positiva.

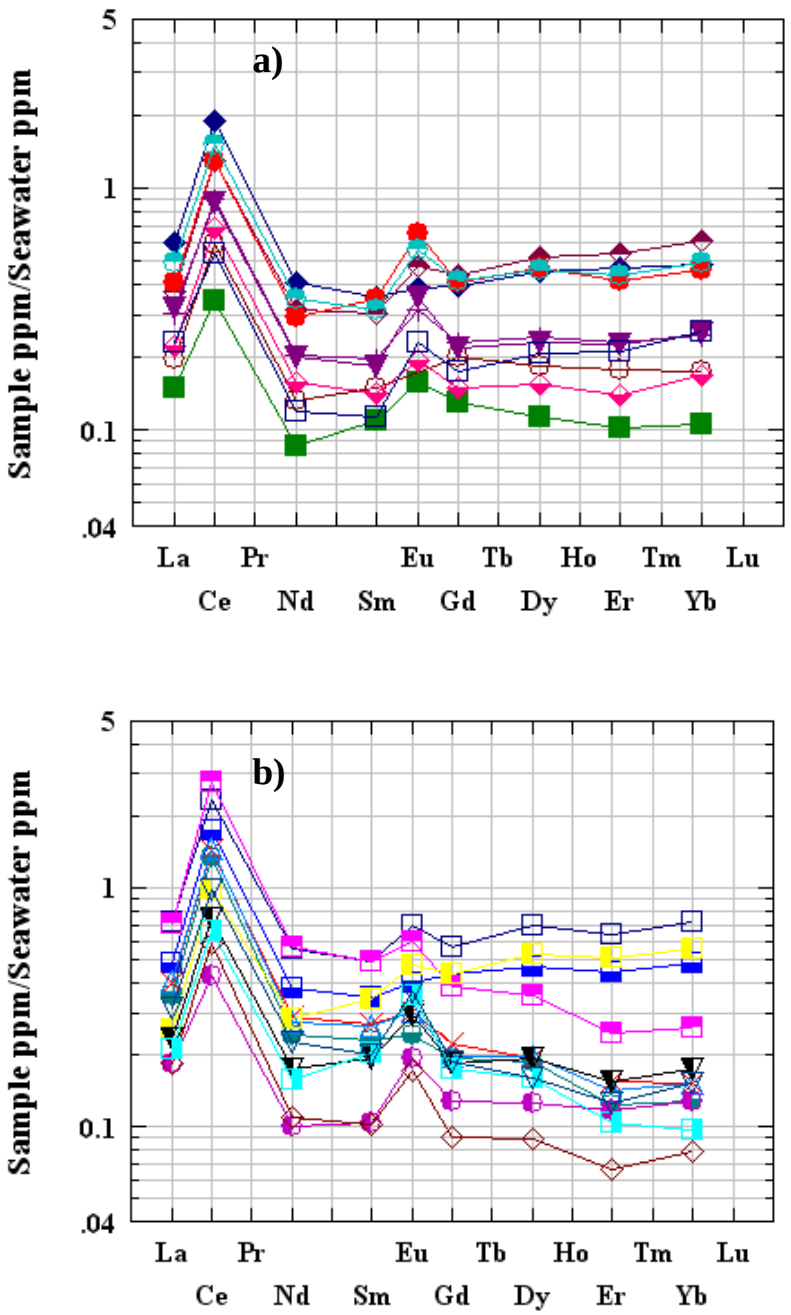


Figura 34: Padrão de ETR normalizados para água do mar de Ederfield & Greaves (1982), para: a) FFb e b) rochas metacarbonáticas. Observar legenda na pág. 86.

Tabela 18: FFb – Valores Normalizados para Água do Mar

Alvo	TAP C	TAP C	TAP A	TAP A	TAP A	URUC	URUC	URUC	URUC	URUC
Elemento	FD162-102	FD162-137-38	FD708-23490	FD708-23504	FD708-23531	FD795-57438	FD795-57485	FD815-69464	FD815-69469	FD815-69500
La_ppm	0.59	0.38	0.15	0.30	0.20	0.41	0.22	0.32	0.49	0.23
Ce_ppm	1.89	1.31	0.34	0.90	0.58	1.29	0.68	0.87	1.52	0.54
Pr_ppm										
Nd_ppm	0.41	0.31	0.09	0.20	0.13	0.29	0.16	0.20	0.35	0.12
Sm_ppm	0.35	0.30	0.11	0.20	0.15	0.35	0.14	0.19	0.31	0.11
Eu_ppm	0.39	0.47	0.16	0.32		0.64	0.19	0.35	0.56	0.23
Gd_ppm	0.39	0.44	0.13	0.23	0.20	0.41	0.15	0.22	0.41	0.17
Tb_ppm										
Dy_ppm	0.45	0.52	0.11	0.24	0.18	0.47	0.15	0.23	0.46	0.21
Ho_ppm										
Er_ppm	0.47	0.53	0.10	0.23	0.18	0.42	0.14	0.23	0.44	0.21
Tm_ppm										
Yb_ppm	0.48	0.61	0.11	0.25	0.17	0.46	0.17	0.25	0.49	0.26
Lu_ppm										
Σ ETRL AM	3.63	2.77	0.84	1.92	1.06	2.98	1.40	1.93	3.23	1.23
Σ ETRP AM	1.79	2.10	0.45	0.95	0.74	1.75	0.61	0.92	1.81	0.85
Σ ETR AM	5.42	4.87	1.29	2.87	1.80	4.73	2.01	2.85	5.04	2.08
ETRL/ETRP AM	2.03	1.32	1.87	2.02	1.44	1.70	2.30	2.09	1.79	1.45
Eu/Eu* AM	1.05	1.30	1.32	1.48		1.72	1.34	1.76	1.55	1.65
$(La/Sm)_N$ AM	1.68	1.24	1.37	1.54	1.31	1.18	1.57	1.74	1.56	2.03

Tabela 19: Rocha carbonática – Valores Normalizados para Água do Mar

Alvo	TAP C	TAP C	TAP D	TAP D	TAP D	TAP D	TAP A	TAP B	URUC	V. MEIO	V. MEIO	URUC
Elemento	FD162-182	FD162-192	FD196-42	FD196-89	FD640-10190[a]	FD640-10210	FD659-18627	FD703-23237	FD829-A	FVD007-46507	FVD007-46511	**FD795-57451-52[cc]**
La_ppm	0.49	0.72	0.36	0.40	0.70	0.41	0.18	0.25	0.18	0.21	0.31	0.24
Ce_ppm	1.74	2.31	1.35	1.44	2.79	1.45	0.43	0.98	0.58	0.66	0.98	0.75
Pr_ppm												
Nd_ppm	0.38	0.56	0.24	0.29	0.56	0.27	0.10	0.28	0.11	0.16	0.23	0.18
Sm_ppm	0.35	0.49	0.23	0.27	0.50	0.26	0.10	0.34	0.10	0.20	0.20	0.19
Eu_ppm	0.40	0.69	0.24	0.30	0.60	0.30	0.19	0.47	0.17	0.35	0.36	0.29
Gd_ppm	0.44	0.56	0.19	0.22	0.39	0.20	0.13	0.44	0.09	0.18	0.19	0.18
Tb_ppm												
Dy_ppm	0.47	0.70	0.19	0.19	0.35	0.20	0.13	0.52	0.09	0.16	0.16	0.19
Ho_ppm												
Er_ppm	0.45	0.64	0.12	0.16	0.24	0.14	0.12	0.51	0.07	0.10	0.13	0.15
Tm_ppm												
Yb_ppm	0.48	0.72	0.13	0.15	0.26	0.15	0.13	0.56	0.08	0.10	0.15	0.18
Lu_ppm												
Σ ETRL AM	3.36	4.77	2.42	2.70	5.15	2.70	1.01	2.33	1.14	1.59	2.08	1.64
Σ ETRP AM	1.84	2.62	0.63	0.72	1.25	0.69	0.50	2.03	0.33	0.53	0.62	0.71
Σ ETR AM	5.19	7.39	3.05	3.43	6.39	3.39	1.51	4.36	1.47	2.12	2.71	2.35
ETRL/ETRP AM	1.83	1.82	3.83	3.74	4.13	3.94	2.01	1.15	3.51	2.98	3.33	2.32
Eu/Eu* AM	1.03	1.32	1.15	1.24	1.36	1.34	1.69	1.23	1.77	1.87	1.88	1.54
$(La/Sm)_N$ AM	1.40	1.46	1.54	1.47	1.42	1.55	1.75	0.75	1.79	1.04	1.55	1.21

V.6 Geoquímica de rocha total – Conclusões

A interpretações dos resultados analíticos de elementos maiores (óxidos) e ETR das amostras de testemunhos de sondagem de rochas carbonática, cálcio-silicática e FFb do depósito de ouro do Amapari direcionam para as seguintes conclusões:

V.6.1 Elementos maiores (óxidos)

- Quatro amostras de rocha carbonática (FD659-18627, FD829-A e FVD007-46507 e 511), com elevado conteúdo em MgO (Figura 29 a), apresentam certa semelhança com o dolomito chértico do Niagaran Group (Silurian) County, Ohio, no conteúdo em SiO_2, CaO e MgO. Estes dados indicam que, no Amapari, os protólitos eram possivelmente representados por rochas carbonáticas, como calcários e dolomitos.
- Por apresentarem maior conteúdo em CaO e MgO, enquanto as FFb maior conteúdo em SiO_2 e Fe_2O_3, as rochas carbonáticas são geoquimicamente diferenciadas quando comparadas em gráficos CaO x SiO_2, MgO x SiO_2 e ou através dos gráficos Fe_2O_3T (total) x SiO_2 e CaO x a razão SiO_2/Fe_2O_3T (total). (Figuras 29 a e b, e 30 a e b).
- Três amostras de rocha carbonática (FD 162-182 e 192, FD 703-23237) dos alvos Taperebá C e B, com alto conteúdo em Fe_2O_3, apresentam-se mineralizadas em ouro. Sugerem a possibilidade de possíveis FFb afetadas por intensa alteração hidrotermal.
- Uma amostra de rocha cálcio-silicática (FVD 795-57451/52) do alvo Urucum apresenta valores elevados a médios de CaO e MgO 16,74 e 10,43 %, respectivamente, e elevado valor de SiO_2. Sob o ponto de vista geoquímico, representa um termo intermediário entre as FFb e as rochas carbonáticas.

V.6.2 Elementos terras raras

O estudo de ETR visava distinguir FFb de rochas carbonáticas e seus produtos: a) de metamorfismo de contato/escarnitização, b) hidrotermais, relacionados à mineralização aurífera. Além disso, visava investigar a possível contribuição hidrotermal na mudança ou não de padrões de ETR.

- Os resultados analíticos de ETR e normalizados para condrito, *PAAS* e água mar, não revelaram diferenças significativas entre os ETR de FFb, das rochas carbonáticas e cálcio-silicática, e nem a diferenciação entre as amostras mineralizadas em ouro daquelas estéreis.
- Tanto as FFb como as rochas carbonáticas apresentam maior conteúdo em ETRL, em relação ao ETRP e razão ETRL/ETRP é maior em rocha carbonática, do que em FFb.

- O comportamento de ETR da rocha cálcio-silicática é semelhante ao das rochas carbonáticas. O padrão de ETR normalizado para condrito, *PAAS* e água do mar é bastante semelhante para cada caso, não sendo possível observar diferença significativa entre os litotipos analisados.
- As FFb não exibem anomalia positiva de Eu, o que é típico de FFb arqueanas. Como todas as amostras estudadas têm anomalia negativa de Eu, é possível que sejam todas distais em relação aos sítios de descargas vulcanogênicas (Mitra et al. 1994 in Peter 2003).
- Considerando a semelhança entre os padrões de ETR das rochas carbonáticas, cálcio-silicáticas e FFB, sugere-se que elas tenham se depositado em sítios próximos entre si (Figura 35), e que as mesmas fossem interdigitadas. Além disso, o padrão de ETR de ambos litotipos, semelhante à água do mar, sugere gênese/formação no ambiente submarino com influência da água do mar.

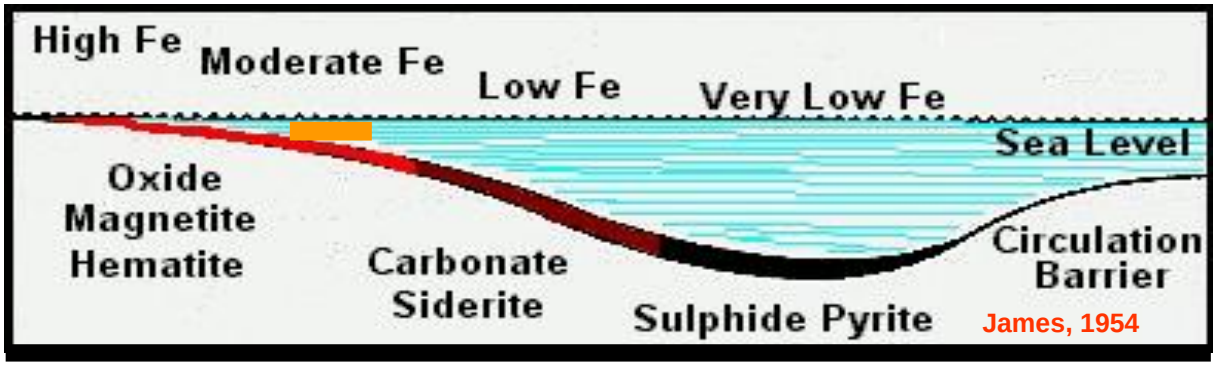


Figura 35: Provável sítio (em laranja) de formação das rochas FFb e carbonáticas do Amapari, em região de transição entre o domínio de óxidos e carbonatos. Adaptado de James (1954).

V.6.3 Mineralização aurífera do Amapari: escarnítico X orogênico

Em trabalhos anteriores realizados no depósito de ouro do Amapari, Melo (2001) e Melo et al. (2001) descrevem um evento de escarnitização em rochas carbonáticas que precede a fase de mineralização aurífera, que é interpretada como do tipo orogênico. Em estudo petrográfico e minerográfico nos corpos Taperebá A, B e D, Faraco et al. (2003) também descrevem escarnitos no Taperebá D e rochas carbonáticas no Taperebá A e B. Esses autores correlacionam a mineralização aurífera do Amapari com o depósito de ouro escarnítico de Nevoria, localizado no oeste da Austrália (Mueller 1997).

Segundo Meinert (1989), os depósitos do tipo escarnito resultam da alteração hidrotermal, a partir de fluidos de magma silicoso, quente, com rochas sedimentares frias, sendo que o estágio hidrotermal tardio da evolução do corpo plutônico se reflete na alteração

e na mineralização das rochas adjacentes. Segundo Einaudi et al. (1981) e Meinert (1992 in Robb 2005), a escarnitização envolve três etapas: a) metamorfismo de contato isoquímico, durante o estágio de colocação e cristalização do corpo granítico, b) um sistema aberto de metassomatismo e alteração durante a saturação do fluido hidrotermal magmático, c) resfriamento e mistura com água meteórica. O metamorfismo de contato, considerado como uma fase progressiva, provoca a formação de uma variedade de texturas hornfélsicas e a paragênese reflete a composição dos litotipos afetados. A segunda fase é de metassomatismo e substituição, que envolve fluido aquoso e vapor de saturação do magma, e a saída da fase fluida para o halo do metamorfismo de contato adjacente. A paragênese mineral metassomática é similar àquelas formadas durante o metamorfismo de contato, porém a alteração é mais pervasiva e substitui os minerais formados no metamorfismo de contato. Elementos como Si, Al e Fe, além de outros componentes, são introduzidos nas rochas carbonáticas pelos fluidos magmáticos aquosos, enquanto Ca, Mg e CO_2 são derivados da própria rocha carbonática. Sulfetação e mineralização de ouro não se formam nesta etapa. A fase de metamorfismo retrógrado corresponde ao aporte de fluidos meteóricos e precipitação dos principais metais. Todo o sistema magmático hidrotermal sofre resfriamento progressivo, que provoca abaixamento de temperatura do sistema do fluido magmático. Com o progressivo predomínio de águas meteóricas rasas, misturando-se ao fluido magmático, uma série de complexas reações retrógradas se inicia juntamente com a precipitação de sulfetos, ouro e outros metais preciosos (Einaudi et al. 1981). A paragênese de alteração retrógrada se sobrepõe aos minerais metamórficos e metassomáticos precedentes, com formação tardia de epidoto, clorita, plagioclásio, calcita, quartzo, como substituição de vários tipos de granada. Tremolita-actinolita e talco, por substituição do piroxênio, e serpentina por substituição da olivina. Sulfetos, além da magnetita e hematita, ocorrem em disseminações ou veios. A paragênese pirita-calcopirita-magnetita caracteriza a zona proximal em relação ao corpo plutônico, enquanto a bornita e esfalerita-galena são distais. Durante a fase de metamorfismo retrógrado, com introdução de fluidos, é de se esperar mudança no padrão de ETR, sendo que fluidos meteóricos não têm ETR.

Diferentemente de escarnitos, no sentido metamórfico puro, no metamorfismo de contato de seqüências carbonáticas há simples transferência de Si e os fluidos são relativamente simples e não interferem nos ETR. Devido ao seu comportamento homogêneo, os ETR das rochas do Amapari são relativamente imóveis. Minerais típicos da fase de alteração retrógrada (epidoto, clorita, tremolita, actinolita, etc.) não estão presentes, sugerindo ausência dessa etapa de alteração, que costuma ser intensa e constitui-se no evento mineralizador de

depósitos escarníticos. Dessa forma, não é viável qualquer origem metamórfica, tipo escarnítica, para essas rochas, sejam elas mineralizadas ou não.

Os depósitos escarníticos de ouro estão associados principalmente com corpos plutônicos reduzidos, da série I, incluindo - granodioritos, quartzo-monzonitos e tonalitos, contendo ilmenita; tais granitos também são férteis em Pb-Zn e Ag. O granito Amapari é classificado como da série S, que é mais especializado em Sn-W. Na região do Amapari há diversos garimpos de cassiterita e tantalita, bem como de algumas pequenas minas de cassiterita, atualmente desativadas, com associação presumível com os granitos tipo S.

Tendo em vista que os resultados de estudos petrográficos e de ETR não revelam evidências de minerais escarníticos da fase retrógrada, o modelo de mineralização aurífera mais condizente para a área estudada é aquela de Melo (2001) e Melo et al. (2001), que propõem que o depósito de ouro do Amapari, seja parte de uma zona de acresção resultante de orogênese colisional continental, do tipo orogênico, segundo modelo de Groves et al. (1998) (Figura 36).

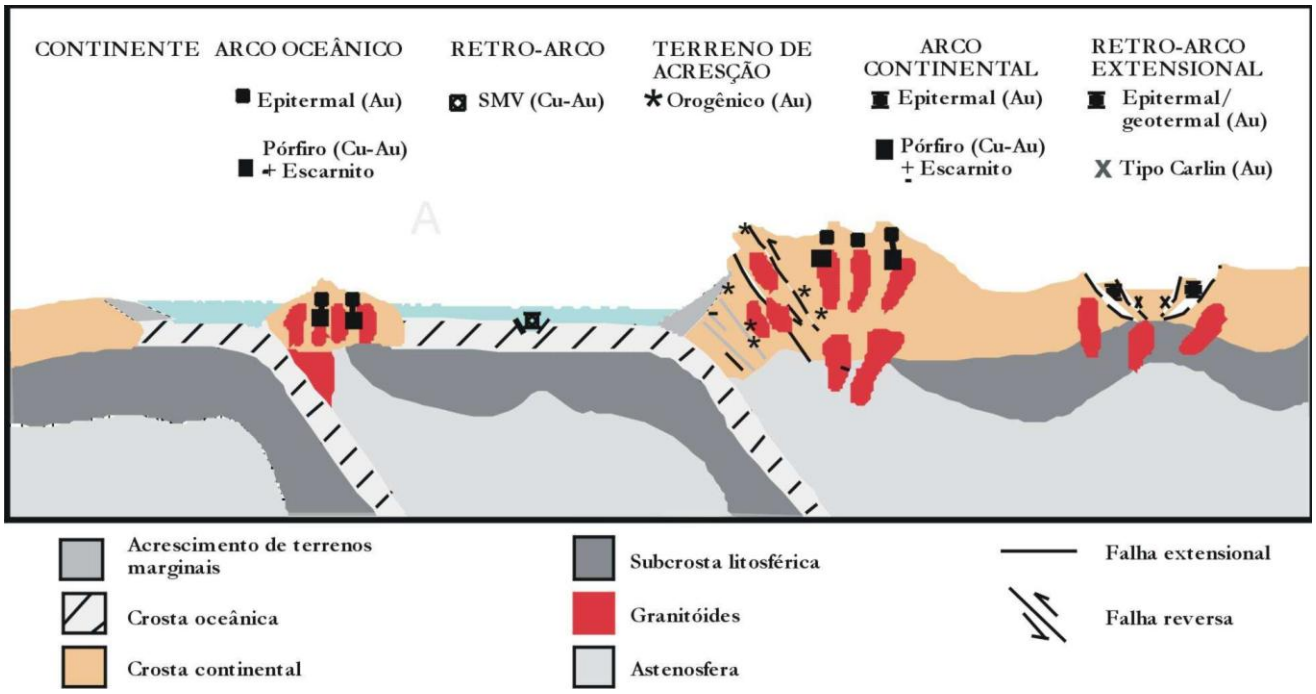


Figura 36: Diferentes tipos de depósito de ouro e seus respectivos ambientes geotectônicos. O depósito de ouro do Amapari situa-se em terreno de acresção. Fonte Melo (2001), segundo Groves et al. (1998).

CAPÍTULO VI - GEOQUÍMICA DE SOLO

A geoquímica de solo é um método bastante utilizado em exploração mineral para detalhar anomalias geoquímicas de sedimentos de corrente, ou mesmo de faixas de rochas anômalas em determinados elementos químicos.

Na região do Amapari, esta técnica foi empregada para detalhar anomalias geoquímicas de ouro detectadas em zona de domínio de formações ferríferas bandadas – FFb.

A primeira malha implantada na área, à época da Unigeo, foi a Taperebá-Urucum (Figuras 37 e 38) que, através de seu detalhamento e trabalhos adicionais de pesquisa, definiu o depósito de ouro do Amapari.

Com o objetivo de pesquisar as extensões deste depósito e testar métodos de amostragem, a Anglogold implanta posteriormente a malha Silvestre-Vila do Meio e Bananeira (Figura 37). Os resultados obtidos para ouro e outros elementos químicos foram objeto de comparação entre as malhas da Unigeo e Anglogold.

Na região do Amapari foram empregados dois métodos de amostragem geoquímica de solo que podem ser denominados como tradicional (Taperebá-Urucum) e multielementar (Silvestre-Vila do Meio e Bananeira).

O objetivo deste capítulo é apresentar os resultados obtidos, principalmente pelo método multielementar, para caracterizar a assinatura geoquímica de solo da área em estudo e correlacioná-los com os domínios litológicos.

VI.1 Revisão de trabalhos geoquímicos multielementar na região do depósito de ouro do Amapari-AP

Na área do depósito de ouro do Amapari tem-se conhecimento de dois trabalhos de geoquímica multielementar.

Seoane et al. (2006) e Teixeira et al. (2006) estudam a geoquímica de solo - multielementar, de diversos alvos de pesquisa no entorno e nos alvos do depósito de ouro do Amapari, utilizando a técnica da análise de componentes principais (PCA), cujos quatro primeiros componentes principais (PC's) e os respectivos elementos químicos, por ordem de importância, são: PC 1 - composto pelos elementos Al, Fe, Ga, Ti, Hg, S, Zr, Hf, P, Ge, Sb, Sr, V, Sc e Ta, que devem refletir os diferente materiais regolíticos. PC 2 – constituído por Cs, Mn, Co, Y, Rb, Tl, Li, Ba, K, Be, Ce, La, Sr, Zn, possivelmente refletindo a composição de litologias originais ou de alguma alteração hidrotermal. PC 3 compreende os elementos Cu, Cr, Sc, V, Ni, As, Zn, Co, Te, Se e S, que parece refletir a presença de corpos mais máficos e/ou mineralizações de metais-bases. PC 4 composto por Pb, Bi, Sn, In, Mo, U, Th, Zn, Tl, Ce, Ag e W, com assinatura provavelmente ligada a intrusões mais tardias.

De acordo com os mapas apresentados pelos mesmos autores, a associação de elementos do PC 1 localiza-se, em parte sobreposta à faixa mineralizada N-S do Amapari e em parte localizam-se a leste da mesma. O PC 2 situa-se sobre a faixa mineralizada N-S, enquanto o PC 3 não está localizado no mapa. O PC 4 localiza-se sobre a faixa mineralizada N-S.

VI.2 Métodos de amostragem

VI.2.1 Malha de solo

A malha de solo compreende uma série de picadas (denominadas linhas) abertas paralelamente e na direção perpendicular à orientação das rochas ou algum elemento estrutural. Estas linhas obedecem a espaçamentos regulares. Ao longo de cada linha são coletadas amostras de solo (estação de amostragem), também a distâncias regulares.

VI.2.2 Geoquímica de solo tradicional

Esse método foi empregado na malha de solo Taperebá-Urucum (Figuras 37 e 38). Nessa técnica a malha de solo é bem adensada com o objetivo de obter anomalias praticamente sobre o corpo mineralizado. Portanto, a quantidade de elementos químicos analisados é bem reduzida e a definição da anomalia é direta, ou seja, procura-se definir o ouro pelo resultado do ouro, o cobre pelo cobre, o zinco pelo zinco e assim sucessivamente.

Estas linhas obedecem a distâncias regulares, suficientes para cobrir, com pelo menos duas linhas, o comprimento mínimo de corpos mineralizados que sejam econômicos. Ao longo de cada linha são coletadas amostras de solo, a uma distância suficiente para não perder corpos que possuam a largura mínima de interesse.

VI.2.3 Geoquímica de solo multielementar

O avanço tecnológico ocasionou o surgimento de novos equipamentos; o desenvolvimento de técnicas analíticas mais refinadas e precisas, e novos programas computacionais foram decisivos para o advento da geoquímica multielementar que provocou mudanças no método de prospecção geoquímica de solo.

A geoquímica multielementar foi aplicada nas malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira (Figura 37). Neste método procura-se, inicialmente, localizar as zonas (halos) de alteração hidrotermal que são faixas mais largas e que envelopam a mineralização. Posteriormente as mesmas são detalhadas numa malha mais fechada visando encontrar o corpo mineralizado, ao contrário dos métodos tradicionais, onde a malha já era inicialmente

fechada e se buscava definir anomalias bem próximas ou praticamente sobre o corpo mineralizado. Por este motivo, a malha geoquímica multielementar pode ser mais aberta, porém a quantidade de elementos químicos analisados deve ser bem maior para permitir caracterizar os zoneamentos das associações de elementos químicos envolvidos na mineralização.

VI.3 Malhas de solo

VI.3.1 Malha Taperebá- Urucum

A malha Taperebá-Urucum cobriu zonas de domínio de FFb, por ser a mesma a litologia anômala em ouro (Figuras 37 e 38), ocupando uma área de 10 km x 2,0 km, localmente 3,5 km.

Essa malha foi aberta em linhas espaçadas de 100 m e a coleta de amostras espaçadas de 20 m, ao longo de cada linha (malha 100 x 20 m). Compreende 134 linhas, perfazendo 233,9 km onde foram coletadas 10.969 amostras originais, através de enxadão ou com cavadeira de boca, para análise de Au, Cu, Pb, Zn, Ni, Co e Cr. Algumas zonas com resultados altamente anômalos em ouro (> 500 ppb) tiveram sua malha adensada para 50 x 10 m.

As amostras para ouro foram coletas no horizonte A, logo abaixo do horizonte orgânico, para permitir a detecção também do ouro de concentração mecânica. Fragmentos maiores que 2 mm foram descartados no campo.

Amostras para análises de As, Cu, Pb, Zn, Ni, Co e Cr foram coletadas no horizonte B, na zona de oscilação do lençol freático, propício à concentração de metais. Amostras duplicatas foram coletadas a cada 15 a 20 amostras. Todas essas amostras foram enviadas para análise no laboratório Nomos do Rio de Janeiro.

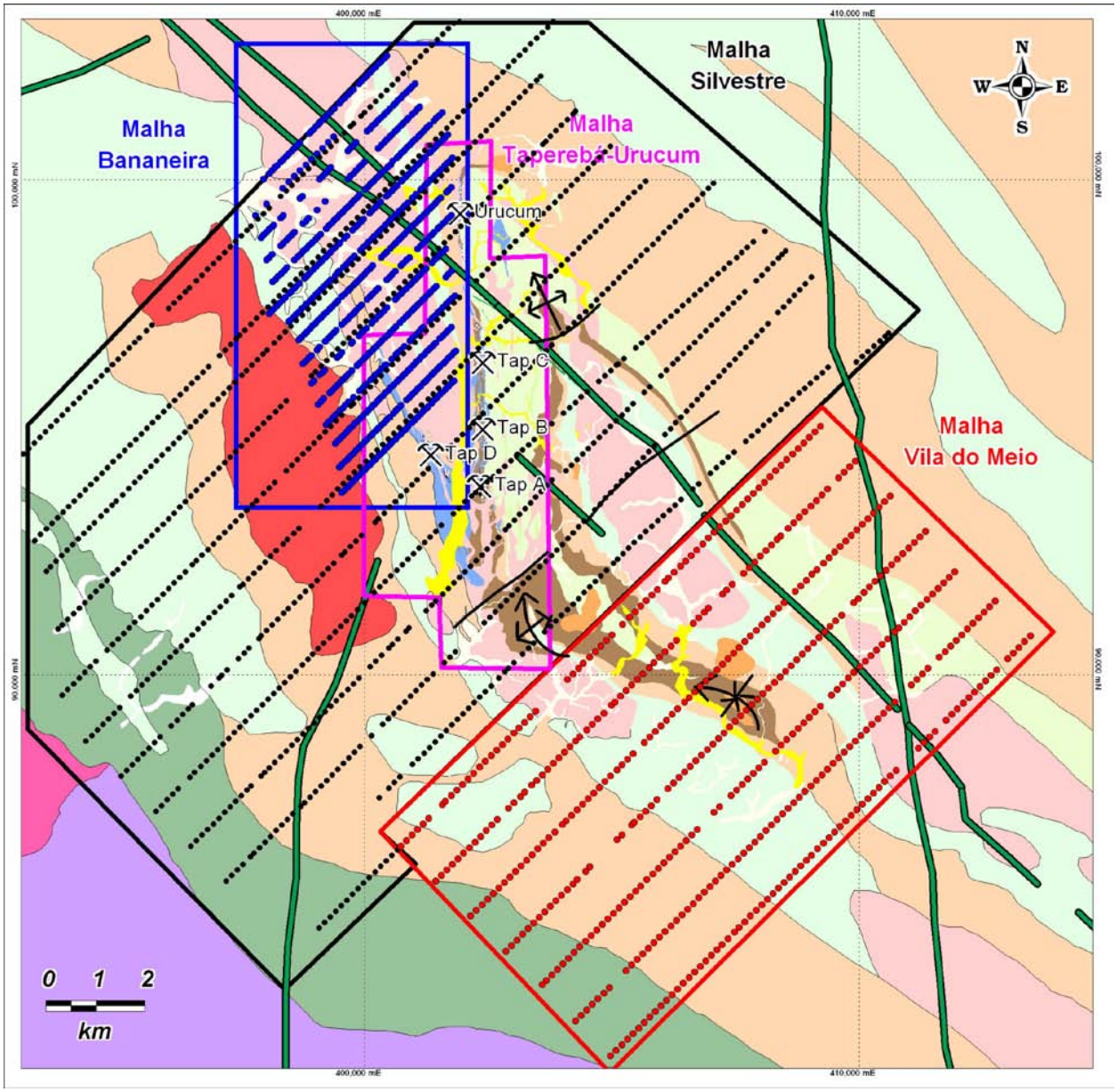
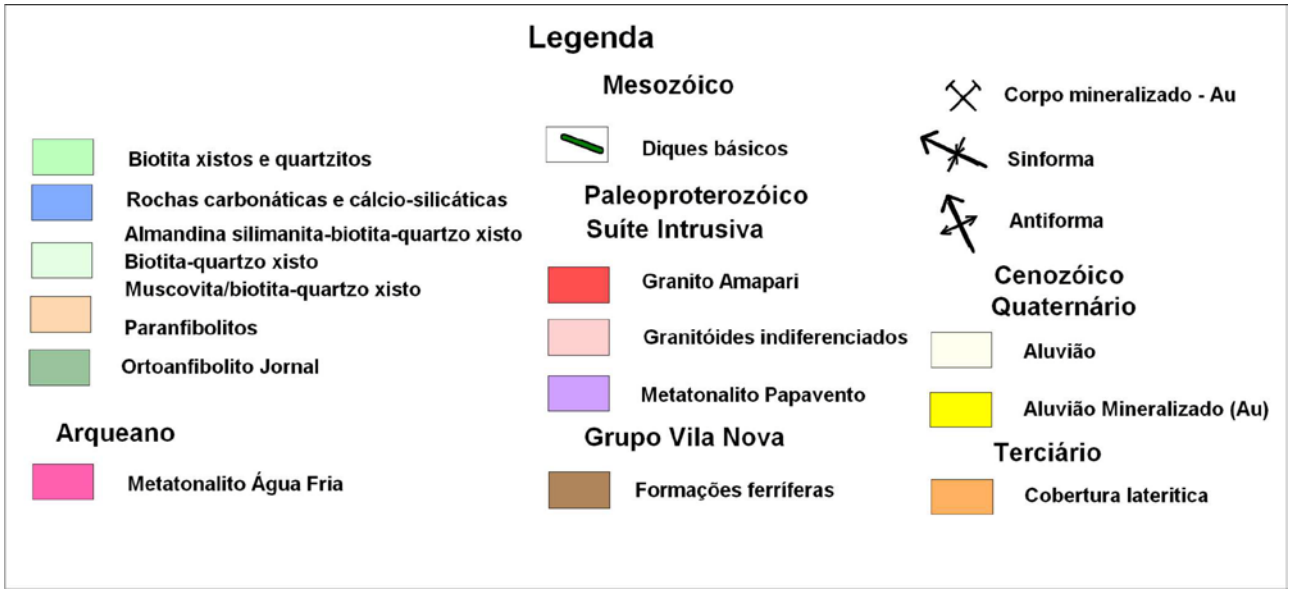


Figura 37: Mapa de localização das malhas de solo Silvestre, Vila do Meio, Bananeira e Taperebá-Urucum e dos corpos mineralizados em Au – Urucum, Taperebá (Tap) A, B, C e D.



Legenda da Figura 37.

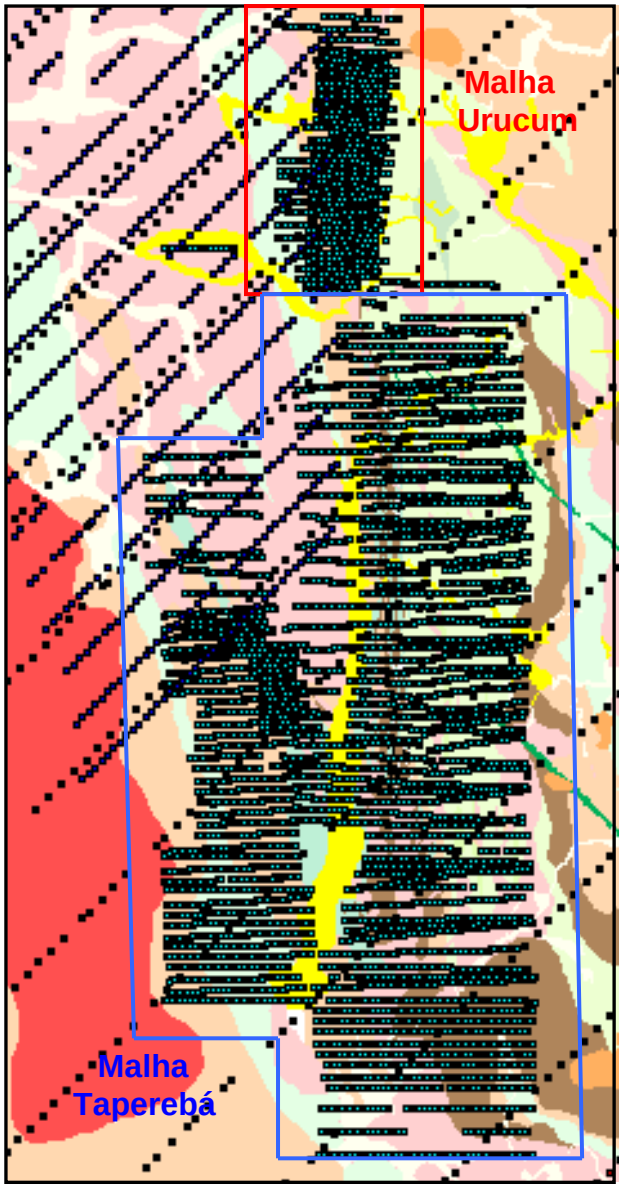


Figura 38: Detalhe da localização da malha de solo Taperebá-Urucum

VI.3.2 Malha Silvestre-Vila do Meio e Bananeira

As malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira ocupam uma área de 17 x 17 km (Figura 37). Objetivaram pesquisar as extensões do depósito de ouro do Amapari, com linhas espaçadas de 1000 m e coleta de amostras a cada 160 m (malha 1000 x 160 m). Já a malha Bananeira (400 x 80 m) teve por objetivo pesquisar a porção oeste do depósito do Amapari.

A malha Silvestre-Vila do Meio compreende 19 linhas, totalizando 262,1 km, onde foram coletadas 1.581 amostras originais, recobrindo também a malha Taperebá-Urucum. Na Bananeira foram coletadas 670 amostras originais, em 16 linhas, perfazendo 61,34 km, num total geral de 2.251 amostras.

As amostras de solo destas duas malhas foram coletadas no horizonte A, na fração menor que 6 mm e pesando aproximadamente 100 gramas, após limpeza de folhas e raízes superficiais, para análise de Au e mais 50 elementos químicos (vide item VI.4).

Em cada ponto, foi coletada também uma amostra para arquivo, caso fosse necessária uma reanálise. Amostras duplicata (duplicata de campo), coletadas em pontos previamente programados tiveram a finalidade de testar a variabilidade dos resultados de cada elemento químico. Ao final da campanha de coleta, as amostras foram conferidas, inseridas as amostras (de controle) padrão e branca e enviadas ao laboratório Chemex, de Vancouver – Canadá. As amostras padrão têm o objetivo de aferir a acurácia do laboratório e as amostras brancas de verificar se existem problemas de contaminação no próprio laboratório.

Para o presente estudo, as amostras não estão selecionadas (agrupadas) em relação à sua localização topográfica, se em regime residual (topo de morro, platôs), regime erosional (encosta de morros) ou regime deposicional (vales, topografia baixa, ou baixa e plana), embora todas estas situações estejam anotadas.

As amostras de solo, de acordo com o protólito, apresentam as seguintes características:
Biotita/muscovita-quartzo xisto – cor amarela, magnetismo ausente, areno-síltico.
Paranfibolito – amarelo e vermelho, magnetismo ausente, argilo-arenoso a areno-argiloso.
FFb – cor vermelha, magnética, arenosa.
Dique básico – vermelho e marrom escuro, medianamente magnético, argiloso.
Quartzito – cinza e amarelo, não magnético, arenoso médio.
Granito/gnaisse – cinza, magnetismo ausente, arenoso.

Pisólitos lateríticos de tamanho milimétrico a subcentimétrico são bastante freqüentes em boa parte desses solos.

VI.4 Laboratórios e métodos analíticos

As amostras da malha Taperebá-Urucum foram enviadas para análise no laboratório Nomos do Rio de Janeiro, enquanto as das malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira foram encaminhadas ao laboratório ALS Chemex, de Vancouver – Canadá.

VI.4.1. Laboratório Nomos

No laboratório Nomos, as amostras de solo da malha Taperebá-Urucum foram secadas em estufa a 60º, posteriormente desagregadas e peneiradas na fração menor que 80 *mesh*, para análise de metais básicos e arsênio, enquanto o solo para Au foi peneirado na fração menor

que 2 mm. Após peneiramento, as amostras foram pulverizadas na fração menor que 150 *mesh* e analisadas para 8 elementos químicos pelos seguintes métodos:

Au: *fire assay* com finalização por absorção atômica – limite de detecção 0,01 ppm.

Cu, Pb, Zn, Ni, Co e **Cr**: digestão por água régia e análise por absorção atômica – limites de detecção 1 ppm.

As: digestão por água régia e dosagens por colorimetria – limite de detecção 5 ppm.

VI.4.2 Laboratório ALS Chemex

No laboratório ALS Chemex, as amostras das malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira foram submetidas à:

A - secagem e pulverização em disco de aço-cromo (Figura 39), na fração menor que 150 *mesh* e limpeza do pulverizador com SiO_2.

B – Análise de ouro (50 gramas), por fusão-copelação e leitura por absorção atômica

C - Análise de 50 elementos químicos por ICP (i*nductively coupled plasma)*, numa combinação ICP-AES (*atomic emission spectrometry*) / MS (*mass spectrometry*) com digestão por água régia.

Figura 39: Pulverizador de disco de aço-cromo (Fonte - catálogo do Laboratório ALS Chemex, 2005).

Os limites de detecção inferior e superior, para cada um dos 51 elementos químicos, que por si só informam a sensibilidade do método analítico, estão listados na Tabela 20, a seguir:

Tabela 20: Limites de detecção inferior e superior dos elementos químicos – laboratório ALS 2005.

Elem	Limite Inferior	Limite Superior	Elem	Limite Inferior	Limite Superior	Elem	Limite Inferior	Limite Superior
Au	1 ppb	1000 ppb						
Ag	0.01 ppm	100.0 ppm	Al*	0.01 %	15.0 %	As	0.1 ppm	10000 ppm
B	10 ppm	10000 ppm	Ba*	0.2 ppm	10000 ppm	Be*	0.05 ppm	100.0 ppm
Bi	0.01 ppm	10000 ppm	Ca*	0.01 %	15.0 %	Cd	0.01 ppm	500 ppm
Cr*	1 ppm	10000 ppm	Co	0.1 ppm	10000 ppm	Cu	0.2 ppm	10000 ppm
Fe	0.01 %	15.0 %	Ga*	0.05 ppm	10000 ppm	Ge	0.05 ppm	500.0 ppm
Hg	0.01ppm	10000 ppm	K*	0.01 %	10.0 %	La*	0.2 ppm	10000 ppm
Mg*	0.01%	15.0 %	Mn	5 ppm	10000 ppm	Mo	0.05 ppm	10000 ppm
Na*	0.01%	10.0 %	Ni	0.2 ppm	10000 ppm	P	10 ppm	10000 ppm
Pb	0.2 ppm	10000 ppm	S	0.01 %	10.0 %	Sb	0.05 ppm	10000 ppm
Sc	0.1 ppm	10000 ppm	Se	0.2 ppm	1000 ppm	Sr*	0.2 ppm	10000 ppm
Te	0.01 ppm	500 ppm	Ti*	0.01 %	10.0 %	Tl	0.2 ppm	10000 ppm
U	0.05 ppm	10000 ppm	V	1 ppm	10000 ppm	W*	0.05 ppm	10000 ppm
Zn	2 ppm	10000 ppm	Ce	0.02 ppm	500 ppm	Cs	0.05 ppm	500 ppm
Hf	0.02 ppm	500.0 ppm	In	0.005 ppm	500.0 ppm	Li	0.1 ppm	500 ppm
Nb	0.05 ppm	500.0 ppm	Rb	0.1 ppm	500 ppm	Re	0.001ppm	50.0 ppm
Sn	0.2 ppm	500 ppm	Ta	0.01 ppm	500.0 ppm	Th	0.2 ppm	500 ppm
Y	0.05 ppm	500.0 ppm	Zr	0.5 ppm	500 ppm			

* Digestão incompleta por água régia para os seguintes elementos: Al, Ba, Be, Ca, Cr, Ga, K, La, Mg, Na, Sr, Ti,Tl e W.

VI.5 Preparação dos dados e tratamento dos resultados geoquímicos – métodos

VI.5.1 Preparação dos dados

Os dados geoquímicos de solo, das malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira, foram preparados segundo os procedimentos do manual Geosoft (2001) para serem processados no referido programa:

- Programação das linhas a serem abertas e os respectivos pontos de amostragem em planilha com extensão csv
- Elaboração de uma planilha contendo a numeração das amostras de solo, localização (coordenadas), descrições de suas características físicas, laboratório e métodos analíticos, etc., durante a fase de amostragem, denominada arquivo *survey*.
- Lista das amostras a serem enviadas ao laboratório, com as solicitações dos métodos de preparação e os respectivos métodos analíticos

- Elaboração do arquivo de resultados analíticos das amostras de solo denominado *assay*
- Validação dos arquivos *survey* e *assay* das malhas de solo Silvestre-Vila do Meio e Bananeira
- Substituição das amostras, com valores menores que o limite de detecção, pela metade do valor do limite de detecção
- Exclusão das amostras (10) que não apresentaram resultados analíticos de todos os elementos químicos, portanto agora com um total de 2241 amostras
- Manutenção dos resultados com valores extremamente elevados (*outliers*) que também não foram normalizados, por tratar-se de malha bastante aberta. Estes valores exageradamente elevados, mesmo isolados, podem representar indícios de mineralização.

VI.5.2 Tratamento dos dados

Os dados preparados no item VI.5.1 foram processados em programa Geosoft™, próprio para tratamento de dados geoquímicos, através das seguintes operações:

- Junção dos dois arquivos *survey* e *assay*
- Extração das amostras brancas (102 am.), duplicatas (199) e padrão (115 am) – totalizando 416 amostras. O programa gera um relatório em forma de gráfico que mostra o comportamento dessas amostras brancas, padrão e duplicatas (Figuras 40 a, b e c).
- Criação de um arquivo denominado *Master* com um total de 2.241 amostras originais, assim distribuídas: malha Silvestre – 1057am., malha Vila do Meio – 514 am. e Malha Bananeira – 670 am.
- Elaboração pelo Geosoft™ de um resumo estatístico do arquivo *Master*, de cada malha, contendo: elementos químicos, quantidade de amostras validadas, valores maiores ou iguais a zero, valores mínimos e máximos, intervalo de variação de resultados, média, desvio padrão, variância, soma dos resultados para cada elemento químico, soma dos quadrados, média geométrica, mediana, moda, erro do desvio padrão, *skewness* e *kurtosis*, em termos de distribuição de resultados (Tabela 21 e Anexos 18, 23, 28, 33, 37 e 42).

Skewness mede a direção e ausência de simetria (NCSS 2000). *Skewness* positivo indica a parte mais longa da terminação do gráfico deslocada para a direita e *skewness* negativo deslocada para a parte esquerda do mesmo.

Kurtosis mostra o grau de achatamento ou afilamento de uma distribuição em relação a uma distribuição padrão, denominada curva normal (Pinto http://www.famat.ufu.br/rogerio/ rogerio_arquivos).

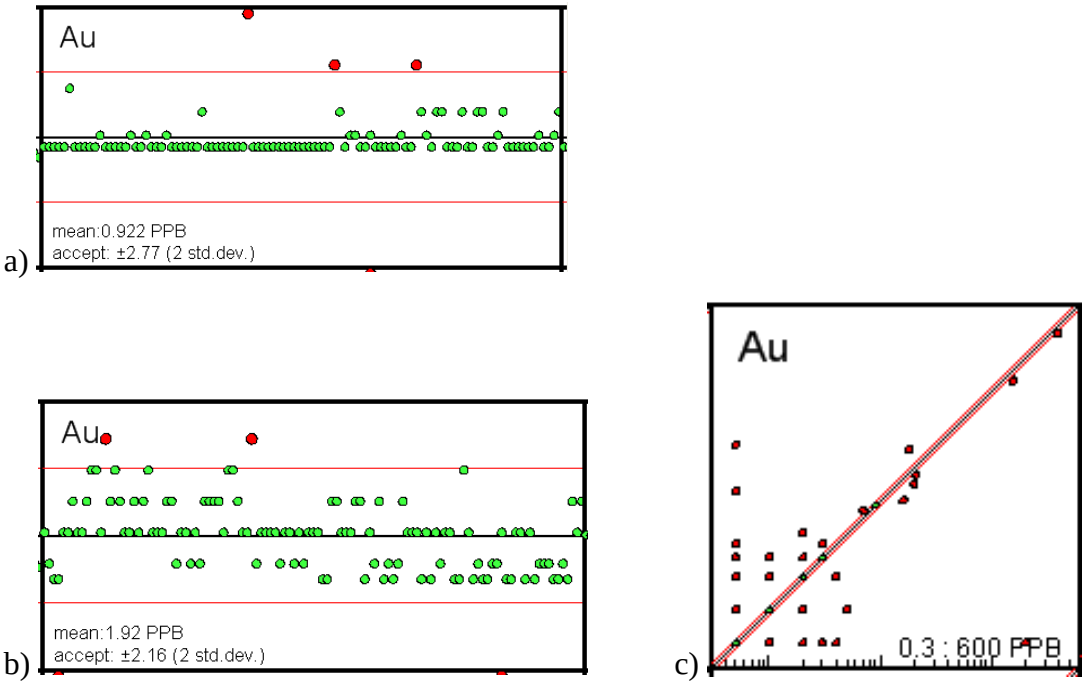


Figura 40: Amapari – comportamento das amostras extraídas pelo Geosoft™ – (a) amostras brancas, (b) amostras padrão em relação a 2 desvios padrão e, (c) amostras duplicatas x amostras originais.

De acordo com a Figura 40 observa-se que algumas amostras brancas (a) e padrão (b) contêm valores de ouro acima do tolerável (maiores que 2 desvios padrão). Quanto às amostras duplicatas (c), as mesmas mostram uma grande variabilidade para valores mais baixos de ouro. Por tratar-se de duplicatas de campo e a comprovada erraticidade do ouro, este fato não tem como ser evitado.

Tabela 21: Resumo estatístico do arquivo *Master* das malhas de solo Silvestre-Vila do Meio e Bananeira.

Channel	NumValid	Num>0	Dummies	Min	Max	Range	Mean	StdDev	Var	Sum	SumSq	GeoMean	Median	Mode	StdErr	Skew ness	Kurtosis
Ag_ppm	2241	2241	0	0.005	1.7	1.695	0.14238956	0.149846	0.0224538	319.095	95.732325	0.09054317	0.09	0.06	0.00316537	2.96372	14.849
Al_perc	2241	2241	0	0.005	16	15.995	1.84799197	1.73153	2.99821	4141.35	14369.1711	1.38358448	1.45	0.63	0.03657717	3.53888	17.5524
As_ppm	2241	2241	0	0.05	944	943.95	17.3743641	39.6541	1572.45	38935.95	4198771.91	5.45916097	5.6	0.6	0.83765904	9.05285	152.063
Au_ppb	2241	2241	0	0.5	1001	1000.5	3.79451138	35.8096	1282.33	8503.5	2904676.25	0.72875688	0.5	0.5	0.75644655	22.1024	565.758
Ba_ppm	2241	2241	0	0.1	1165	1164.9	20.2053101	64.4325	4151.55	45280.1	10214377.2	5.85084559	5	5	1.36108223	8.54576	102.041
Be_ppm	2241	2241	0	0.025	2.6	2.575	0.15921464	0.203337	0.0413459	356.8	149.4225	0.08987329	0.1	0.025	0.00429532	3.71233	23.6111
Bi_ppm	2241	2241	0	0.005	50.4	50.395	1.03894467	2.44281	5.9673	2328.275	15785.7019	0.51602342	0.46	0.33	0.05160218	10.5309	160.292
Ce_ppm	2241	2241	0	0.52	219	218.48	8.03243195	13.4527	180.974	18000.68	549971.968	4.50386431	3.62	1.9	0.28417619	5.45322	47.1586
Co_ppm	2241	2241	0	0.1	127	126.9	3.18795181	8.08235	65.3243	7144.2	169101.84	1.29471979	1.1	0.3	0.17073263	7.46873	75.4971
Cr_ppm	2241	2241	0	0.5	1925	1924.5	219.703481	184.33	33977.5	492355.5	184281907	168.969871	171	67	3.89381254	2.84499	12.9875
Cs_ppm	2241	2241	0	0.025	9.05	9.025	0.70516511	0.664097	0.441025	1580.275	2102.25188	0.50179651	0.5	0.25	0.01402849	3.08634	18.3768
Cu_ppm	2241	2241	0	0.8	347	346.2	18.514681	19.8539	394.178	41491.4	1651158.14	12.1186249	12.8	3.2	0.4193968	4.60177	49.1466
Fe_perc	2241	2241	0	0.005	16	15.995	5.10132753	4.00849	16.068	11432.075	94311.0381	3.4822224	4.24	16	0.08467588	0.965578	0.27372
Ga_ppm	2241	2241	0	0.4	84.7	84.3	10.5146586	7.79382	60.7436	23563.35	383826.273	8.30722738	8.5	3	0.16463773	2.43474	12.0281
Hf_ppm	2241	2241	0	0.01	1.46	1.45	0.14444444	0.176632	0.0311987	323.7	116.6418	0.07656934	0.08	0.02	0.00373119	2.65973	9.89317
Hg_ppm	2241	2241	0	0.005	0.91	0.905	0.16298304	0.109695	0.0120329	365.245	86.482475	0.13209772	0.13	0.07	0.00231721	1.56304	3.47046
La_ppm	2241	2241	0	0.2	20	19.8	2.51584114	1.92197	3.69397	5638	22458.8	1.89127084	1.8	5	0.04059996	1.53605	5.83334
Li_ppm	2241	2241	0	0.05	23	22.95	0.60832218	1.16495	1.35711	1363.25	3869.2225	0.32994494	0.3	0.1	0.02460859	9.19437	123.862
Mn_ppm	2241	2241	0	2.5	11000	10997.5	497.620482	1430.08	2045120	1115167.5	5135994181	85.1922149	60	15	30.2091317	4.79946	26.0508
Mo_ppm	2241	2241	0	0.1	36.65	36.55	1.67628291	2.72417	7.42108	3756.55	22920.2625	1.09824931	1	0.8	0.05754567	6.11767	47.6781
Nb_ppm	2241	2241	0	0.025	22.4	22.375	1.1934739	1.84541	3.40552	2674.575	10820.4031	0.6314364	0.6	0.2	0.03898261	4.18784	24.7791

Tabela 21: Resumo estatístico do arquivo *Master* das malhas de solo Silvestre-Vila do Meio e Bananeira

Ni_ppm	2241	2241	0	0.8	85.8	85	8.69879518	8.77946	77.079	19494	342231.2	5.96004922	6	2	0.18545862	2.96431	13.5245
P_ppm	2241	2241	0	5	3680	3675	149.872825	177.466	31494.1	335865	120883825	120.407545	110	80	3.74881222	12.2621	212.236
Pb_ppm	2241	2241	0	0.8	1550	1549.2	17.2178492	63.1063	3982.41	38585.2	9584951.5	6.26020584	5.6	2	1.33306716	13.1545	238.038
Rb_ppm	2241	2241	0	0.2	31.4	31.2	2.56800536	2.96095	8.7672	5754.9	34417.15	1.67055601	1.6	0.6	0.06254745	3.61426	20.0866
S_perc	2241	2241	0	0.005	0.23	0.225	0.03151049	0.0229651	0.00052739	70.615	3.406475	0.02448507	0.03	0.01	0.00048512	1.83144	6.86186
Sb_ppm	2241	2241	0	0.025	2.95	2.925	0.15993976	0.308613	0.0952418	358.425	270.668125	0.06640782	0.05	0.025	0.00651918	4.02839	20.4849
Sc_ppm	2241	2241	0	0.05	48.8	48.75	7.39451138	7.48291	55.994	16571.1	247961.67	4.07474621	5.4	1	0.15807008	1.85138	4.38061
Se_ppm	2241	2241	0	0.1	7.2	7.1	0.94576082	0.787208	0.619696	2119.45	3392.6125	0.6382822	0.8	0.1	0.01662909	1.85668	6.73781
Sn_ppm	2241	2241	0	0.1	109.5	109.4	3.77880411	6.29982	39.6877	8468.3	120900.47	2.3260642	2.2	1.2	0.13307822	8.02347	97.1534
Sr_ppm	2241	2241	0	0.2	60.4	60.2	1.60910308	2.70982	7.34312	3606	22251.02	1.07792369	1	1	0.05724261	10.0631	158.724
Te_ppm	2241	2241	0	0.005	1.52	1.515	0.09485498	0.109017	0.0118846	212.57	46.7849	0.06076756	0.06	0.05	0.00230288	4.54213	34.4246
Th_ppm	2241	2241	0	0.1	58	57.9	6.91106649	4.90189	24.0285	15487.7	160860.47	5.34811578	6	3	0.10354827	2.12156	10.5231
Tl_ppm	2241	2241	0	0.01	10	9.99	0.15838019	0.447542	0.200293	354.93	504.8713	0.05130863	0.04	0.02	0.00945393	9.74661	149.78
U_ppm	2241	2241	0	0.15	77.3	77.15	1.68041053	2.37969	5.66293	3765.8	19013.055	1.22868687	1.15	0.6	0.05026894	16.4927	467.077
V_ppm	2241	2241	0	0.5	900	899.5	108.749219	112.213	12591.7	243707	54708420.5	62.1998534	76	11	2.37040071	2.12343	6.63165
W_ppm	2241	2241	0	0.025	102	101.975	0.6299643	3.10019	9.61118	1411.75	22418.385	0.14777571	0.15	0.025	0.06548884	20.4561	565.689
Y_ppm	2241	2241	0	0.1	21.95	21.85	1.06173583	1.22671	1.50482	2379.35	5897.0375	0.78280231	0.7	0.45	0.02591322	6.07318	62.7532
Zn_ppm	2241	2241	0	1	192	191	13.7697457	14.9282	222.851	30858	924092	8.04043861	10	2	0.31534497	3.0655	17.6875
Zr_ppm	2241	2241	0	0.25	40.5	40.25	4.83232932	5.58994	31.2475	10829.25	122324.813	2.51322494	2.5	0.5	0.11808274	2.21051	6.23853

VI.5.3 Histogramas dos elementos químicos

Os histogramas (Anexos 15 e 17) mostram a distribuição dos elementos químicos analisados. Em alguns casos, observa-se: distribuição irregular dos valores desses elementos e em outros casos os valores estão abaixo, ou próximos do limite de detecção. Elementos químicos com esse comportamento foram extraídos do banco de dados (B, Ca, Cd, Ge, In, K, Mg, Na, Re, Ta e Ti), num total de 11 elementos, passando então para um total geral de 40 elementos químicos a serem processados.

VI.5.4. Cálculo dos valores de realce dos elementos químicos

Valores limiares são aqueles a partir do qual se considera como valores anômalos/realce dos respectivos elementos químicos e merecedores de verificação de campo e posterior adensamento da malha geoquímica. Para sua obtenção utilizou-se o método de estatística univariada do gráfico de probabilidade acumulativa e o método do percentil.

VI.5.5 Método de probabilidade acumulativa

No gráfico de probabilidade acumulativa (Anexo 16), os valores considerados anômalos, para cada elemento químico, são obtidos no ponto de inflexão da curva de probabilidade, indicando a mudança de uma população não anômala para uma nova população anômala. A Figura 41a aponta o valor de 20 ppb de Au na malha Silvestre-Vila do Meio-Bananeira e a Figura 41b, 130 ppb para a Taperebá-Urucum. Todos os valores obtidos encontram-se na Tabela 22.

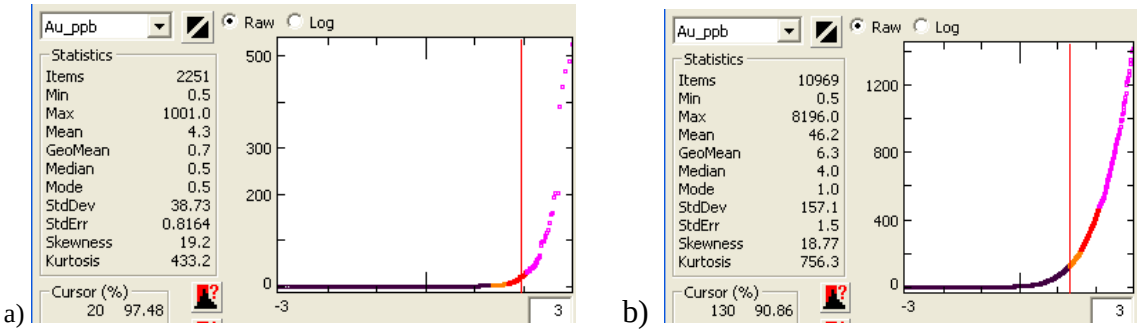


Figura 41: Valores de 20 ppb e de 130 ppb de Au nos pontos de inflexão dos gráficos de probabilidade acumulativa para: (a) malha Silvestre-Vila do Meio-Bananeira e (b) malha Taperebá-Urucum.

Tabela 22: Valores de Realce dos Elementos Químicos – Gráfico de Probabilidade Acumulativa – Malha Silvestre-Vila do Meio e Bananeira.

			Elementos		**Químicos**				
Au	20 ppb	As	55 ppm	Ag	0,2 ppm	Al	2,3 %	**B**	**10 ppm**
Ba	51 ppm	Be	0,3 ppm	Bi	2,5 ppm	**Ca**	**0,04 %**	Cd	0,13 ppm
Ce	9 ppm	Co	8,3 ppm	Cr	300 ppm	Cs	1 ppm	Cu	23 ppm
Fe	1,5 %	Ga	11 ppm	**Ge**	**0,05 ppm**	Hf	0,16 ppm	Hg	0,13 ppm
In	0,08 ppm	**K**	**0,0 1%**	***La**	**1,6 ppm**	Li	1,2 ppm	**Mg**	**0,01 %**
Mn	445 ppm	Mo	2,4 ppm	Na	0,01 %	Nb	1,4 ppm	Ni	11 ppm
P	290 ppm	Pb	37 ppm	Rb	3,3 ppm	* **Re**		S	0,03 %
Sb	0,3 ppm	Sc	3 ppm	Se	1 ppm	Sn	7 ppm	Sr	3,6 ppm
Ta	**0,01 ppm**	Te	0,25 ppm	Th	7 ppm	**Ti**	**0,01 ppm**	Tl	0,3 ppm
U	2,5 ppm	V	112 ppm	W	2 ppm	Y	2,7 ppm	Zn	20 ppm
Zr	6 ppm								

* Pode ter havido mudança nos limites de detecção
B, Ca, Ge, K, Mg, Re, Ta e Ti – sem valores de realce

VI.5.6 Método do percentil

O método do percentil seleciona as amostras com os resultados mais elevados de cada elemento químico e a critério de cada geólogo/geoquímico, os mesmos são agrupados em intervalos de porcentagens. No caso do Amapari, os intervalos anômalos, de cada elemento químico, estão agrupados em intervalos situados entre 90 – 95%, 95 – 98% e 98 – 100% da população com valores mais altos (vide Tabela 23).

Tabela 23: Valores de realce dos elementos químicos – Método do Percentil – Malha Silvestre-Vila do Meio e Bananeira.

Elemento	90 – 95%	95 – 98%	98- 100%
Au ppb	2,77 – 5,16	5,16 - 29	29 – 1001
As ppm	42 – 76	76 – 138	138 – 944
Ag ppm	0,35 – 0,44	0,44 – 0,62	0,62 – 1,7
Al %	3,5 – 4,12	4,12 – 4,45	4,45 – 16
Ba ppm	40,8 - 104,4	104,4 – 221,3	221,3 – 1.165
Be ppm	0,40 – 0,58	0,58 – 0,86	0,86 – 2,6
Bi ppm	2,05 – 3,5	3,5 – 6,5	6,5 – 50,4
Ce ppm	18, 7 – 30,6	30,6 – 50,20	50,2 – 219
Co ppm	6,7 – 14	14 - 28	28 – 127

Cr ppm	449 – 550	550 – 740	740 – 1.924
Cs ppm	1,47 – 2,0	2,0 – 2,68	2,58 -9,05
Cu ppm	40 – 56	56 - 72	72 – 347
Fe %	11 – 15	15 – 16	*
Ga ppm	20 – 24	24 – 30	30 – 84
Hf ppm	0,36 – 0,52	0,52 – 0,70	0,70 – 1,46
Hg ppm	0,33 – 0,41	0,41 - 0,46	0,46 – 1,0
La ppm	*	5,0 – 6,4	6,4 – 20
Li ppm	1,2 – 2,0	2,04 – 3,4	3,4 - 23
Mn ppm	1325 – 3092	3092 – 7216	7216 – 11000
Mo ppm	2,9 – 4,6	4,6 – 10,7	10,7 – 36,6
Nb ppm	2,7 – 4,8	4,8 – 7,2	7,2 – 22,4
Ni ppm	1 9 – 26	26 – 36	36 – 102
P ppm	275 – 350	350 – 471	471 – 3680
Pb ppm	27 – 65	65 – 161	161 – 1550
Rb ppm	5,8 – 7,8	7,8 – 11,3	11,3 – 31,4
S %	0,06 – 0,07	0,07 – 0,09	0,09 – 0,23
Sb ppm	0,46 – 0,76	0,76 – 1,35	1,35 – 8
Sc ppm	17 – 22	22 – 30	30 – 48
Se ppm	2 – 2,3	2,3 – 3,1	3,1 – 72
Sn ppm	7,3 – 12,4	12,4 – 20	20 – 109,5
Sr ppm	3 – 4,7	4,7 – 9	9 – 67
Te ppm	0,2 – 0,26	0,26 – 0,42	0,42 – 1,52
Th ppm	12,9 – 16	16 – 19	19 – 58
Tl ppm	0,33 – 0,77	0,77 – 1,6	1,6 – 10
U ppm	3,3 – 4,5	4,5 – 6,5	6,5 - 77,3
V ppm	260 – 320	320 – 440	440 – 900
W ppm	1,1 – 2,6	2,6 – 4,9	4,9 – 102
Y ppm	2 – 2,9	2,9 – 4,2	4,2 – 21,95
Zn ppm	31 – 41	41 – 58	58 – 204
Zr ppm	11,8 – 15.9	15,9 – 21,7	21,7 – 40,5

Para a malha Taperebá-Urucum, os valores de ouro estão entre 120 – 217 ppb Au, 217 – 476 ppb Au e 476 – 8196 ppb Au, respectivamente para os intervalos 90 – 95%, 95 – 98% e 98 – 100%.

Comparando-se os resultados das Tabelas 2 e 3, conclui-se que no geral os valores obtidos através do método do gráfico de probabilidade acumulativa, para cada elemento químico, são menores que aqueles situados no intervalo 90 – 95%, obtidos pelo método do

percentil. O ouro foi uma das exceções, apresentando valores mais altos no gráfico de probabilidade acumulativa das duas malhas.

Na malha estudada, é sugestivo que o método do percentil exprime melhor os valores anômalos dos elementos químicos. Em contrapartida, em malha aberta, a utilização de valores mais baixos, como os obtidos pelo método do gráfico da probabilidade acumulativa, pode aumentar as chances de descoberta de mineralizações. Esse é o caso, mesmo que se tenha que aumentar a quantidade de pontos a serem verificados no campo e também a área da malha de solo a ser adensada.

Na Figura 42 são mostrados os pontos anômalos em Au da malha Silvestre-Vila do Meio-Bananeira, definidos através da probabilidade acumulativa, se superpondo com as anomalias de Au, definidas pelo método do percentil para a malha Taperebá-Urucum. Esta última está relacionada às zonas de minério aurífero

Conclui-se, portanto, que **mesmo numa malha aberta o depósito de ouro do Amapari poderia ser descoberto**, desde que fosse dada a devida importância aos valores de realce dos elementos químicos, aliada à verificação da origem desses valores em campo, de adensamento da malha de solo e, conseqüentemente, de trabalhos adicionais de pesquisa.

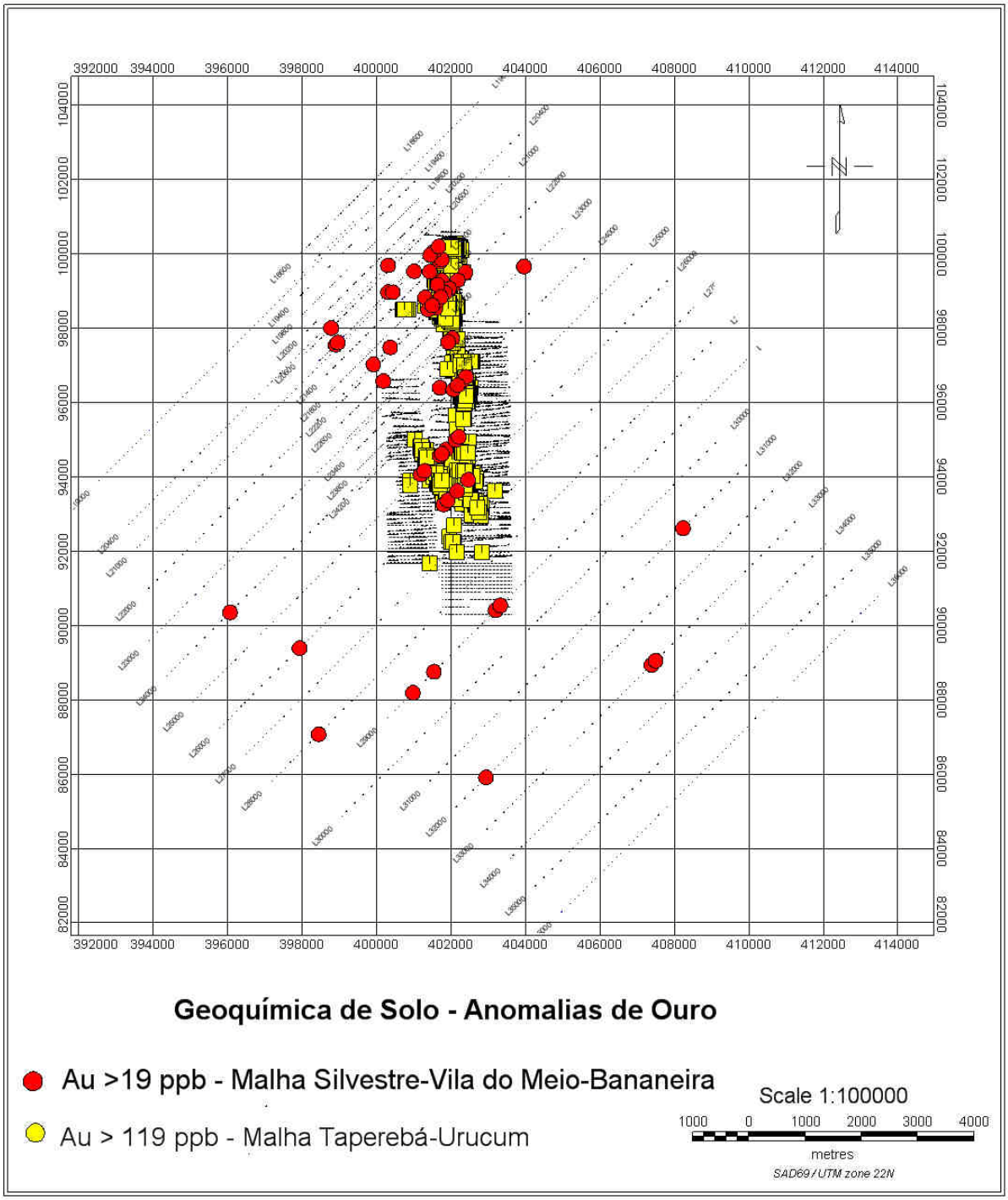


Figura 42: Valores anômalos de Au nas malhas Silvestre-Vila do Meio-Bananeira (>19 ppb – gráfico de probabilidade acumulativa) e na malha Taperebá-Urucum (>119 ppb – método do percentil).

VI.6 Análise exploratória multivariada

Em exploração mineral, é cada vez mais crescente o volume de dados geoquímicos de superfície. Isso provoca o aumento de problemas para o geoquímico extrair o máximo de informações e conhecimento dos dados, que muitas vezes apresentam mais de 50 ou mais variáveis (Manual do Geosoft 2005).

O desenvolvimento computacional tem facilitado a utilização de métodos matemáticos para se retirar o máximo proveito dos resultados disponíveis. A aplicação mais comum é a análise exploratória desse conjunto de dados por natureza multivariada.

VI.6.1 Organização dos dados

As referências bibliográficas listadas no presente item (VI.6.1) e (VI..6.2) estão contidas na dissertação de mestrado de Parreira (2003).

A análise multivariada requer a organização do conjunto de dados numa matriz **X** (**n** x **m**), onde as linhas desta matriz representam o conjunto das amostras e, as colunas, o das variáveis medidas (resultados analíticos).

Uma matriz de dados **X**, contendo **m** medidas (variáveis) obtidas para **n** amostras, pode ser graficamente representada por **n** pontos num espaço **m**-dimensional (Wold 1987 in Parreira 2003), ou seja, é possível representar esta matriz espacialmente, onde cada variável analisada corresponde a uma dimensão do espaço e cada amostra um ponto neste mesmo espaço.

Para conjuntos com muitas variáveis, a alta dimensionalidade apresentada pode dificultar o tratamento dos dados. Uma ferramenta matemática que possibilita uma melhor visualização espacial dos mesmos é a Análise de Componentes Principais.

VI.6.2. Análise de componentes principais

A Análise de Componentes Principais (*Principal Component Analysis – PCA*) (Wold 1987 in Parreira 2003) é uma manipulação matemática da matriz de dados com o objetivo de reduzir a dimensionalidade original da mesma e efetuar a correlação entre as variáveis (Parreira 2003).

As variáveis que apresentam grande redundância entre si são colineares. A alta colinearidade é uma forte indicação de que é possível encontrar-se novas bases que melhor representem as informações presentes nos dados, do que aquelas definidas pelas medidas. A alta colinearidade entre as variáveis indica que os dados ocupam um subespaço daquele espaço total definido pelas medidas.

Na construção de um novo conjunto de vetores de base, cria-se um conjunto de novas variáveis linearmente independentes para descrever estes dados. Cada novo vetor de base é expresso em uma combinação linear das antigas variáveis. Os componentes principais são os novos eixos, que são ortogonais ente si e ordenados segundo a quantidade de variância explicada pelos dados, de maneira que o primeiro vetor encontra-se na maior variância (Strang 1976 in Parreira 2003). Desta forma, este novo conjunto de eixos de coordenadas no qual se projetaram as amostras é bem mais informativo. O fato de serem ordenados pela sua importância possibilita visualizar estas mesmas amostras num gráfico de baixa dimensionalidade.

Esta projeção em uma base ortogonal pode ser feita através da decomposição por valores singulares (*Singular Value Decomposition* – SVD), onde a matriz original X (n, m) é decomposta e representada pelo produto de três novas matrizes, duas delas ortogonais (T e P) e uma diagonal (S) (Equação 3): (Reis & Ferreira 1999 in Parreira 2003).

$$X=TSP' \qquad (3)$$

A matriz S é uma matriz diagonal com elementos diagonais não negativos arranjados em ordem decrescente. O quadrado dos valores singulares corresponde aos autovalores da matriz XX' e mede a importância dos componentes principais individuais. Cada valor singular representa a porcentagem de variância explicada em cada uma de suas respectivas componentes (Smilde 1992 in Parreira 2003). O pseudoposto é definido a partir da exclusão dos autovalores pouco ou nada significativos.

Após a seleção do pseudoposto f, tem-se a matriz X, agora, representada pelo produto das matrizes T, S e P (parte sistemática), acrescida de uma matriz de erros (parte não modelável) que representa o desvio (resíduos) com relação aos dados originais.

As colunas de P são autovetores da matriz X'X abrangendo o espaço vetorial das colunas de X, enquanto a matriz T, formada pelos autovetores da matriz XX', abrange o espaço vetorial das linhas de X. O produto TS define as coordenadas das amostras na nova base denominada *escores* (Reis 1997 in Parreira 2003).

Os **escores** estão relacionados com a posição ocupada pelas amostras nos novos eixos, enquanto os **pesos** mostram quanto cada variável original contribui para a formação de cada novo eixo. Os **escores** exprimem as relações entre as amostras, e os **pesos** revelam as relações entre as variáveis originais (Tauler et al. 2000 in Parreira 2003).

Os conceitos de escores e pesos são mostrados graficamente em um exemplo de duas variáveis num espaço bidimensional (Figuras 43 a e b), onde a componente principal é o eixo que melhor se ajusta aos pontos do conjunto. O vetor p'i possui dimensão 1 x 2 e seus

elementos p_1 e p_2 são cossenos diretores, ou projeções do vetor unitário ao longo da componente principal nos eixos do gráfico (Figura 43 a). O vetor dos escores, da Figura 43 b, é um vetor coluna n x 1 e seus elementos são as coordenadas dos respectivos pontos na linha da componente principal (Geladi & Kowalski 1986 in Parreira 2003).

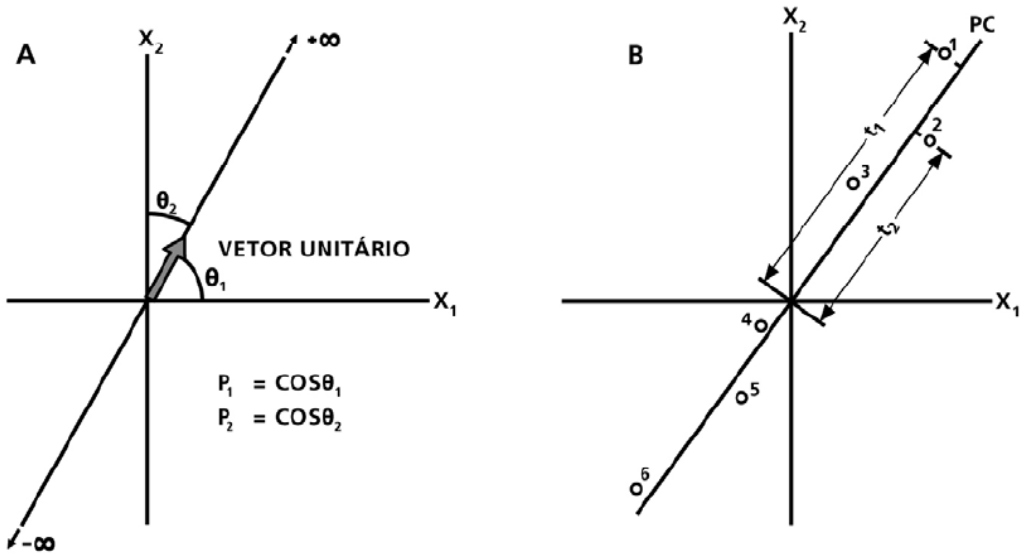


Figura 43: Componente principal para duas variáveis – a) os pesos são os cossenos do vetor diretor; b) os escores são as projeções das amostras na direção da CP [11].

Como o *PCA* é um método de quadrados mínimos, as amostras anômalas exercem forte influência nessa análise. Portanto, é de fundamental importância eliminá-las ou corrigi-las antes de aplicar o método aos dados em questão (Wold 1987 in Parreira 2003).

Outra questão que deve ser considerada é o fato das variáveis determinadas pelo laboratório químico, apresentarem diferentes unidades, com diferentes magnitudes. Isto implica na necessidade de um pré-processamento dos dados, com o objetivo de adequar as amostras do conjunto de maneira a maximizar ou minimizar o efeito de certas variáveis no todo.

O pré-processamento das variáveis pode ser feito de três maneiras que são: centrando-os na média, escalando-os pela variância e finalmente auto escalando-os (centralização dos dados na média com posterior escalamento pela variância).

A centralização dos dados na média é utilizada quando todas as variáveis forem medidas numa mesma unidade e possuírem uma mesma magnitude. Nesse pré-processamento, o centróide da matriz de dados é levado para a origem, pela subtração de cada elemento de cada coluna pela média da respectiva coluna (equação 4) (Ribeiro 2001 in Parreira 2003).

$$Xij(cm) = Xij - \overline{X}j \qquad (4)$$

Onde Xij(cm) = valor centrado na média para a variável j na amostr4a i;

Xij = valor da variável j na amostra i;

$\overline{X}$j = média dos valores das amostras na coluna j.

No escalamento pela variância, cada elemento de dada variável é dividido pelo desvio padrão dessa variável, levando dessa forma a variância à unidade. Esse tipo de escalamento conduz todos os eixos da coordenada ao mesmo comprimento, dando a cada variável a mesma influência no modelo (Equação 5) (Ribeiro 2001 in Parreira 2003).

$$X_{ij(var)} = \frac{Xij}{Sj} \qquad (5)$$

Onde: $X_{ij(var)}$ = valor escalado pela variância para a variável j na amostra i;

Xij = valor da variável j na amostra i;

Sj = desvio padrão dos valores da variável j.

O auto-escalamento pode ser considerado como o tratamento pelos dois métodos anteriormente mencionados, ou seja, centralização dos dados na média com posterior escalamento pela variância. As variáveis terão média zero e um desvio padrão igual a 1 (Equação 6) (Ribeiro 2001 in Parreira 2003). Os métodos do escalamento pela variância e do auto-escalamento são utilizados quando se pretende dar o mesmo peso a todas as variáveis medidas, porque o *PCA* por ser um método dos quadrados mínimos, faz com que variáveis de alta variância possuam altos pesos (Wold 1987 in Parreira 2003).

$$X_{ij(as)} = \frac{\overline{X}j}{Sj} \qquad (6)$$

Onde: $X_{ij(as)}$ = valor auto-escalado da variável j para a amostra i;

$\overline{X}$j = média dos valores das amostras na coluna j.

Sj = desvio padrão dos valores da variável j.

Após a escolha e a aplicação do pré-processamento, o próximo passo é a análise exploratória.

VI.6.3. Exemplo gráfico do processamento por *PCA*

Para melhor entendimento, um exemplo com dados hipotéticos de como se processa o *PCA* é apresentado graficamente a seguir, baseado no texto de Palmer (http://ordination. okstate.edu/PCA.htm):

Quando se tem um conjunto de dados é relativamente fácil representá-los graficamente na forma bidimensional. Porém, para uma quantidade maior de dimensões a dificuldade aumenta bastante. O que o *PCA* faz é rotacionar a nuvem de pontos de dados, de tal forma que a máxima variabilidade seja visível. Neste exemplo hipotético, três diferentes espécies foram medidas, X1, X2 e X3:

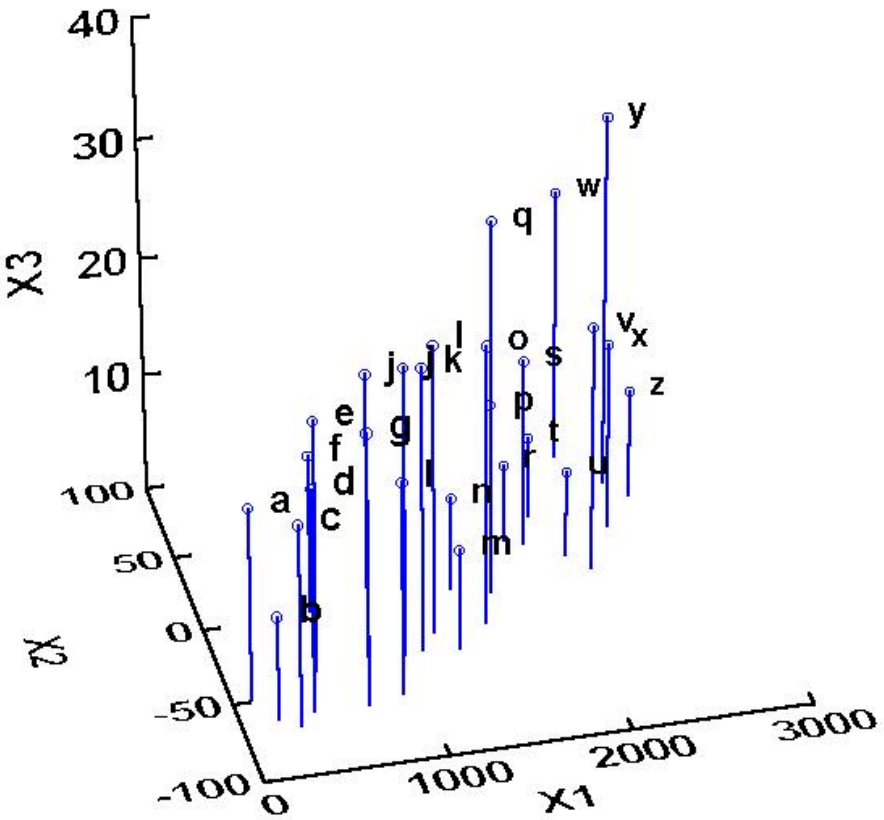


Figura 44: Distribuição das espécies num espaço tridimensional (Palmer, http://ordination. okstate.edu/PCA.htm).

No exemplo das Figuras 44 e 45 é possível dizer que X1 e X2 estão relacionados entre si e é menos claro se X3 está relacionado com X1 ou X2. A tarefa então é determinar se existe(em) fator(es) ou componente(s) ocultos onde as amostras variam em relação à composição das espécies.

Para rotacionar a nuvem de dados, o primeiro passo é através do pré-processamento pelo auto-escalamento e, nesse caso, o centróide de todos os dados é zero. Os eixos padrões são rotulados como S1, S2 e S3 (Figura 45). A posição relativa dos pontos permanece a mesma.

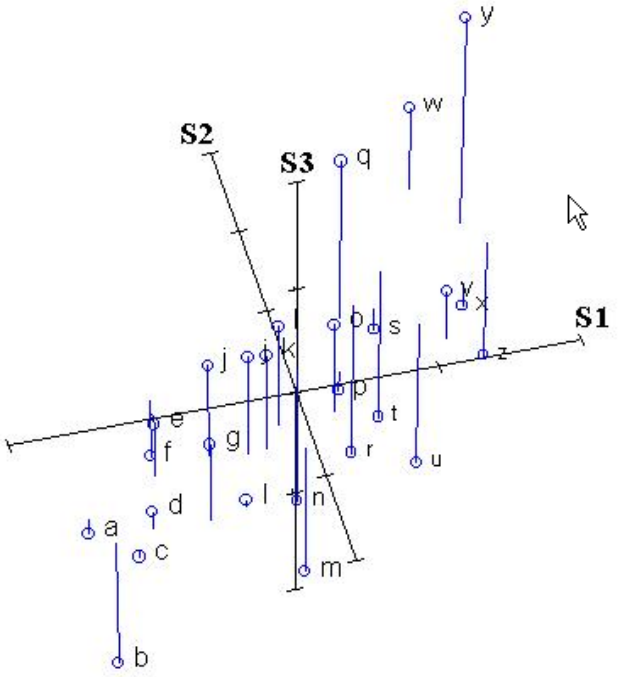


Figura 45: Variáveis após processamento pelo auto-escalamento, com centróide em zero (Palmer, http://ordination. okstate.edu/PCA.htm).

Observando as duas figuras, pode-se identificar um gradiente: da porção inferior esquerda para a posição superior direita. Em outras palavras, parece existir um gradiente onde ambas as espécies 1 e 2 crescem e também contêm algumas informações redundantes.

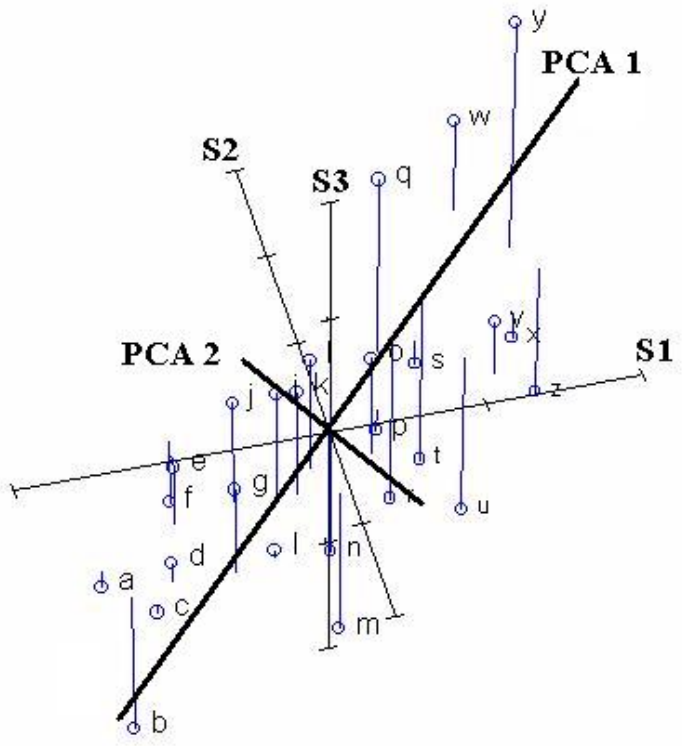


Figura 46: Variáveis após a rotação da nuvem de pontos e aplicação do *PCA* (Palmer, http://ordination. okstate.edu/PCA.htm).

A análise de componentes principais escolhe o eixo do primeiro *PCA* (*PC 1*) como aquela linha que passa pelo centróide, mas também minimiza o quadrado da distância de cada ponto àquela linha (Figura 46). A linha está o mais próximo possível de todos os dados. De forma equivalente, a linha passa pela máxima variação dos dados.

O eixo do segundo *PCA* (PC 2) deve passar através do centróide e também pela máxima variação dos dados, mas com uma restrição: o eixo deve ser completamente não correlacionável (ortogonal) ao eixo do *PC 1*.

A rotação do eixo de coordenada *PC 1* para o eixo X e o eixo *PC 2* para o eixo Y confere o diagrama da Figura 47:

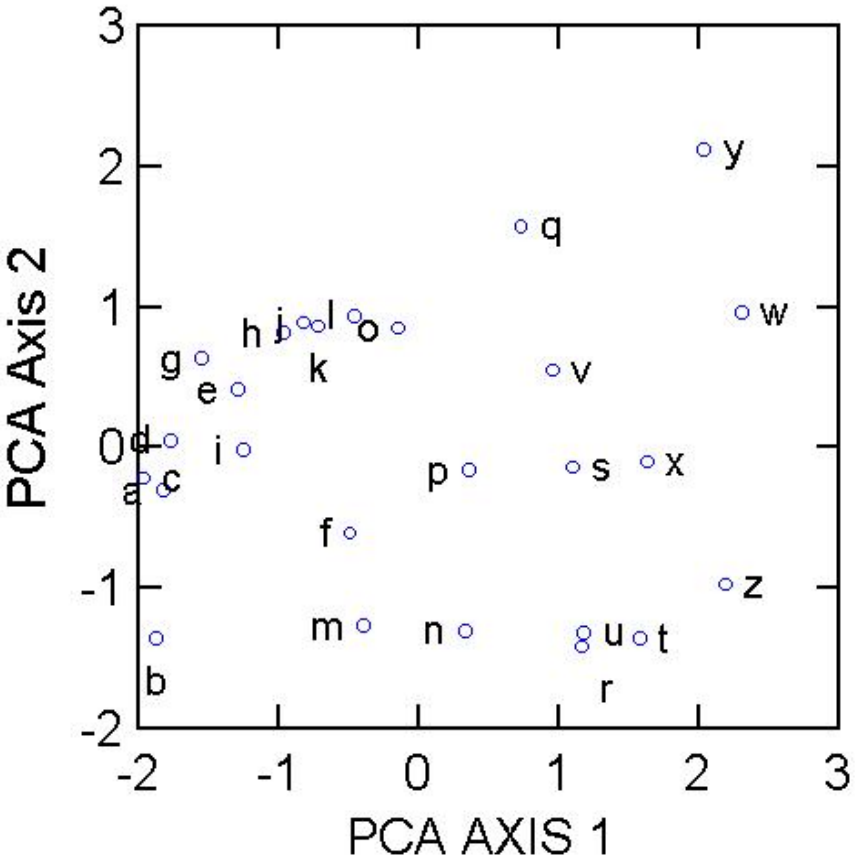


Figura 47: Rotação dos eixos de coordenada PC1 para o eixo X e o PC2 para o eixo Y (Palmer, http://ordination. okstate.edu/PCA.htm).

Pode-se observar que as amostras a, b, c e d estão em uma extremidade da composição das espécies e as amostras t, w, x, y e z estão em outra extremidade. Existe também um gradiente secundário das amostras b, m, n, u, r e t e, acima, as amostras l, q, w e y. Surge então a seguinte pergunta: o que existe de especial nas amostras da direita que fazem com que sejam completamente diferentes daquelas amostras da esquerda? O que faz as espécies 1 ocorrerem no mesmo local como espécie 2?

Na Figura 47 acima estão presentes dois eixos. Entretanto existem 3 eixos no banco de dados (porque existem três espécies). A razão para não mostrar o terceiro eixo é que, além do gráfico tridimensional ser complicado, o terceiro eixo é muito menos importante que os dois primeiros.

Como se determina quantos eixos são merecedores de interpretação? Este valor pode ser encontrado nos *eigenvalues*. Todos os eixos têm um *eigenvalue* (também chamado raiz latente) associado com ele. Os mesmos são ordenados do mais alto para o mais baixo. O primeiro dos três *eigenvalues* para os três primeiros eixos, no exemplo acima, são 1,8907, 0,9951 e 0,1142, respectivamente. Estes estão relacionados com a quantidade de variação

explicada pelos eixos. Note que a soma dos *eigenvalues* é 3, que também é a quantidade de variáveis. É comum expressar os *eigenvalues* como uma porcentagem do total: Eixo *PC 1*: 63%, Eixo *PC 2*: 33% e Eixo PC3: 4%. Em outras palavras, o primeiro eixo explicou ou "extraiu" quase 2/3 da variação de todos os dados e o segundo eixo extraiu quase toda a variação restante. O eixo 3 extraiu uma quantidade insignificante e pode não ser merecedor de interpretação.

Como conhecer que espécie contribui com qual eixo? Deve se olhar para o *component loadings* (ou *fator loading*). *Loadings* são os valores das correlações das variáveis com os respectivos fatores. Isto significa que o valor da amostra, ao longo do primeiro eixo de *PC*, é 0,9688 vezes a abundância das espécies padronizadas 1, mais 0,9701 vezes a abundância das espécies padronizadas 2, mais -0,1045 vezes a abundância da espécie padronizada 3.

Espécies	**Eixo PC 1**	**Eixo PC 2**	**Eixo PC 3**
S1	0,9688	0,0664	-0,2387
S2	0,9701	0,0408	0,2391
S3	-0,1045	0,9945	0,0061

Interpreta-se o eixo 1 como altamente positivo em relação à abundância das espécies 1 e 2 e fracamente negativo em relação à abundância da espécie 3. Por outro lado, o eixo 2 é positivo em relação à abundância de todas as espécies, principalmente com a espécie 3. Assim, o "gradiente" refletido pelo eixo 2 beneficia a espécie 3.

VI.7 Aplicação da técnica de análise de componentes principais nas malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira

As técnicas mais comuns para o estudo de geoquímica regional são: Análise de Componentes Principais (PCA), Análise de Fatores (*Fator Analysis - FA*) e Análise de Agrupamento (C*luster Analysis*) (Grünfeld 2005).

A análise de fatores tem o objetivo de reduzir a quantidade de variáveis e detectar a estrutura da relação entre as variáveis. O termo análise de fatores foi introduzido em 1931 por Thurstone (Thurstone 1931 in StatSoft 2001). A análise de componentes principais tem o objetivo de combinar múltiplas variáveis em poucos fatores.

O conjunto de amostras da malha Silvestre-Vila do Meio-Bananeira foi submetido ao tratamento de *PCA* pelo programa Geosoft™. Inicialmente, o programa pré-processa os dados para torná-los adequados à análise. O primeiro passo é a padronização dos dados, através da

transformação dos vetores (elementos químicos) em distribuição logarítmica e a normalização dos dados através do auto-escalamento das variáveis (descrito no item seguinte). Este procedimento gera novas variáveis centradas em zero e a variância igual a 1. Neste caso, a correlação positiva máxima é 1 e a correlação negativa máxima é -1 (Mingoti 2005).

A extração dos componentes principais ocorre através da rotação da nuvem de pontos (amostras), localizadas no espaço original, para que a máxima variabilidade seja visível no novo ambiente espacial. Em outras palavras, ele identifica seu gradiente mais importante (Palmer, http://ordination. okstate.edu/PCA.htm).

O programa Geosoft™ processa a rotação das amostras pelo método denominado *varimax (variance maximizing) rotation*, proposto por Kaiser (1958), que é a técnica de rotação ortogonal mais popular. O objetivo da rotação *varimax* é agrupar as variáveis em novos grupos, onde cada grupo é um novo fator. Este novo fator contém coeficientes de alto ou baixo valor numérico (NCSS 2000). Para a extração destes fatores utiliza-se a matriz de correlação.

Quando se extrai consecutivos fatores, a quantidade de variáveis diminui muito, contabilizando menos variáveis. A variância dos novos fatores, que foram sucessivamente extraídos, é denominada *eigenvalues* (StatSoft 2001).

A decisão de quando interromper a extração se dá quando existir somente pouca variabilidade aleatória a ser retirada. A natureza desta decisão é arbitrária, porém o critério de Kaiser (Kaiser 1958 in StatSoft 2001) é um dos mais utilizados e recomenda utilizar somente fatores com *eigenvalues* maior que 1.

O conjunto de amostras da malha de solo Silvestre-Vila do Meio e Bananeira compreendem 2241 amostras analisadas para 40 elementos químicos, após a exclusão dos 11 elementos comentados no item VI.5.3..

Para tratamento estatístico mais detalhado, tendo em vista que a mineralização aurífera do depósito do Amapari se distribui ao longo de duas direções preferenciais e com distintas rochas hospedeiras, a referida área está dividida em seis zonas de domínios litológicos: zona mineralizada N-S, com domínio de FFb + rocha carbonática (344 amostras), zona mineralizada NW, com domínio rocha carbonática e granitóides indiferenciados (443 amostras), zona de domínio do granito Amapari e sua faixa de influência (314 amostras), zona de domínio das rochas metassedimentares, paranfibolito + muscovita/biotita xisto (858 amostras), zona de domínio de ortoanfibolitos (138 amostras) e zona de domínio de granitóides indiferenciados (97 amostras).

Ao tratar este conjunto de amostras do domínio da zona mineralizada N-S, através do programa Geosoft™, aplicando a PCA, numa matriz de correlação 344 x 40, ele disponibiliza as seguintes informações:

1. O tipo de análise e o nome do arquivo analisado (Tabela 24)
2. Quantidade de colunas (40 elementos químicos - Tabela 24)
3. Quantidade de Componentes Principais: 10 (padrão do programa- Tabela 24)
4. Quantidade de linhas (344 amostras - Tabela 24)
5. Dados de transformação (distribuição logarítmica normal - Tabela 24)
6. Dados de correlação padronizados (mostra a correlação dos dados padronizados – Tabela 25). A tabela é parcial, porém a completa encontra-se no Anexo 19
7. *Eigenvalues* de matriz de correlação (valores de variância de novos fatores que foram sucessivamente extraídos – Tabela 26)
8. *Eigenvectors* de matriz de correlação (Tabela 27 - são os pesos relacionados às variáveis originais no fator). São diretamente equivalentes à componente principal e seus *eigenvalues.* Este coeficiente pode ser usado para determinar a importância relativa de cada variável na formação do fator
9. *Principal component loadings* (Tabela 28 - são os *eigenvectors* ordenados em termos dos tamanhos dos *eigenvalues* e são medidos pela raiz quadrada dos *eigenvalues)*
10. *Proportion of variables explained by factors* (Tabela 29 - indica o valor acumulado de cada elemento químico no fator)
11. *Varimax Principal component loading* (Tabela 30 – os componentes calculados devem ser aqueles cujos *eigenvalues* são maiores que 1 (Tabela 26), portanto somente os PC 1 a 7 são considerados.
12. *Proportion of variables explained by varimax factor* (Tabela 31 - informa os fatores acumulados, de cada componente, para cada elemento químico)

VI.7.1 Zona mineralizada N-S

Os dados obtidos nessa zona são apresentados nas tabelas a seguir:

Tabela 24: Malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira – informações da análise de componentes principais da zona mineralizada N-S.

Number of channels included: 40
Number of principal components displayed: 10
Number of rows of data: 344
Miner NS
Data Transformations

Ag_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Al_perc	Logarithmic Normal Distribution
As_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Au_ppb	Logarithmic Normal Distribution
Ba_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Be_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Bi_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Ce_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Co_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Cr_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Cs_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Cu_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Fe_perc	Logarithmic Normal Distribution
Ga_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Hf_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Hg_ppm	Logarithmic Normal Distribution
La_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Li_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Mn_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Mo_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Nb_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Ni_ppm	Logarithmic Normal Distribution
P_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Pb_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Rb_ppm	Logarithmic Normal Distribution
S_perc	Logarithmic Normal Distribution
Sb_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Sc_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Se_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Sn_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Sr_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Te_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Th_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Tl_ppm	Logarithmic Normal Distribution
U_ppm	Logarithmic Normal Distribution
V_ppm	Logarithmic Normal Distribution
W_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Y_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Zn_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Zr_ppm	Logarithmic Normal Distribution

Tabela 25: Malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira – correlação dos dados padronizados da zona mineralizada N-S.

	Ag_ppm	Al_perc	As_ppm	Au_ppb	Ba_ppm	Be_ppm	Bi_ppm	Ce_ppm	Co_ppm	Cr_ppm	Cs_ppm	Cu_ppm	Fe_perc	Ga_ppm	Hf_ppm	Hg_ppm
Ag_ppm	1.000	0.145	0.186	0.198	0.155	0.169	0.052	0.126	0.204	0.104	0.155	0.137	0.163	0.205	0.241	0.227
Al_perc	0.145	1.000	0.423	0.288	0.367	0.471	-0.017	0.173	0.407	0.376	-0.067	0.521	0.814	0.937	0.594	0.790
As_ppm	0.186	0.423	1.000	0.289	0.457	0.576	-0.034	0.214	0.584	0.585	0.151	0.708	0.595	0.523	0.335	0.419
Au_ppb	0.198	0.288	0.289	1.000	0.357	0.333	0.087	0.309	0.291	-0.024	0.229	0.215	0.313	0.256	0.124	0.328
Ba_ppm	0.155	0.367	0.457	0.357	1.000	0.634	-0.017	0.638	0.807	0.290	0.348	0.592	0.544	0.397	0.146	0.502
Be_ppm	0.169	0.471	0.576	0.333	0.634	1.000	-0.069	0.358	0.716	0.458	0.225	0.682	0.721	0.526	0.297	0.498
Bi_ppm	0.052	-0.017	-0.034	0.087	-0.017	-0.069	1.000	-0.160	-0.159	-0.277	0.092	-0.124	-0.130	0.066	-0.041	-0.013
Ce_ppm	0.126	0.173	0.214	0.309	0.638	0.358	-0.160	1.000	0.541	0.058	0.371	0.300	0.206	0.178	0.073	0.258
Co_ppm	0.204	0.407	0.584	0.291	0.807	0.716	-0.159	0.541	1.000	0.575	0.398	0.786	0.628	0.451	0.268	0.523
Cr_ppm	0.104	0.376	0.585	-0.024	0.290	0.458	-0.277	0.058	0.575	1.000	0.054	0.690	0.525	0.416	0.326	0.355
Cs_ppm	0.155	-0.067	0.151	0.229	0.348	0.225	0.092	0.371	0.398	0.054	1.000	0.143	-0.062	-0.067	-0.086	0.042
Cu_ppm	0.137	0.521	0.708	0.215	0.592	0.682	-0.124	0.300	0.786	0.690	0.143	1.000	0.712	0.606	0.347	0.548
Fe_perc	0.163	0.814	0.595	0.313	0.544	0.721	-0.130	0.206	0.628	0.525	-0.062	0.712	1.000	0.838	0.530	0.772
Ga_ppm	0.205	0.937	0.523	0.256	0.397	0.526	0.066	0.178	0.451	0.416	-0.067	0.606	0.838	1.000	0.637	0.816
Hf_ppm	0.241	0.594	0.335	0.124	0.146	0.297	-0.041	0.073	0.268	0.326	-0.086	0.347	0.530	0.637	1.000	0.558
Hg_ppm	0.227	0.790	0.419	0.328	0.502	0.498	-0.013	0.258	0.523	0.355	0.042	0.548	0.772	0.816	0.558	1.000
La_ppm	-0.027	0.155	-0.084	0.239	0.231	0.063	-0.224	0.667	0.086	-0.159	0.085	-0.039	0.052	0.071	-0.062	0.167
Li_ppm	0.105	0.123	0.133	0.213	0.450	0.371	0.053	0.487	0.449	0.030	0.567	0.169	0.074	0.105	-0.038	0.094
Mn_ppm	0.196	0.528	0.509	0.401	0.855	0.702	-0.024	0.481	0.856	0.355	0.352	0.657	0.729	0.544	0.287	0.655
Mo_ppm	0.133	0.282	0.199	0.148	0.038	0.053	0.381	0.128	-0.096	-0.079	-0.211	0.020	0.200	0.311	0.204	0.161
Nb_ppm	0.307	0.155	0.030	0.167	0.137	0.155	0.300	0.228	0.052	-0.275	0.252	-0.032	0.122	0.229	0.307	0.158
Ni_ppm	0.179	0.521	0.680	0.211	0.620	0.730	-0.215	0.335	0.859	0.757	0.207	0.893	0.716	0.591	0.377	0.558
P_ppm	0.177	0.543	0.429	0.203	0.493	0.643	-0.190	0.245	0.525	0.311	-0.013	0.531	0.793	0.586	0.325	0.610
Pb_ppm	0.151	0.394	0.419	0.415	0.783	0.574	0.218	0.601	0.603	0.172	0.307	0.423	0.479	0.415	0.100	0.441
Rb_ppm	0.034	-0.445	-0.220	0.052	-0.016	-0.146	0.212	0.250	-0.105	-0.356	0.691	-0.362	-0.505	-0.469	-0.409	-0.393
S_perc	0.198	0.780	0.404	0.288	0.429	0.533	-0.107	0.180	0.483	0.389	-0.103	0.579	0.798	0.784	0.494	0.790
Sb_ppm	0.202	0.684	0.436	0.238	0.416	0.517	-0.229	0.177	0.474	0.387	-0.115	0.467	0.819	0.659	0.426	0.659

* Tabela completa no anexo 19.

Tabela 26: Malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira – *Eigenvalues* de matriz de correlação da zona mineralizada N-S.

Eigenvalues of correlation matrix

Factor	Eigenvalue	cum. %
1	15.973	39.9
2	4.950	52.3
3	3.543	61.2
4	2.380	67.1
5	1.644	71.2
6	1.437	74.8
7	1.103	77.6
8	0.985	80.0
9	0.919	82.3
10	0.722	84.1
11	0.659	85.8
12	0.613	87.3
13	0.585	88.8
14	0.461	89.9
15	0.426	91.0
16	0.353	91.9
17	0.337	92.7
18	0.319	93.5
19	0.290	94.2
20	0.268	94.9
21	0.224	95.5
22	0.195	96.0
23	0.191	96.4
24	0.164	96.8
25	0.149	97.2
26	0.143	97.6
27	0.120	97.9
28	0.120	98.2
29	0.103	98.4
30	0.098	98.7
31	0.091	98.9
32	0.077	99.1
33	0.068	99.3
34	0.065	99.4
35	0.060	99.6
36	0.051	99.7
37	0.039	99.8
38	0.033	99.9
39	0.028	100.0
40	0.017	100.0

Tabela 27: Malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira – *Eigenvectors* de matriz de correlação da zona mineralizada N-S.

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9	PC10
Ag_ppm	0.067	-0.056	0.073	0.054	0.143	-0.322	0.338	0.619	-0.234	-0.329
Al_perc	0.195	0.140	0.170	-0.051	-0.044	-0.104	-0.173	-0.070	0.146	-0.031
As_ppm	0.173	0.035	-0.112	0.134	0.214	0.172	0.019	0.209	0.074	0.298
Au_ppb	0.100	-0.145	0.095	-0.004	-0.134	0.067	-0.010	0.440	0.525	0.006
Ba_ppm	0.185	-0.189	-0.102	-0.052	-0.131	0.081	-0.133	0.044	-0.181	-0.071
Be_ppm	0.201	-0.076	-0.091	0.085	0.010	0.106	0.209	-0.181	0.132	-0.14
Bi_ppm	-0.014	-0.118	0.239	0.380	0.114	0.148	-0.363	0.046	-0.187	-0.146
Ce_ppm	0.113	-0.252	-0.005	-0.365	0.112	0.062	-0.025	0.022	-0.071	0.078
Co_ppm	0.203	-0.102	-0.228	-0.026	-0.009	-0.064	-0.064	0.008	-0.121	-0.037
Cr_ppm	0.139	0.159	-0.270	0.026	0.236	0.004	-0.003	-0.001	0.024	-0.104
Cs_ppm	0.045	-0.308	-0.133	0.071	0.121	-0.322	-0.168	0.009	0.106	0.262
Cu_ppm	0.205	0.060	-0.196	0.040	0.120	0.079	-0.048	0.027	-0.064	0.102
Fe_perc	0.228	0.115	0.036	0.020	-0.111	0.054	0.109	-0.068	0.046	0.002
Ga_ppm	0.208	0.140	0.168	0.016	0.035	-0.083	-0.133	-0.055	0.074	0.001
Hf_ppm	0.132	0.172	0.166	0.005	0.198	-0.321	0.011	-0.010	0.046	0.048
Hg_ppm	0.200	0.080	0.120	-0.034	-0.169	-0.139	-0.147	0.068	0.037	0.01
La_ppm	0.036	-0.140	0.117	-0.521	-0.006	0.161	-0.064	0.024	0.124	0.005
Li_ppm	0.077	-0.296	-0.038	-0.048	0.114	-0.196	-0.106	-0.290	0.123	-0.104
Mn_ppm	0.212	-0.122	-0.072	0.031	-0.218	-0.045	-0.098	0.023	-0.119	-0.018
Mo_ppm	0.051	-0.007	0.350	-0.007	0.238	0.345	0.001	0.107	-0.163	-0.011
Nb_ppm	0.053	-0.171	0.285	0.140	0.107	-0.284	0.302	-0.130	-0.133	0.3
Ni_ppm	0.208	0.040	-0.230	0.010	0.099	-0.030	0.005	-0.018	0.021	-0.012
P_ppm	0.183	0.031	0.035	0.004	-0.247	0.040	0.380	-0.165	-0.126	0.117
Pb_ppm	0.164	-0.220	0.033	-0.001	-0.058	0.207	-0.187	0.061	-0.04	-0.224
Rb_ppm	-0.081	-0.362	-0.011	0.019	0.139	-0.151	-0.005	-0.065	0.058	0.176
S_perc	0.194	0.133	0.086	-0.054	-0.170	-0.034	-0.020	0.044	0.112	-0.116
Sb_ppm	0.183	0.106	0.073	-0.069	-0.224	0.005	0.231	0.001	-0.081	0.02
Sc_ppm	0.216	0.115	-0.118	0.030	0.140	-0.034	-0.029	-0.036	0.035	0.009
Se_ppm	0.051	-0.149	-0.078	0.318	0.080	0.233	0.199	0.152	0.388	0.155
Sn_ppm	0.141	-0.015	0.336	0.146	0.033	-0.061	-0.098	-0.172	0.138	-0.106
Sr_ppm	0.159	-0.077	0.066	-0.116	-0.275	-0.066	-0.074	0.170	-0.224	0.343
Te_ppm	0.160	0.065	-0.041	0.153	0.058	0.197	-0.167	0.064	-0.33	0.324
Th_ppm	0.074	0.034	0.263	-0.331	0.351	0.094	0.004	0.080	-0.015	0.145
Tl_ppm	0.168	-0.234	-0.034	0.103	-0.080	-0.169	-0.118	0.067	-0.113	-0.237
U_ppm	0.126	-0.155	0.075	0.046	0.263	0.167	0.253	-0.227	-0.12	-0.282
V_ppm	0.205	0.179	-0.135	0.025	0.137	-0.001	-0.014	-0.021	0.011	0.08
W_ppm	0.079	-0.194	0.241	0.236	-0.238	0.140	0.109	-0.109	0.057	0.12
Y_ppm	0.171	-0.198	-0.070	-0.193	0.077	0.060	0.200	-0.070	0.019	-0.042
Zn_ppm	0.230	-0.003	-0.059	0.020	-0.027	0.081	0.021	-0.056	0.079	-0.092
Zr_ppm	0.185	0.189	0.156	-0.008	0.128	-0.169	-0.114	-0.054	0.121	-0.008

Tabela 28: Malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira – *Principal component Loadings* da zona mineralizada N-S.

Principal	component	loadings								
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9	PC10
Ag_ppm	0.266	-0.124	0.138	0.084	0.183	-0.386	0.355	0.615	-0.225	-0.280
Al_perc	0.778	0.311	0.321	-0.079	-0.057	-0.124	-0.182	-0.070	0.140	-0.026
As_ppm	0.692	0.077	-0.210	0.206	0.275	0.207	0.020	0.208	0.071	0.253
Au_ppb	0.400	-0.324	0.178	-0.007	-0.172	0.080	-0.010	0.437	0.503	0.005
Ba_ppm	0.739	-0.420	-0.192	-0.081	-0.168	0.097	-0.139	0.044	-0.173	-0.060
Be_ppm	0.804	-0.168	-0.171	0.132	0.013	0.127	0.219	-0.179	0.127	-0.119
Bi_ppm	-0.056	-0.263	0.450	0.587	0.146	0.178	-0.381	0.046	-0.179	-0.124
Ce_ppm	0.451	-0.560	-0.010	-0.564	0.143	0.074	-0.026	0.022	-0.068	0.067
Co_ppm	0.811	-0.226	-0.428	-0.039	-0.011	-0.077	-0.068	0.008	-0.116	-0.031
Cr_ppm	0.555	0.353	-0.509	0.041	0.303	0.004	-0.003	-0.001	0.023	-0.088
Cs_ppm	0.180	-0.686	-0.251	0.109	0.156	-0.386	-0.177	0.009	0.101	0.223
Cu_ppm	0.819	0.133	-0.368	0.062	0.153	0.095	-0.050	0.027	-0.061	0.087
Fe_perc	0.911	0.256	0.067	0.031	-0.143	0.064	0.114	-0.068	0.045	0.002
Ga_ppm	0.830	0.312	0.316	0.025	0.045	-0.100	-0.140	-0.055	0.071	0.001
Hf_ppm	0.529	0.382	0.313	0.008	0.254	-0.385	0.011	-0.010	0.044	0.041
Hg_ppm	0.799	0.178	0.225	-0.052	-0.216	-0.167	-0.155	0.067	0.035	0.008
La_ppm	0.144	-0.312	0.220	-0.803	-0.008	0.193	-0.067	0.024	0.119	0.004
Li_ppm	0.307	-0.659	-0.072	-0.074	0.146	-0.235	-0.111	-0.288	0.118	-0.088
Mn_ppm	0.846	-0.271	-0.135	0.047	-0.280	-0.053	-0.103	0.023	-0.114	-0.015
Mo_ppm	0.204	-0.016	0.659	-0.011	0.305	0.414	0.001	0.106	-0.156	-0.009
Nb_ppm	0.213	-0.381	0.536	0.216	0.137	-0.341	0.317	-0.129	-0.128	0.254
Ni_ppm	0.829	0.089	-0.434	0.016	0.127	-0.036	0.005	-0.018	0.020	-0.010
P_ppm	0.731	0.068	0.066	0.007	-0.317	0.048	0.399	-0.164	-0.121	0.100
Pb_ppm	0.654	-0.488	0.061	-0.002	-0.074	0.248	-0.196	0.061	-0.038	-0.190
Rb_ppm	-0.323	-0.806	-0.021	0.030	0.179	-0.181	-0.005	-0.064	0.056	0.149
S_perc	0.774	0.296	0.163	-0.083	-0.218	-0.040	-0.021	0.044	0.108	-0.098
Sb_ppm	0.730	0.236	0.137	-0.107	-0.287	0.005	0.242	0.000	-0.077	0.017
Sc_ppm	0.865	0.257	-0.223	0.046	0.179	-0.040	-0.030	-0.035	0.034	0.008
Se_ppm	0.203	-0.332	-0.147	0.491	0.103	0.280	0.209	0.151	0.372	0.132
Sn_ppm	0.564	-0.034	0.633	0.225	0.042	-0.073	-0.103	-0.171	0.132	-0.090
Sr_ppm	0.637	-0.171	0.124	-0.180	-0.352	-0.079	-0.077	0.169	-0.215	0.292
Te_ppm	0.638	0.144	-0.078	0.236	0.075	0.236	-0.176	0.063	-0.316	0.275
Th_ppm	0.295	0.076	0.494	-0.511	0.451	0.113	0.004	0.079	-0.015	0.124
Tl_ppm	0.673	-0.521	-0.063	0.159	-0.102	-0.202	-0.124	0.067	-0.108	-0.201
U_ppm	0.505	-0.345	0.141	0.070	0.337	0.200	0.265	-0.225	-0.115	-0.240
V_ppm	0.820	0.398	-0.254	0.038	0.176	-0.002	-0.015	-0.021	0.010	0.068
W_ppm	0.317	-0.432	0.453	0.363	-0.305	0.168	0.114	-0.108	0.054	0.102
Y_ppm	0.684	-0.440	-0.132	-0.298	0.099	0.072	0.210	-0.069	0.018	-0.036
Zn_ppm	0.919	-0.006	-0.111	0.031	-0.035	0.097	0.022	-0.056	0.076	-0.078
Zr_ppm	0.741	0.421	0.294	-0.012	0.164	-0.203	-0.119	-0.054	0.116	-0.007

Tabela 29: Malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira – *Proportion of variables explained by factors* da zona mineralizada N-S.

Proportion of variables explained by factors

Variable	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ag_ppm	0.071	0.086	0.105	0.112	0.146	0.295	0.421	0.799	0.849	0.928
Al_perc	0.605	0.702	0.805	0.811	0.815	0.830	0.863	0.868	0.888	0.888
As_ppm	0.479	0.485	0.529	0.571	0.647	0.690	0.690	0.733	0.738	0.803
Au_ppb	0.160	0.265	0.297	0.297	0.326	0.333	0.333	0.524	0.777	0.777
Ba_ppm	0.546	0.722	0.759	0.766	0.794	0.803	0.823	0.825	0.855	0.859
Be_ppm	0.646	0.674	0.703	0.721	0.721	0.737	0.785	0.817	0.833	0.847
Bi_ppm	0.003	0.072	0.275	0.619	0.641	0.672	0.818	0.820	0.852	0.867
Ce_ppm	0.204	0.517	0.517	0.835	0.856	0.861	0.862	0.862	0.867	0.871
Co_ppm	0.657	0.708	0.892	0.893	0.893	0.899	0.904	0.904	0.918	0.919
Cr_ppm	0.308	0.433	0.692	0.694	0.785	0.785	0.785	0.785	0.786	0.794
Cs_ppm	0.032	0.503	0.566	0.578	0.602	0.751	0.782	0.782	0.792	0.842
Cu_ppm	0.671	0.689	0.824	0.828	0.852	0.861	0.863	0.864	0.868	0.875
Fe_perc	0.830	0.896	0.900	0.901	0.922	0.926	0.939	0.943	0.945	0.945
Ga_ppm	0.689	0.787	0.887	0.887	0.889	0.899	0.919	0.922	0.927	0.927
Hf_ppm	0.280	0.426	0.524	0.524	0.589	0.737	0.737	0.737	0.739	0.740
Hg_ppm	0.639	0.670	0.721	0.724	0.770	0.798	0.822	0.827	0.828	0.828
La_ppm	0.021	0.118	0.167	0.812	0.812	0.849	0.853	0.854	0.868	0.868
Li_ppm	0.094	0.528	0.533	0.539	0.560	0.615	0.628	0.710	0.724	0.732
Mn_ppm	0.716	0.790	0.808	0.810	0.889	0.892	0.902	0.903	0.916	0.916
Mo_ppm	0.042	0.042	0.476	0.476	0.569	0.741	0.741	0.752	0.776	0.776
Nb_ppm	0.045	0.191	0.478	0.524	0.543	0.659	0.760	0.776	0.792	0.857
Ni_ppm	0.688	0.696	0.884	0.884	0.900	0.902	0.902	0.902	0.902	0.902
P_ppm	0.535	0.540	0.544	0.544	0.645	0.647	0.806	0.833	0.847	0.857
Pb_ppm	0.427	0.666	0.670	0.670	0.675	0.737	0.775	0.779	0.780	0.816
Rb_ppm	0.104	0.754	0.754	0.755	0.787	0.820	0.820	0.824	0.827	0.849
S_perc	0.598	0.686	0.712	0.719	0.767	0.769	0.769	0.771	0.783	0.792
Sb_ppm	0.532	0.588	0.607	0.618	0.700	0.700	0.759	0.759	0.765	0.765
Sc_ppm	0.749	0.814	0.864	0.866	0.898	0.900	0.901	0.902	0.903	0.903
Se_ppm	0.041	0.151	0.173	0.414	0.425	0.503	0.547	0.569	0.708	0.725
Sn_ppm	0.318	0.319	0.719	0.770	0.771	0.777	0.787	0.816	0.834	0.842
Sr_ppm	0.406	0.435	0.450	0.482	0.606	0.613	0.619	0.647	0.693	0.778
Te_ppm	0.407	0.428	0.434	0.490	0.495	0.551	0.582	0.586	0.686	0.762
Th_ppm	0.087	0.093	0.337	0.598	0.801	0.814	0.814	0.820	0.820	0.835
Tl_ppm	0.453	0.725	0.729	0.755	0.765	0.806	0.821	0.826	0.837	0.878
U_ppm	0.255	0.374	0.394	0.399	0.512	0.552	0.623	0.673	0.686	0.744
V_ppm	0.673	0.832	0.896	0.897	0.928	0.928	0.929	0.929	0.929	0.934
W_ppm	0.100	0.287	0.492	0.624	0.717	0.746	0.759	0.770	0.773	0.784
Y_ppm	0.467	0.661	0.678	0.767	0.777	0.782	0.826	0.831	0.831	0.833
Zn_ppm	0.845	0.845	0.857	0.858	0.859	0.869	0.869	0.872	0.878	0.884
Zr_ppm	0.549	0.726	0.813	0.813	0.839	0.881	0.895	0.898	0.911	0.911

Tabela 30: Malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira – *Varimax Principal component loading* da zona mineralizada N-S.

Varimax Principal component loadings

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7
Ag_ppm	0.103	-0.163	-0.057	-0.004	-0.088	-0.608	0.053
Al_perc	0.519	0.038	0.235	-0.196	-0.599	-0.180	-0.329
As_ppm	0.762	-0.109	0.137	-0.061	-0.117	-0.047	0.244
Au_ppb	0.039	-0.303	0.162	-0.146	-0.407	-0.026	0.163
Ba_ppm	0.403	-0.602	0.008	-0.130	-0.475	0.152	0.178
Be_ppm	0.601	-0.294	-0.011	-0.060	-0.406	-0.144	0.386
Bi_ppm	-0.136	-0.115	0.866	0.123	0.093	0.001	0.112
Ce_ppm	0.111	-0.614	-0.158	-0.637	-0.189	0.022	0.077
Co_ppm	0.665	-0.559	-0.167	0.001	-0.335	0.029	0.094
Cr_ppm	0.859	0.003	-0.203	0.056	0.056	0.006	-0.019
Cs_ppm	0.033	-0.848	0.023	0.138	0.133	-0.155	0.008
Cu_ppm	0.869	-0.193	-0.047	-0.029	-0.240	0.033	0.095
Fe_perc	0.669	0.042	0.046	-0.097	-0.672	-0.148	0.063
Ga_ppm	0.609	0.044	0.300	-0.178	-0.548	-0.248	-0.251
Hf_ppm	0.457	0.127	0.158	-0.115	-0.235	-0.522	-0.381
Hg_ppm	0.460	-0.098	0.153	-0.085	-0.694	-0.140	-0.262
La_ppm	-0.187	-0.249	-0.189	-0.794	-0.219	0.178	-0.102
Li_ppm	0.042	-0.761	0.041	-0.134	-0.028	-0.155	0.046
Mn_ppm	0.469	-0.517	0.032	0.038	-0.634	0.022	0.096
Mo_ppm	0.026	0.208	0.565	-0.565	-0.104	-0.141	0.167
Nb_ppm	-0.184	-0.248	0.294	-0.083	-0.194	-0.716	0.142
Ni_ppm	0.854	-0.275	-0.168	0.010	-0.253	-0.038	0.060
P_ppm	0.374	0.017	-0.139	-0.048	-0.717	-0.230	0.278
Pb_ppm	0.278	-0.542	0.283	-0.253	-0.422	0.144	0.246
Rb_ppm	-0.466	-0.649	0.053	-0.028	0.352	-0.132	0.190
S_perc	0.505	0.065	0.049	-0.114	-0.678	-0.103	-0.155
Sb_ppm	0.413	0.109	-0.106	-0.124	-0.718	-0.181	0.046
Sc_ppm	0.882	-0.104	-0.013	-0.050	-0.302	-0.126	-0.045
Se_ppm	0.194	-0.201	0.221	0.182	0.043	-0.054	0.618
Sn_ppm	0.185	-0.061	0.598	-0.166	-0.470	-0.372	-0.072
Sr_ppm	0.188	-0.322	0.000	-0.139	-0.675	-0.006	-0.068
Te_ppm	0.642	-0.040	0.281	0.005	-0.257	0.105	0.109
Th_ppm	0.153	0.091	0.149	-0.816	-0.049	-0.237	-0.189
Tl_ppm	0.294	-0.712	0.157	0.073	-0.408	-0.142	0.107
U_ppm	0.310	-0.265	0.192	-0.352	-0.098	-0.302	0.441
V_ppm	0.915	0.033	-0.053	-0.030	-0.274	-0.086	-0.068
W_ppm	-0.178	-0.211	0.467	0.032	-0.517	-0.155	0.415
Y_ppm	0.369	-0.525	-0.199	-0.415	-0.317	-0.129	0.292
Zn_ppm	0.703	-0.243	0.041	-0.115	-0.524	-0.054	0.152
Zr_ppm	0.623	0.120	0.237	-0.177	-0.410	-0.331	-0.357

Tabela 31: Malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira – *Proportion of variables explained by varimax Factor* da zona mineralizada N-S.

Proportion of variables explained by varimax factors

Variable	1	2	3	4	5	6	7
Ag_ppm	0.011	0.037	0.04	0.04	0.048	0.418	0.421
Al_perc	0.269	0.27	0.325	0.364	0.723	0.755	0.863
As_ppm	0.58	0.592	0.611	0.615	0.629	0.631	0.69
Au_ppb	0.002	0.093	0.119	0.14	0.306	0.306	0.333
Ba_ppm	0.162	0.525	0.525	0.542	0.768	0.791	0.823
Be_ppm	0.361	0.447	0.447	0.451	0.615	0.636	0.785
Bi_ppm	0.018	0.032	0.781	0.796	0.805	0.805	0.818
Ce_ppm	0.012	0.389	0.414	0.82	0.855	0.856	0.862
Co_ppm	0.442	0.754	0.782	0.782	0.894	0.895	0.904
Cr_ppm	0.737	0.737	0.779	0.782	0.785	0.785	0.785
Cs_ppm	0.001	0.721	0.721	0.74	0.758	0.782	0.782
Cu_ppm	0.756	0.793	0.795	0.796	0.853	0.854	0.863
Fe_perc	0.448	0.45	0.452	0.461	0.913	0.935	0.939
Ga_ppm	0.371	0.373	0.463	0.495	0.795	0.856	0.919
Hf_ppm	0.209	0.225	0.25	0.263	0.318	0.591	0.737
Hg_ppm	0.211	0.221	0.244	0.252	0.734	0.753	0.822
La_ppm	0.035	0.097	0.133	0.763	0.811	0.843	0.853
Li_ppm	0.002	0.581	0.583	0.601	0.601	0.625	0.628
Mn_ppm	0.22	0.487	0.488	0.49	0.892	0.893	0.902
Mo_ppm	0.001	0.044	0.363	0.682	0.693	0.712	0.741
Nb_ppm	0.034	0.095	0.182	0.189	0.226	0.74	0.76
Ni_ppm	0.729	0.804	0.833	0.833	0.897	0.898	0.902
P_ppm	0.14	0.14	0.159	0.162	0.676	0.729	0.806
Pb_ppm	0.077	0.372	0.451	0.515	0.694	0.715	0.775
Rb_ppm	0.217	0.639	0.641	0.642	0.766	0.783	0.82
S_perc	0.255	0.259	0.262	0.275	0.734	0.745	0.769
Sb_ppm	0.17	0.182	0.193	0.209	0.724	0.757	0.759
Sc_ppm	0.779	0.789	0.79	0.792	0.883	0.899	0.901
Se_ppm	0.038	0.078	0.126	0.16	0.161	0.164	0.547
Sn_ppm	0.034	0.038	0.395	0.423	0.644	0.782	0.787
Sr_ppm	0.035	0.139	0.139	0.158	0.614	0.614	0.619
Te_ppm	0.413	0.414	0.493	0.493	0.559	0.57	0.582
Th_ppm	0.023	0.032	0.054	0.719	0.722	0.778	0.814
Tl_ppm	0.086	0.594	0.618	0.624	0.79	0.81	0.821
U_ppm	0.096	0.167	0.203	0.327	0.337	0.428	0.623
V_ppm	0.837	0.838	0.841	0.842	0.917	0.924	0.929
W_ppm	0.032	0.076	0.294	0.295	0.563	0.587	0.759
Y_ppm	0.136	0.412	0.452	0.624	0.724	0.741	0.826
Zn_ppm	0.494	0.554	0.555	0.568	0.843	0.846	0.869
Zr_ppm	0.388	0.402	0.458	0.49	0.658	0.767	0.895

Os resultados das tabelas da zona mineralizada N-S mostram que os eigenvalues (Tabela 26) revelam 7 fatores maiores que 1 (1,10), portanto pelo critério de Kaiser (in StatSoft, 2001), somente 7 fatores (PC) devem ser considerados na aplicação do PCA do *Varimax*

Principal Component Loading (*VPC*). O primeiro fator extraiu 39,9 %, do total das amostras, e os demais fatores os 60,1 % restante.

A maioria dos valores do *VPC* (Tabela 30) do PC 4 é negativa e por isso, optou-se por considerar somente os três primeiros PC e para efeito de padronização serão apresentados somente os três primeiros PC de todas as zonas do presente estudo. No PC 1 estão selecionados os valores iguais ou acima de 0,70 (Anexos 20 a 22 e Figuras 48 a, b e c), no PC 2 os valores iguais ou acima de 0,06, enquanto no PC 3 são valores iguais ou acima de 0,29, resultando na seguinte associação de elementos químicos:

PC 1 - V, Sc, Cu, Cr, Ni, As, Zn e Fe

Correlação negativa: Rb, La, W e Bi

PC 2 – Mo, Hf, Zr, Sb, Th, S

Correlação negativa: Cs, Li, Tl, Rb e Ce

PC 3 - Bi, Sn, Mo, W, Ga, Nb

Correlação negativa: Cr, Y, La, Ni, P e Pb

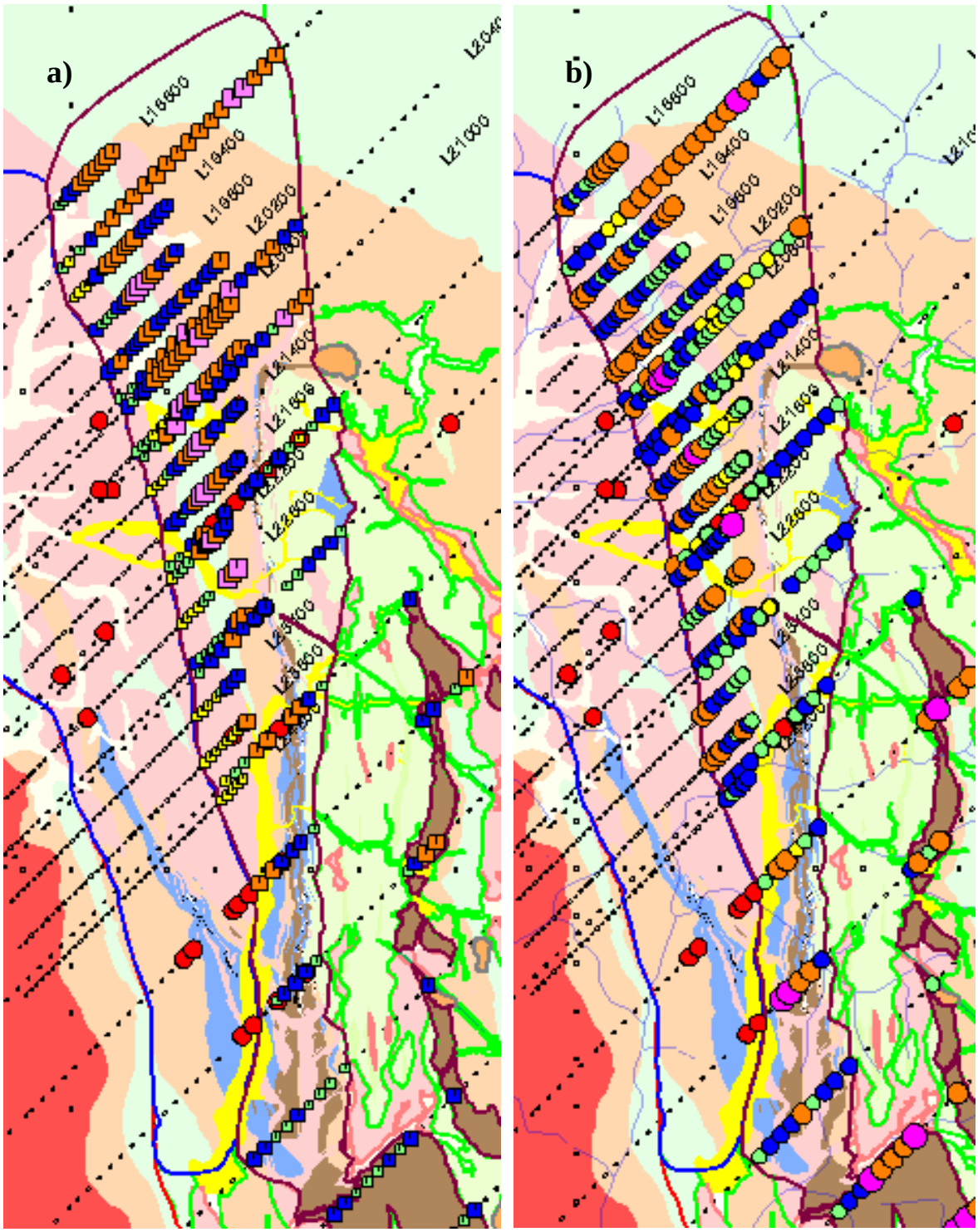
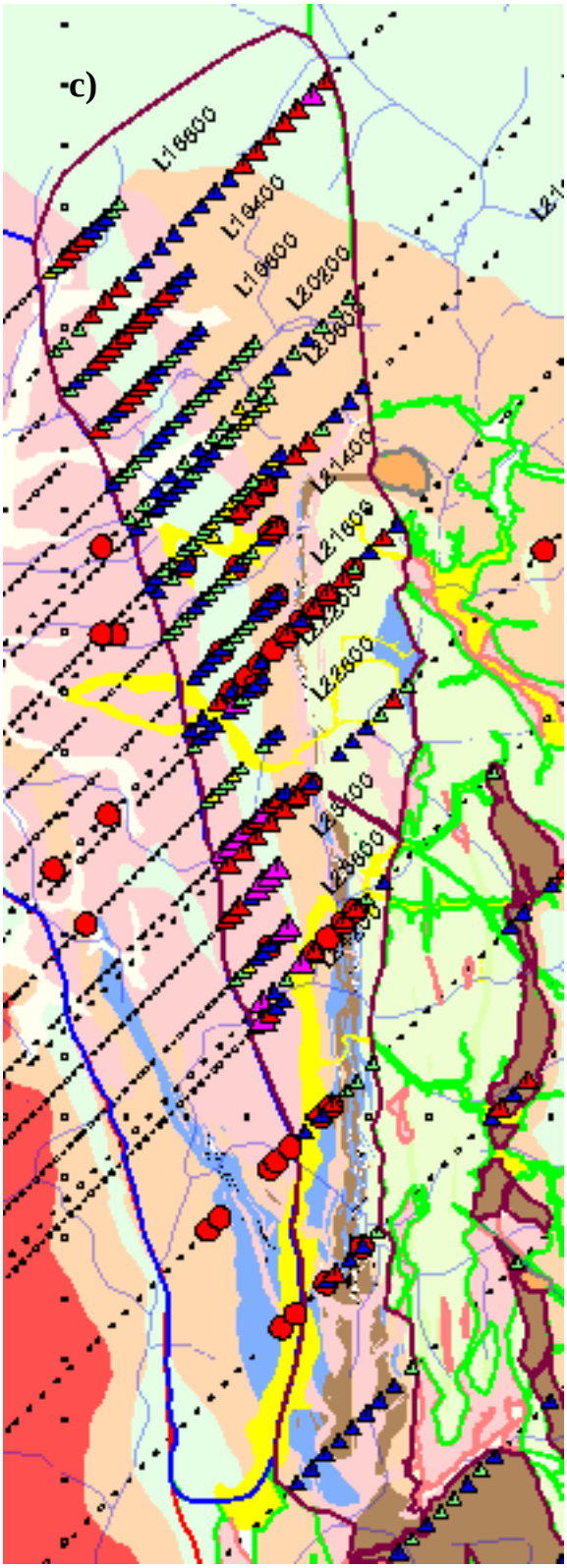


Figura 48: Amapari - Zona mineralizada N-S, a) PC 1 - maiores valores de PC1 em domínio de paranfibolitos e biotita xistos. b) PC 2 – maiores valores em domínio de biotita xistos. c) PC3 - maiores valores associados a granitóides indiferenciados + paranfibolitos + rochas carbonáticas e FFb. Observar legenda nos anexos 20 a 22.


-c)
L19600
L19400
L19800
L20200
L21400
L21600
L22800
L23600

VI.7.2 Zona mineralizada NW

Os dados obtidos nessa zona são apresentados nas tabelas a seguir:

Tabela 32: Informações da análise de Componentes Principais da zona mineralizada NW.

Number of channels included: 40
Number of principal components displayed: 10
Number of rows of data: 443
Miner NW
Data Transformations

Ag_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Al_perc	Logarithmic Normal Distribution
As_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Au_ppb	Logarithmic Normal Distribution
Ba_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Be_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Bi_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Ce_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Co_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Cr_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Cs_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Cu_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Fe_perc	Logarithmic Normal Distribution
Ga_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Hf_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Hg_ppm	Logarithmic Normal Distribution
La_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Li_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Mn_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Mo_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Nb_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Ni_ppm	Logarithmic Normal Distribution
P_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Pb_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Rb_ppm	Logarithmic Normal Distribution
S_perc	Logarithmic Normal Distribution
Sb_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Sc_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Se_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Sn_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Sr_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Te_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Th_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Tl_ppm	Logarithmic Normal Distribution
U_ppm	Logarithmic Normal Distribution
V_ppm	Logarithmic Normal Distribution
W_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Y_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Zn_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Zr_ppm	Logarithmic Normal Distribution

Tabela 33: Malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira – a correlação dos dados padronizados da zona mineralizada NW encontra-se no Anexo 24.

Tabela 34: Malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira – *Eigenvalues* de matriz de correlação da zona Mineralizada NW.

Factor	Eigenvalue	cum. %
1	20.259	50.6
2	3.795	60.1
3	2.901	67.4
4	1.591	71.4
5	1.515	75.2
6	1.154	78.0
7	0.877	80.2
8	0.809	82.3
9	0.741	84.1
10	0.693	85.8
11	0.566	87.3
12	0.500	88.5
13	0.464	89.7
14	0.448	90.8
15	0.391	91.8
16	0.362	92.7
17	0.336	93.5
18	0.291	94.2
19	0.262	94.9
20	0.231	95.5
21	0.215	96.0
22	0.176	96.4
23	0.156	96.8
24	0.145	97.2
25	0.125	97.5
26	0.124	97.8
27	0.115	98.1
28	0.094	98.3
29	0.090	98.6
30	0.083	98.8
31	0.080	99.0
32	0.069	99.2
33	0.063	99.3
34	0.059	99.5
35	0.052	99.6
36	0.047	99.7
37	0.037	99.8
38	0.034	99.9
39	0.027	99.9
40	0.022	100.0

Tabela 35: Malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira – *Eigenvectors* de matriz de correlação da zona mineralizada NW.

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9	PC10
Ag_ppm	0.123	0.110	-0.229	-0.073	0.032	0.114	0.186	-0.244	0.135	0.605
Al_perc	0.176	-0.090	0.017	-0.178	0.229	0.008	0.158	0.097	-0.340	-0.127
As_ppm	0.167	-0.203	-0.061	0.027	0.009	0.010	0.007	-0.037	0.208	0.003
Au_ppb	0.091	0.032	0.135	0.042	-0.024	-0.325	0.677	-0.225	0.296	-0.325
Ba_ppm	0.185	0.017	0.192	0.040	-0.187	-0.087	-0.148	-0.187	-0.079	0.000
Be_ppm	0.200	-0.033	0.064	0.094	-0.079	0.065	0.020	-0.072	0.060	0.072
Bi_ppm	0.128	0.033	0.026	-0.180	-0.438	0.205	0.092	0.228	-0.287	0.028
Ce_ppm	0.166	0.229	0.056	0.077	0.053	-0.180	-0.258	-0.133	-0.108	-0.114
Co_ppm	0.195	-0.071	0.171	0.080	-0.106	0.018	-0.104	-0.152	0.028	0.027
Cr_ppm	0.113	-0.159	0.114	0.417	0.144	0.263	0.181	0.049	-0.258	-0.071
Cs_ppm	0.061	0.120	0.391	-0.271	0.117	0.268	-0.024	0.069	0.146	-0.243
Cu_ppm	0.183	-0.123	0.005	0.171	-0.093	0.090	-0.020	0.079	0.147	0.049
Fe_perc	0.199	-0.132	-0.070	0.050	0.143	0.073	0.095	0.085	-0.126	-0.131
Ga_ppm	0.196	-0.070	-0.072	-0.235	0.044	-0.069	-0.006	-0.006	-0.073	-0.061
Hf_ppm	0.167	-0.095	-0.189	-0.196	0.026	-0.010	-0.123	-0.266	0.093	-0.021
Hg_ppm	0.129	-0.032	0.071	-0.301	-0.061	-0.339	-0.095	0.385	0.089	0.099
La_ppm	0.079	0.271	0.161	0.248	0.300	-0.268	-0.152	0.083	-0.070	0.140
Li_ppm	0.096	0.189	0.245	-0.310	0.186	0.188	0.087	-0.097	0.103	0.094
Mn_ppm	0.199	0.018	0.087	0.082	-0.148	0.006	-0.041	-0.077	-0.144	-0.070
Mo_ppm	0.121	0.246	-0.257	0.153	-0.024	-0.104	0.133	0.228	-0.042	-0.066
Nb_ppm	0.111	0.308	-0.269	-0.107	0.058	0.083	0.095	-0.075	0.072	0.039
Ni_ppm	0.177	-0.151	0.176	0.148	-0.016	0.088	0.012	-0.128	0.060	0.098
P_ppm	0.155	-0.166	0.093	-0.020	0.286	-0.029	0.187	0.241	-0.096	0.198
Pb_ppm	0.191	0.041	0.090	-0.008	-0.280	0.000	-0.103	-0.045	-0.148	0.025
Rb_ppm	-0.008	0.352	0.308	-0.073	0.172	0.257	0.020	0.087	0.115	-0.015
S_perc	0.166	-0.128	-0.029	-0.116	0.096	-0.096	0.166	0.162	-0.069	0.258
Sb_ppm	0.165	-0.129	0.088	0.003	-0.020	-0.229	-0.009	-0.022	0.190	0.130
Sc_ppm	0.188	-0.154	-0.050	-0.078	0.086	0.084	-0.065	-0.121	0.063	-0.109
Se_ppm	0.119	0.018	-0.246	0.006	0.084	0.353	-0.117	0.252	0.277	-0.020
Sn_ppm	0.182	0.160	-0.168	-0.111	-0.115	-0.016	0.078	0.095	-0.099	-0.075
Sr_ppm	0.133	-0.065	0.230	-0.034	0.060	-0.264	-0.163	0.161	0.061	0.185
Te_ppm	0.141	-0.033	0.003	0.178	-0.195	0.039	-0.102	0.329	0.492	-0.154
Th_ppm	0.156	0.155	-0.206	-0.033	0.228	-0.157	-0.201	-0.046	-0.045	-0.264
Tl_ppm	0.186	0.144	0.112	-0.067	-0.188	0.080	0.015	-0.125	-0.063	0.073
U_ppm	0.175	0.155	-0.097	0.221	0.089	0.068	-0.102	-0.010	0.058	-0.023
V_ppm	0.169	-0.220	-0.107	0.005	0.236	0.081	-0.046	0.030	-0.020	-0.105
W_ppm	0.150	0.249	-0.095	0.031	-0.208	-0.071	0.202	0.164	-0.052	-0.083
Y_ppm	0.153	0.267	-0.006	0.214	0.098	-0.001	0.011	-0.059	-0.012	0.130
Zn_ppm	0.205	-0.032	0.031	0.096	-0.064	0.094	0.024	-0.031	-0.046	0.030
Zr_ppm	0.185	-0.096	-0.146	-0.196	0.039	-0.013	-0.138	-0.208	0.005	-0.187

Tabela 36: Malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira – *Principal component Loadings da* zona mineralizada NW.

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9	PC10
Ag_ppm	0.553	0.214	-0.390	-0.092	0.040	0.122	0.174	-0.220	0.117	0.504
Al_perc	0.791	-0.176	0.028	-0.224	0.282	0.009	0.148	0.087	-0.293	-0.106
As_ppm	0.750	-0.396	-0.103	0.035	0.011	0.011	0.006	-0.034	0.179	0.003
Au_ppb	0.412	0.063	0.230	0.053	-0.029	-0.349	0.634	-0.203	0.255	-0.271
Ba_ppm	0.833	0.033	0.327	0.051	-0.231	-0.093	-0.139	-0.168	-0.068	0.000
Be_ppm	0.898	-0.065	0.109	0.119	-0.097	0.070	0.018	-0.065	0.052	0.060
Bi_ppm	0.576	0.065	0.044	-0.227	-0.540	0.220	0.086	0.205	-0.247	0.024
Ce_ppm	0.748	0.446	0.095	0.097	0.066	-0.193	-0.241	-0.120	-0.093	-0.095
Co_ppm	0.876	-0.139	0.292	0.100	-0.130	0.020	-0.097	-0.137	0.024	0.022
Cr_ppm	0.510	-0.310	0.194	0.527	0.177	0.282	0.169	0.044	-0.222	-0.059
Cs_ppm	0.274	0.233	0.665	-0.342	0.143	0.288	-0.022	0.062	0.125	-0.203
Cu_ppm	0.823	-0.239	0.009	0.216	-0.115	0.097	-0.019	0.071	0.127	0.041
Fe_perc	0.894	-0.256	-0.119	0.063	0.176	0.079	0.089	0.077	-0.108	-0.109
Ga_ppm	0.881	-0.136	-0.123	-0.297	0.054	-0.074	-0.005	-0.006	-0.063	-0.051
Hf_ppm	0.751	-0.184	-0.322	-0.248	0.032	-0.010	-0.116	-0.239	0.080	-0.018
Hg_ppm	0.580	-0.063	0.121	-0.380	-0.075	-0.364	-0.089	0.347	0.076	0.083
La_ppm	0.356	0.529	0.275	0.313	0.370	-0.287	-0.143	0.075	-0.060	0.116
Li_ppm	0.432	0.368	0.418	-0.391	0.229	0.202	0.081	-0.087	0.088	0.078
Mn_ppm	0.897	0.035	0.149	0.104	-0.182	0.006	-0.038	-0.070	-0.124	-0.058
Mo_ppm	0.547	0.480	-0.438	0.193	-0.030	-0.112	0.125	0.206	-0.036	-0.055
Nb_ppm	0.498	0.600	-0.459	-0.134	0.072	0.089	0.089	-0.068	0.062	0.033
Ni_ppm	0.796	-0.295	0.299	0.187	-0.020	0.095	0.011	-0.115	0.051	0.081
P_ppm	0.697	-0.324	0.158	-0.025	0.352	-0.031	0.175	0.217	-0.082	0.165
Pb_ppm	0.860	0.081	0.153	-0.010	-0.344	0.000	-0.097	-0.040	-0.127	0.021
Rb_ppm	-0.037	0.685	0.525	-0.093	0.211	0.276	0.018	0.078	0.099	-0.012
S_perc	0.748	-0.250	-0.049	-0.147	0.118	-0.103	0.156	0.146	-0.059	0.215
Sb_ppm	0.744	-0.252	0.150	0.004	-0.024	-0.246	-0.009	-0.020	0.163	0.108
Sc_ppm	0.845	-0.299	-0.085	-0.098	0.106	0.090	-0.061	-0.109	0.055	-0.090
Se_ppm	0.538	0.035	-0.419	0.007	0.103	0.379	-0.110	0.227	0.239	-0.017
Sn_ppm	0.820	0.313	-0.286	-0.140	-0.141	-0.017	0.073	0.085	-0.086	-0.063
Sr_ppm	0.596	-0.127	0.391	-0.043	0.074	-0.283	-0.152	0.145	0.052	0.154
Te_ppm	0.636	-0.065	0.005	0.224	-0.240	0.042	-0.096	0.296	0.424	-0.128
Th_ppm	0.702	0.302	-0.352	-0.041	0.281	-0.168	-0.189	-0.041	-0.039	-0.220
Tl_ppm	0.839	0.281	0.191	-0.084	-0.231	0.086	0.014	-0.113	-0.055	0.061
U_ppm	0.789	0.303	-0.165	0.278	0.110	0.073	-0.096	-0.009	0.050	-0.019
V_ppm	0.760	-0.429	-0.182	0.006	0.290	0.087	-0.044	0.027	-0.018	-0.087
W_ppm	0.676	0.485	-0.162	0.039	-0.256	-0.077	0.189	0.147	-0.045	-0.069
Y_ppm	0.689	0.521	-0.010	0.270	0.120	-0.001	0.011	-0.053	-0.011	0.108
Zn_ppm	0.922	-0.062	0.052	0.121	-0.078	0.101	0.022	-0.028	-0.040	0.025
Zr_ppm	0.833	-0.187	-0.248	-0.247	0.048	-0.014	-0.129	-0.187	0.004	-0.156

Tabela 37: Malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira – *Proportion of variables explained by factors* da matriz de correlação da zona mineralizada NW.

Variable	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ag_ppm	0.306	0.352	0.504	0.513	0.514	0.529	0.560	0.608	0.621	0.876
Al_perc	0.626	0.657	0.658	0.708	0.788	0.788	0.810	0.818	0.903	0.915
As_ppm	0.563	0.720	0.731	0.732	0.732	0.732	0.732	0.733	0.765	0.765
Au_ppb	0.170	0.174	0.226	0.229	0.230	0.352	0.754	0.795	0.860	0.933
Ba_ppm	0.695	0.696	0.803	0.805	0.859	0.867	0.887	0.915	0.920	0.920
Be_ppm	0.806	0.811	0.823	0.837	0.846	0.851	0.851	0.856	0.858	0.862
Bi_ppm	0.332	0.336	0.338	0.390	0.681	0.730	0.737	0.779	0.840	0.841
Ce_ppm	0.559	0.757	0.766	0.776	0.780	0.818	0.876	0.890	0.899	0.908
Co_ppm	0.768	0.787	0.872	0.882	0.899	0.899	0.909	0.927	0.928	0.928
Cr_ppm	0.260	0.356	0.394	0.671	0.703	0.782	0.811	0.813	0.862	0.866
Cs_ppm	0.075	0.129	0.572	0.689	0.709	0.793	0.793	0.797	0.813	0.854
Cu_ppm	0.677	0.734	0.734	0.780	0.794	0.803	0.803	0.808	0.824	0.826
Fe_perc	0.799	0.864	0.879	0.883	0.914	0.920	0.928	0.934	0.945	0.957
Ga_ppm	0.777	0.795	0.810	0.899	0.901	0.907	0.907	0.907	0.911	0.913
Hf_ppm	0.564	0.598	0.701	0.763	0.764	0.764	0.777	0.834	0.841	0.841
Hg_ppm	0.336	0.340	0.355	0.499	0.504	0.637	0.645	0.765	0.771	0.778
La_ppm	0.127	0.406	0.482	0.580	0.717	0.799	0.820	0.825	0.829	0.842
Li_ppm	0.186	0.322	0.497	0.650	0.702	0.743	0.750	0.757	0.765	0.771
Mn_ppm	0.804	0.805	0.828	0.838	0.871	0.871	0.873	0.878	0.893	0.896
Mo_ppm	0.299	0.529	0.721	0.759	0.760	0.772	0.788	0.830	0.831	0.834
Nb_ppm	0.248	0.607	0.818	0.836	0.841	0.849	0.857	0.861	0.865	0.866
Ni_ppm	0.634	0.721	0.811	0.846	0.846	0.855	0.855	0.868	0.871	0.878
P_ppm	0.486	0.590	0.615	0.616	0.740	0.741	0.771	0.819	0.825	0.852
Pb_ppm	0.740	0.747	0.770	0.770	0.889	0.889	0.898	0.900	0.916	0.916
Rb_ppm	0.001	0.471	0.747	0.755	0.800	0.876	0.876	0.882	0.892	0.892
S_perc	0.560	0.622	0.625	0.646	0.660	0.671	0.695	0.716	0.720	0.766
Sb_ppm	0.553	0.617	0.639	0.639	0.640	0.700	0.700	0.700	0.727	0.739
Sc_ppm	0.714	0.804	0.811	0.821	0.832	0.840	0.844	0.856	0.859	0.867
Se_ppm	0.289	0.290	0.466	0.466	0.476	0.620	0.632	0.684	0.741	0.741
Sn_ppm	0.673	0.770	0.852	0.872	0.892	0.892	0.897	0.904	0.912	0.916
Sr_ppm	0.356	0.372	0.525	0.527	0.532	0.612	0.636	0.656	0.659	0.683
Te_ppm	0.405	0.409	0.409	0.459	0.517	0.519	0.528	0.615	0.795	0.812
Th_ppm	0.493	0.584	0.707	0.709	0.788	0.816	0.852	0.853	0.855	0.903
Tl_ppm	0.703	0.782	0.819	0.826	0.880	0.887	0.887	0.900	0.903	0.907
U_ppm	0.622	0.714	0.741	0.819	0.831	0.836	0.845	0.845	0.848	0.848
V_ppm	0.578	0.762	0.796	0.796	0.880	0.887	0.889	0.890	0.890	0.898
W_ppm	0.457	0.692	0.719	0.720	0.786	0.792	0.827	0.849	0.851	0.856
Y_ppm	0.475	0.746	0.747	0.820	0.834	0.834	0.834	0.837	0.837	0.849
Zn_ppm	0.851	0.854	0.857	0.872	0.878	0.888	0.889	0.890	0.891	0.892
Zr_ppm	0.694	0.729	0.791	0.852	0.854	0.855	0.871	0.906	0.906	0.930

Tabela 38: Malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira – *Varimax Principal component loading* da zona mineralizada NW.

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
Ag_ppm	0.329	0.620	0.020	-0.023	-0.151	0.114
Al_perc	0.794	0.238	0.233	0.025	-0.162	-0.140
As_ppm	0.739	0.140	-0.135	0.166	-0.342	-0.056
Au_ppb	0.196	0.088	0.056	-0.028	-0.249	-0.490
Ba_ppm	0.411	0.192	0.199	0.109	-0.681	-0.382
Be_ppm	0.563	0.305	0.110	0.254	-0.571	-0.198
Bi_ppm	0.210	0.216	0.139	-0.149	-0.755	0.167
Ce_ppm	0.237	0.593	0.252	0.085	-0.324	-0.484
Co_ppm	0.564	0.135	0.167	0.244	-0.628	-0.285
Cr_ppm	0.418	-0.019	0.015	0.741	-0.224	-0.087
Cs_ppm	0.119	-0.104	0.845	0.004	-0.213	-0.088
Cu_ppm	0.590	0.218	-0.069	0.333	-0.529	-0.108
Fe_perc	0.808	0.329	0.001	0.264	-0.284	-0.090
Ga_ppm	0.786	0.361	0.092	-0.147	-0.340	-0.111
Hf_ppm	0.726	0.387	-0.070	-0.130	-0.250	0.052
Hg_ppm	0.494	0.105	0.111	-0.385	-0.318	-0.346
La_ppm	-0.042	0.411	0.319	0.267	0.072	-0.671
Li_ppm	0.220	0.203	0.783	-0.086	-0.144	-0.115
Mn_ppm	0.474	0.336	0.131	0.188	-0.641	-0.265
Mo_ppm	0.078	0.830	-0.128	0.056	-0.176	-0.165
Nb_ppm	0.101	0.890	0.146	-0.124	-0.072	0.064
Ni_ppm	0.614	0.009	0.125	0.383	-0.514	-0.224
P_ppm	0.773	0.043	0.165	0.214	-0.098	-0.243
Pb_ppm	0.395	0.323	0.139	0.039	-0.749	-0.214
Rb_ppm	-0.378	0.163	0.823	0.108	0.024	-0.130
S_perc	0.737	0.200	0.021	-0.014	-0.244	-0.166
Sb_ppm	0.623	0.075	-0.020	0.045	-0.400	-0.378
Sc_ppm	0.815	0.240	0.044	0.121	-0.319	-0.021
Se_ppm	0.417	0.531	0.007	0.200	-0.122	0.330
Sn_ppm	0.391	0.721	0.069	-0.126	-0.439	-0.076
Sr_ppm	0.475	-0.042	0.198	0.022	-0.304	-0.503
Te_ppm	0.318	0.238	-0.088	0.239	-0.531	-0.121
Th_ppm	0.452	0.743	0.042	-0.028	-0.005	-0.238
Tl_ppm	0.321	0.433	0.344	0.027	-0.663	-0.192
U_ppm	0.339	0.691	0.083	0.341	-0.283	-0.202
V_ppm	0.881	0.196	-0.067	0.238	-0.107	0.001
W_ppm	0.093	0.700	0.067	-0.052	-0.495	-0.203
Y_ppm	0.136	0.701	0.235	0.293	-0.256	-0.343
Zn_ppm	0.589	0.353	0.097	0.268	-0.557	-0.159
Zr_ppm	0.780	0.382	-0.011	-0.104	-0.298	-0.003

Tabela 39: Malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira – *Proportion of variables explained by varimax Factor* da zona mineralizada NW.

Variable	1	2	3	4	5	6
Ag_ppm	0.108	0.492	0.493	0.493	0.516	0.529
Al_perc	0.630	0.687	0.742	0.742	0.769	0.788
As_ppm	0.546	0.566	0.584	0.612	0.729	0.732
Au_ppb	0.039	0.046	0.049	0.050	0.112	0.352
Ba_ppm	0.169	0.206	0.246	0.257	0.721	0.867
Be_ppm	0.316	0.409	0.422	0.486	0.812	0.851
Bi_ppm	0.044	0.091	0.110	0.132	0.702	0.730
Ce_ppm	0.056	0.407	0.471	0.478	0.583	0.818
Co_ppm	0.318	0.336	0.364	0.424	0.818	0.899
Cr_ppm	0.175	0.175	0.176	0.725	0.775	0.782
Cs_ppm	0.014	0.025	0.739	0.739	0.785	0.793
Cu_ppm	0.348	0.395	0.400	0.511	0.791	0.803
Fe_perc	0.653	0.762	0.762	0.831	0.912	0.920
Ga_ppm	0.618	0.749	0.757	0.779	0.895	0.907
Hf_ppm	0.527	0.676	0.681	0.698	0.761	0.764
Hg_ppm	0.245	0.256	0.268	0.416	0.517	0.637
La_ppm	0.002	0.171	0.272	0.344	0.349	0.799
Li_ppm	0.048	0.089	0.702	0.709	0.730	0.743
Mn_ppm	0.225	0.338	0.355	0.391	0.801	0.871
Mo_ppm	0.006	0.694	0.711	0.714	0.745	0.772
Nb_ppm	0.010	0.803	0.824	0.840	0.845	0.849
Ni_ppm	0.378	0.378	0.393	0.540	0.805	0.855
P_ppm	0.597	0.599	0.626	0.672	0.682	0.741
Pb_ppm	0.156	0.261	0.280	0.282	0.843	0.889
Rb_ppm	0.143	0.170	0.847	0.858	0.859	0.876
S_perc	0.543	0.583	0.583	0.583	0.643	0.671
Sb_ppm	0.388	0.394	0.394	0.397	0.557	0.700
Sc_ppm	0.664	0.721	0.723	0.738	0.840	0.840
Se_ppm	0.174	0.456	0.456	0.496	0.511	0.620
Sn_ppm	0.153	0.673	0.677	0.693	0.886	0.892
Sr_ppm	0.225	0.227	0.266	0.267	0.359	0.612
Te_ppm	0.101	0.158	0.165	0.222	0.504	0.519
Th_ppm	0.205	0.757	0.759	0.759	0.759	0.816
Tl_ppm	0.103	0.291	0.409	0.410	0.850	0.887
U_ppm	0.115	0.592	0.599	0.715	0.795	0.836
V_ppm	0.776	0.814	0.819	0.876	0.887	0.887
W_ppm	0.009	0.498	0.503	0.505	0.750	0.792
Y_ppm	0.019	0.510	0.565	0.651	0.717	0.834
Zn_ppm	0.347	0.472	0.481	0.553	0.863	0.888
Zr_ppm	0.609	0.755	0.755	0.766	0.855	0.855

Os dados da zona mineralizada NW, dos Eigenvalues (Tabela 34) mostram 6 fatores maiores que 1 (1,15), portanto pelo critério de Kaiser (in StatSoft 2001), somente 6 PC devem ser considerados na aplicação do *VPC* (Tabela 38*)*. O primeiro fator extraiu praticamente 50,6 %, a metade do total das amostras e os demais fatores, os 50% restantes.

No PC 1 estão selecionados os valores iguais ou acima de 0,73 (Anexos 25 a 27 e Figuras 49 a, b e c), no PC 2 os valores iguais ou acima de 0,62, enquanto no PC 3 são valores iguais ou acima de 0,23, com a seguinte associação de elementos químicos:

PC 1 – V, Sc, Fe, Al, Ga, Zr, P, S, As e Hf

Correlação negativa – La e Rb

PC 2 – Nb, Mo, Th, Sn, Y, W, U, Ag

Correlação negativa – Cs e Sr

PC 3 – Cs, Rb, Li, Th, La, Ce, Y, Al

Correlação negativa – As, Mo, Te, Hf, Cu e V

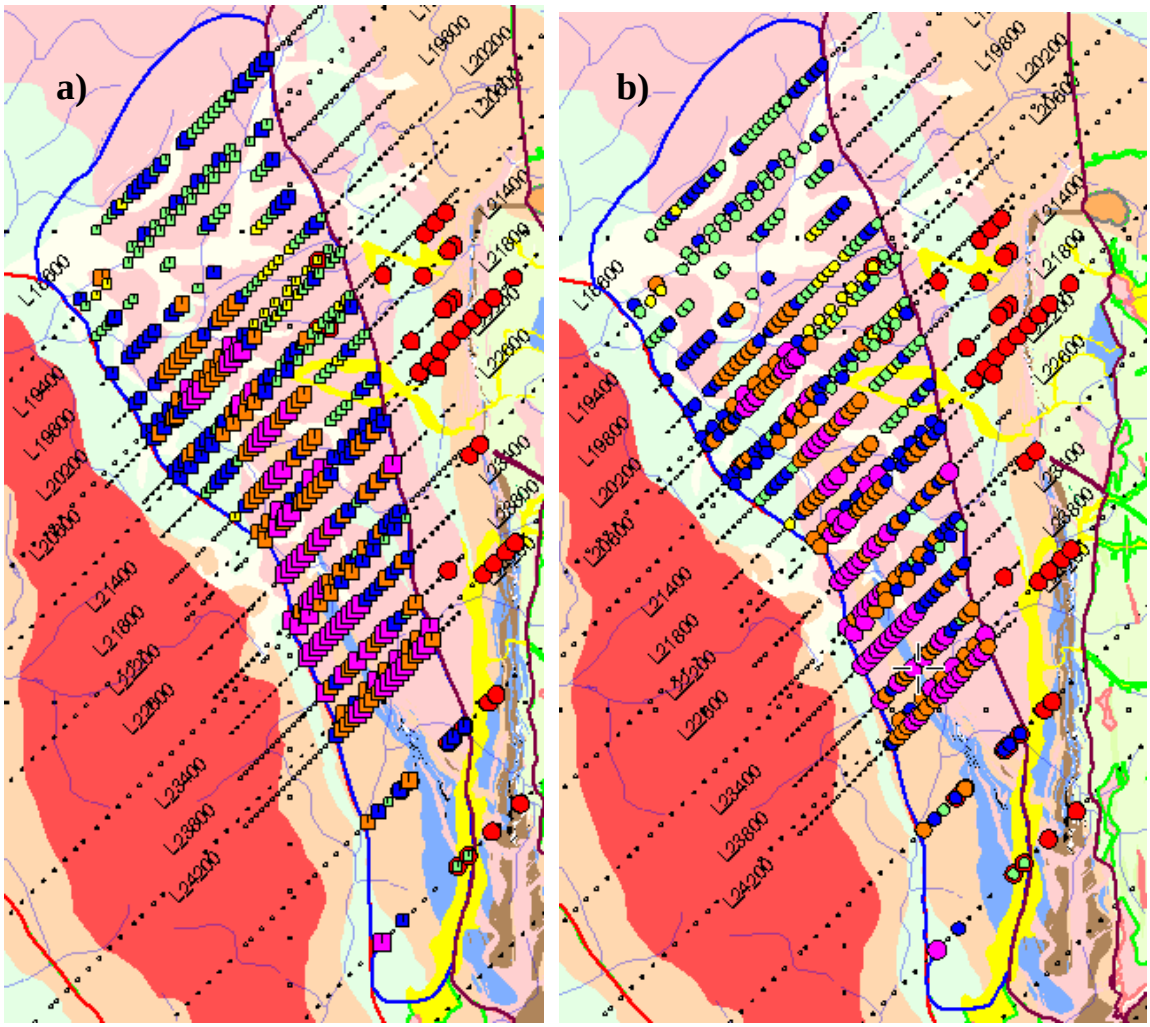
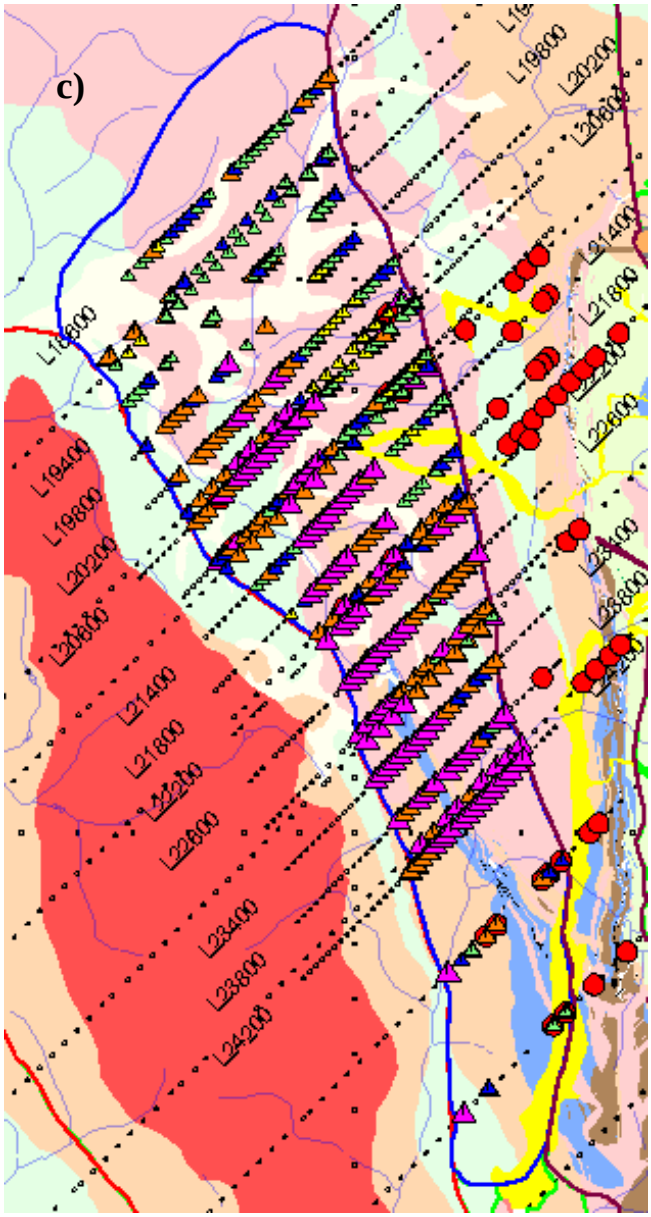


Figura 49: Amapari - Zona mineralizada NW, a) PC 1 - maiores valores de PC1 em domínio de granitóides indiferenciados. b) PC 2 – maiores valores em domínio de granitóides indiferenciados. c) PC 3 - maiores valores associados a granitóides indiferenciados + biotita xistos. Observar legenda nos anexos 25 a 27.


c)
L19400
L19600
L19800
L20000
L20200
L20400
L20600
L20800
L21000
L21200
L21400
L21600
L21800
L22000
L22200
L22400
L22600
L22800
L23000
L23200
L23400
L23600
L23800
L24000
L24200

VI.7.3 Zona do granito Amapari

Os dados obtidos nessa zona são apresentados nas tabelas a seguir:

Tabela 40: Informações da análise de Componentes Principais da zona do granito Amapari.

Number of channels included: 40
Number of principal components displayed: 10
Number of rows of data: 314
Granito Amapari
Data Transformations

Ag_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Al_perc	Logarithmic Normal Distribution
As_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Au_ppb	Logarithmic Normal Distribution
Ba_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Be_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Bi_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Ce_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Co_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Cr_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Cs_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Cu_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Fe_perc	Logarithmic Normal Distribution
Ga_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Hf_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Hg_ppm	Logarithmic Normal Distribution
La_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Li_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Mn_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Mo_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Nb_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Ni_ppm	Logarithmic Normal Distribution
P_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Pb_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Rb_ppm	Logarithmic Normal Distribution
S_perc	Logarithmic Normal Distribution
Sb_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Sc_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Se_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Sn_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Sr_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Te_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Th_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Tl_ppm	Logarithmic Normal Distribution
U_ppm	Logarithmic Normal Distribution
V_ppm	Logarithmic Normal Distribution
W_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Y_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Zn_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Zr_ppm	Logarithmic Normal Distribution

Tabela 41: Malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira – a correlação dos dados padronizados da zona do granito Amapari encontra-se no Anexo 29.

Tabela 42: Malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira – *Eigenvalues* de matriz de correlação da zona do granito Amapari.

Factor	Eigenvalue	cum. %
1	21.347	53.40
2	4.105	63.60
3	2.121	68.90
4	1.869	73.60
5	1.529	77.40
6	0.911	79.70
7	0.889	81.90
8	0.848	84.10
9	0.629	85.60
10	0.579	87.10
11	0.509	88.30
12	0.478	89.50
13	0.455	90.70
14	0.420	91.70
15	0.334	92.60
16	0.304	93.30
17	0.290	94.00
18	0.264	94.70
19	0.248	95.30
20	0.221	95.90
21	0.195	96.40
22	0.186	96.80
23	0.157	97.20
24	0.132	97.60
25	0.126	97.90
26	0.113	98.10
27	0.095	98.40
28	0.090	98.60
29	0.080	98.80
30	0.076	99.00
31	0.071	99.20
32	0.068	99.40
33	0.053	99.50
34	0.053	99.60
35	0.041	99.70
36	0.039	99.80
37	0.027	99.90
38	0.018	99.90
39	0.015	100.00
40	0.014	100.00

Tabela 43: Malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira – *Eigenvectors* de matriz de correlação da zona do granito Amapari.

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9	PC10
Ag_ppm	0.172	0.040	0.100	0.276	0.109	-0.080	-0.099	-0.044	0.047	0.083
Al_perc	0.171	-0.169	0.039	-0.219	0.173	0.068	0.128	0.128	0.062	-0.084
As_ppm	0.164	-0.121	-0.058	0.175	-0.094	-0.039	-0.098	0.040	0.359	-0.245
Au_ppb	0.093	0.064	0.012	-0.137	-0.273	-0.222	-0.588	0.430	0.238	0.012
Ba_ppm	0.172	0.164	-0.028	-0.149	-0.245	0.090	-0.009	-0.043	-0.169	0.101
Be_ppm	0.187	-0.018	-0.140	-0.028	-0.050	0.136	-0.112	0.073	-0.197	0.046
Bi_ppm	0.162	0.074	0.131	0.291	-0.033	-0.029	-0.038	-0.082	0.036	-0.057
Ce_ppm	0.150	0.256	0.010	-0.214	0.134	0.028	-0.150	-0.110	-0.188	-0.017
Co_ppm	0.189	0.059	-0.136	-0.106	-0.164	0.057	0.001	0.026	-0.188	0.235
Cr_ppm	0.122	-0.186	-0.418	0.054	-0.012	-0.091	0.050	-0.132	0.081	0.013

Cs_ppm	0.067	0.349	-0.220	0.000	0.024	0.087	0.297	0.128	0.290	-0.186
Cu_ppm	0.196	-0.091	-0.154	0.057	-0.060	0.026	-0.005	-0.099	0.076	0.084
Fe_perc	0.194	-0.185	-0.077	0.037	-0.016	-0.006	0.026	0.010	-0.034	-0.046
Ga_ppm	0.174	-0.217	0.092	-0.167	0.146	0.057	0.044	0.070	0.022	-0.123
Hf_ppm	0.146	-0.092	0.232	0.005	0.227	-0.116	0.041	0.073	0.207	0.466
Hg_ppm	0.128	-0.104	0.193	-0.240	-0.105	-0.010	0.179	0.125	-0.222	-0.395
La_ppm	0.079	0.202	-0.103	-0.385	0.282	-0.028	-0.283	-0.339	0.064	-0.294
Li_ppm	0.126	0.192	-0.150	-0.138	0.306	0.057	0.045	0.360	0.162	0.058
Mn_ppm	0.186	0.148	0.046	-0.014	-0.220	0.000	0.101	0.001	-0.159	0.196
Mo_ppm	0.151	0.021	0.220	0.214	0.050	-0.180	-0.074	-0.226	-0.051	-0.224
Nb_ppm	0.156	0.164	0.174	0.227	0.229	0.005	0.066	0.132	-0.088	0.061
Ni_ppm	0.174	-0.108	-0.277	-0.070	0.000	0.120	-0.083	0.028	-0.052	0.166
P_ppm	0.176	-0.081	-0.131	0.038	-0.083	-0.029	0.014	0.066	-0.175	-0.112
Pb_ppm	0.193	0.133	0.059	0.035	-0.153	-0.014	0.019	-0.033	-0.181	0.035
Rb_ppm	0.070	0.390	-0.147	0.106	0.033	0.094	0.249	0.076	0.240	-0.093
S_perc	0.154	-0.211	0.016	-0.133	-0.081	0.020	0.074	0.003	0.096	-0.170
Sb_ppm	0.147	0.014	0.154	-0.136	-0.199	-0.340	-0.079	-0.161	0.251	0.022
Sc_ppm	0.190	-0.167	-0.152	0.064	0.039	0.018	0.060	0.060	0.014	-0.010
Se_ppm	0.081	-0.047	0.203	0.121	-0.103	0.782	-0.321	-0.039	0.177	-0.048
Sn_ppm	0.172	0.053	0.257	0.020	0.003	0.009	0.073	0.144	-0.068	-0.188
Sr_ppm	0.093	0.061	0.172	-0.366	-0.284	0.037	0.272	-0.287	0.275	0.178
Te_ppm	0.153	-0.056	-0.013	0.152	-0.095	0.124	0.115	-0.345	0.197	0.038
Th_ppm	0.163	-0.040	0.221	-0.083	0.281	0.098	0.003	-0.066	-0.066	0.009
Tl_ppm	0.174	0.230	0.082	0.009	-0.106	0.007	0.042	0.080	-0.046	0.074
U_ppm	0.180	0.039	-0.088	0.142	0.061	-0.106	-0.030	-0.094	-0.196	-0.061
V_ppm	0.166	-0.261	-0.137	0.034	0.032	-0.068	0.063	0.015	0.046	-0.050
W_ppm	0.161	0.136	0.062	0.180	-0.146	-0.169	0.031	0.081	0.011	-0.172
Y_ppm	0.156	0.146	-0.155	0.016	0.260	-0.081	-0.243	-0.278	0.004	0.095
Zn_ppm	0.199	-0.033	-0.100	0.046	-0.011	0.052	0.032	0.089	-0.104	0.020
Zr_ppm	0.172	-0.145	0.198	-0.095	0.193	-0.068	0.073	0.097	0.094	0.198

Tabela 44: Malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira – *Principal component Loadings da* zona do granito Amapari.

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9	PC10
Ag_ppm	0.794	0.081	0.145	0.377	0.134	-0.077	-0.093	-0.041	0.037	0.063
Al_perc	0.788	-0.342	0.056	-0.300	0.213	0.065	0.121	0.118	0.050	-0.064
As_ppm	0.759	-0.244	-0.084	0.240	-0.117	-0.038	-0.092	0.037	0.285	-0.186
Au_ppb	0.429	0.130	0.018	-0.188	-0.338	-0.212	-0.554	0.396	0.189	0.010
Ba_ppm	0.796	0.332	-0.040	-0.204	-0.303	0.086	-0.009	-0.040	-0.134	0.077
Be_ppm	0.863	-0.037	-0.203	-0.038	-0.062	0.130	-0.105	0.067	-0.156	0.035
Bi_ppm	0.751	0.150	0.191	0.398	-0.041	-0.027	-0.035	-0.076	0.028	-0.044
Ce_ppm	0.691	0.518	0.015	-0.293	0.166	0.026	-0.141	-0.101	-0.149	-0.013
Co_ppm	0.874	0.119	-0.198	-0.145	-0.203	0.054	0.001	0.024	-0.149	0.179
Cr_ppm	0.563	-0.377	-0.609	0.074	-0.014	-0.087	0.047	-0.122	0.064	0.010
Cs_ppm	0.308	0.706	-0.320	0.000	0.029	0.083	0.280	0.118	0.230	-0.141
Cu_ppm	0.904	-0.185	-0.224	0.078	-0.074	0.025	-0.005	-0.091	0.060	0.064
Fe_perc	0.898	-0.375	-0.113	0.051	-0.020	-0.006	0.025	0.009	-0.027	-0.035
Ga_ppm	0.804	-0.439	0.134	-0.228	0.181	0.054	0.042	0.064	0.018	-0.094
Hf_ppm	0.674	-0.186	0.338	0.007	0.281	-0.111	0.039	0.067	0.165	0.355
Hg_ppm	0.593	-0.210	0.281	-0.328	-0.130	-0.009	0.169	0.115	-0.176	-0.301
La_ppm	0.364	0.410	-0.150	-0.526	0.349	-0.027	-0.267	-0.312	0.050	-0.224
Li_ppm	0.583	0.388	-0.218	-0.188	0.379	0.055	0.042	0.331	0.128	0.044
Mn_ppm	0.861	0.301	0.067	-0.019	-0.272	0.000	0.095	0.001	-0.126	0.149
Mo_ppm	0.698	0.043	0.320	0.293	0.062	-0.172	-0.069	-0.208	-0.041	-0.171
Nb_ppm	0.719	0.333	0.254	0.311	0.284	0.005	0.062	0.121	-0.070	0.047
Ni_ppm	0.802	-0.218	-0.404	-0.095	0.000	0.115	-0.078	0.025	-0.041	0.126
P_ppm	0.814	-0.164	-0.192	0.052	-0.103	-0.028	0.013	0.061	-0.139	-0.085
Pb_ppm	0.891	0.269	0.086	0.048	-0.189	-0.014	0.018	-0.030	-0.144	0.027
Rb_ppm	0.325	0.790	-0.213	0.145	0.040	0.089	0.235	0.070	0.190	-0.071

S_perc	0.710	-0.427	0.023	-0.182	-0.100	0.019	0.070	0.003	0.076	-0.129
Sb_ppm	0.678	0.029	0.224	-0.186	-0.246	-0.325	-0.075	-0.148	0.199	0.017
Sc_ppm	0.878	-0.337	-0.222	0.088	0.048	0.017	0.057	0.055	0.011	-0.007
Se_ppm	0.374	-0.095	0.295	0.165	-0.127	0.746	-0.302	-0.036	0.140	-0.036
Sn_ppm	0.796	0.107	0.375	0.028	0.004	0.008	0.069	0.133	-0.054	-0.143
Sr_ppm	0.430	0.123	0.251	-0.501	-0.351	0.035	0.257	-0.264	0.218	0.136
Te_ppm	0.708	-0.114	-0.019	0.208	-0.118	0.119	0.108	-0.318	0.157	0.029
Th_ppm	0.755	-0.082	0.322	-0.113	0.348	0.093	0.003	-0.061	-0.052	0.007
Tl_ppm	0.804	0.467	0.120	0.012	-0.131	0.007	0.039	0.073	-0.036	0.057
U_ppm	0.830	0.079	-0.128	0.194	0.076	-0.101	-0.028	-0.086	-0.156	-0.046
V_ppm	0.768	-0.529	-0.200	0.047	0.040	-0.065	0.059	0.014	0.036	-0.038
W_ppm	0.742	0.275	0.090	0.246	-0.180	-0.161	0.029	0.075	0.009	-0.131
Y_ppm	0.720	0.296	-0.226	0.022	0.322	-0.077	-0.229	-0.256	0.003	0.072
Zn_ppm	0.921	-0.067	-0.146	0.064	-0.014	0.050	0.030	0.082	-0.083	0.015
Zr_ppm	0.796	-0.294	0.288	-0.130	0.239	-0.065	0.069	0.089	0.074	0.151

Tabela 45: Malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira – *Proportion of variables explained by factors* da matriz de correlação da zona do granito Amapari.

Variable	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ag_ppm	0.631	0.637	0.658	0.801	0.819	0.824	0.833	0.835	0.836	0.840
Al_perc	0.621	0.738	0.741	0.831	0.877	0.881	0.895	0.909	0.912	0.916
As_ppm	0.577	0.636	0.644	0.701	0.715	0.716	0.725	0.726	0.807	0.842
Au_ppb	0.184	0.201	0.201	0.237	0.351	0.396	0.703	0.860	0.895	0.895
Ba_ppm	0.633	0.743	0.745	0.787	0.879	0.886	0.886	0.888	0.906	0.912
Be_ppm	0.745	0.747	0.788	0.790	0.793	0.810	0.821	0.826	0.850	0.852
Bi_ppm	0.563	0.586	0.622	0.781	0.782	0.783	0.784	0.790	0.791	0.793
Ce_ppm	0.478	0.746	0.746	0.832	0.860	0.861	0.880	0.891	0.913	0.913
Co_ppm	0.763	0.777	0.816	0.837	0.879	0.882	0.882	0.882	0.905	0.937
Cr_ppm	0.317	0.459	0.830	0.835	0.836	0.843	0.845	0.860	0.864	0.864
Cs_ppm	0.095	0.594	0.696	0.696	0.697	0.704	0.782	0.796	0.849	0.869
Cu_ppm	0.817	0.851	0.901	0.907	0.913	0.913	0.913	0.921	0.925	0.929
Fe_perc	0.806	0.946	0.959	0.962	0.962	0.962	0.963	0.963	0.963	0.965
Ga_ppm	0.646	0.839	0.857	0.909	0.941	0.944	0.946	0.950	0.951	0.959
Hf_ppm	0.455	0.489	0.604	0.604	0.682	0.695	0.696	0.701	0.728	0.854
Hg_ppm	0.351	0.395	0.474	0.582	0.599	0.599	0.628	0.641	0.672	0.762
La_ppm	0.132	0.301	0.323	0.600	0.722	0.722	0.793	0.891	0.894	0.944
Li_ppm	0.340	0.490	0.538	0.573	0.716	0.719	0.721	0.831	0.847	0.849
Mn_ppm	0.741	0.831	0.836	0.836	0.910	0.910	0.920	0.920	0.935	0.958
Mo_ppm	0.487	0.489	0.591	0.677	0.681	0.710	0.715	0.758	0.760	0.789
Nb_ppm	0.517	0.628	0.692	0.789	0.869	0.869	0.873	0.888	0.893	0.895
Ni_ppm	0.643	0.691	0.854	0.863	0.863	0.876	0.882	0.883	0.884	0.900
P_ppm	0.663	0.690	0.726	0.729	0.740	0.741	0.741	0.744	0.764	0.771
Pb_ppm	0.794	0.866	0.874	0.876	0.912	0.912	0.912	0.913	0.934	0.934
Rb_ppm	0.106	0.729	0.775	0.796	0.797	0.805	0.860	0.865	0.902	0.907
S_perc	0.504	0.686	0.687	0.720	0.730	0.730	0.735	0.735	0.741	0.758
Sb_ppm	0.460	0.461	0.511	0.546	0.606	0.712	0.717	0.739	0.779	0.779
Sc_ppm	0.771	0.885	0.934	0.942	0.944	0.945	0.948	0.951	0.951	0.951
Se_ppm	0.140	0.149	0.236	0.264	0.280	0.837	0.928	0.929	0.949	0.950
Sn_ppm	0.634	0.645	0.786	0.786	0.786	0.786	0.791	0.809	0.812	0.832
Sr_ppm	0.185	0.200	0.263	0.514	0.637	0.638	0.704	0.774	0.822	0.840
Te_ppm	0.502	0.515	0.515	0.558	0.572	0.586	0.598	0.699	0.724	0.725
Th_ppm	0.570	0.577	0.681	0.694	0.815	0.823	0.823	0.827	0.830	0.830
Tl_ppm	0.646	0.864	0.878	0.878	0.895	0.896	0.897	0.902	0.904	0.907
U_ppm	0.689	0.696	0.712	0.750	0.756	0.766	0.767	0.774	0.798	0.800
V_ppm	0.589	0.869	0.909	0.911	0.912	0.917	0.920	0.920	0.922	0.923
W_ppm	0.551	0.626	0.634	0.694	0.727	0.753	0.754	0.759	0.759	0.776
Y_ppm	0.519	0.607	0.658	0.658	0.762	0.768	0.820	0.886	0.886	0.891
Zn_ppm	0.849	0.853	0.874	0.878	0.879	0.881	0.882	0.889	0.895	0.896
Zr_ppm	0.634	0.720	0.803	0.820	0.877	0.881	0.886	0.894	0.900	0.922

Tabela 46: Malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira – *Varimax Principal component loading* da zona do granito Amapari.

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
Ag_ppm	0.384	0.247	0.745	-0.229	-0.048
Al_perc	0.563	0.144	0.138	-0.677	-0.246
As_ppm	0.668	0.002	0.466	-0.142	-0.175
Au_ppb	0.196	0.139	0.138	-0.001	-0.523
Ba_ppm	0.352	0.451	0.329	-0.053	-0.664
Be_ppm	0.670	0.317	0.314	-0.196	-0.327
Bi_ppm	0.313	0.192	0.780	-0.103	-0.169
Ce_ppm	0.116	0.745	0.261	-0.278	-0.383
Co_ppm	0.597	0.401	0.287	-0.111	-0.517
Cr_ppm	0.908	0.099	-0.023	0.004	0.029
Cs_ppm	0.038	0.751	0.161	0.292	-0.142
Cu_ppm	0.792	0.197	0.374	-0.197	-0.260
Fe_perc	0.805	0.043	0.361	-0.361	-0.226
Ga_ppm	0.582	0.021	0.211	-0.707	-0.240
Hf_ppm	0.272	0.083	0.453	-0.623	-0.090
Hg_ppm	0.267	-0.034	0.164	-0.489	-0.510
La_ppm	0.031	0.738	-0.174	-0.328	-0.196
Li_ppm	0.249	0.755	0.135	-0.249	-0.059
Mn_ppm	0.358	0.383	0.532	-0.076	-0.589
Mo_ppm	0.234	0.115	0.713	-0.291	-0.141
Nb_ppm	0.130	0.446	0.759	-0.277	-0.018
Ni_ppm	0.832	0.269	0.110	-0.202	-0.212
P_ppm	0.707	0.165	0.332	-0.169	-0.272
Pb_ppm	0.380	0.382	0.592	-0.126	-0.505
Rb_ppm	-0.043	0.754	0.336	0.321	-0.104
S_perc	0.615	-0.086	0.158	-0.437	-0.358
Sb_ppm	0.263	0.113	0.335	-0.276	-0.579
Sc_ppm	0.840	0.121	0.332	-0.310	-0.132
Se_ppm	0.121	-0.136	0.426	-0.165	-0.194
Sn_ppm	0.206	0.212	0.620	-0.410	-0.382
Sr_ppm	0.025	0.118	0.028	-0.246	-0.749
Te_ppm	0.530	0.065	0.476	-0.122	-0.212
Th_ppm	0.263	0.247	0.423	-0.695	-0.149
Tl_ppm	0.202	0.519	0.579	-0.088	-0.492
U_ppm	0.560	0.370	0.513	-0.155	-0.134
V_ppm	0.849	-0.060	0.216	-0.365	-0.090
W_ppm	0.304	0.294	0.656	0.007	-0.343
Y_ppm	0.410	0.666	0.329	-0.204	-0.023
Zn_ppm	0.691	0.291	0.432	-0.238	-0.270
Zr_ppm	0.419	0.075	0.376	-0.716	-0.206

Tabela 47: Malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira – *Proportion of variables explained by varimax Factor* da zona do granito Amapari.

Variable	1	2	3	4	5
Ag_ppm	0.148	0.209	0.764	0.816	0.819
Al_perc	0.317	0.338	0.357	0.816	0.877
As_ppm	0.446	0.446	0.664	0.684	0.715
Au_ppb	0.038	0.058	0.077	0.077	0.351
Ba_ppm	0.124	0.327	0.435	0.438	0.879
Be_ppm	0.449	0.549	0.648	0.686	0.793
Bi_ppm	0.098	0.135	0.743	0.754	0.782
Ce_ppm	0.014	0.568	0.636	0.713	0.860
Co_ppm	0.357	0.517	0.600	0.612	0.879
Cr_ppm	0.824	0.834	0.835	0.835	0.836
Cs_ppm	0.001	0.566	0.592	0.677	0.697

Cu_ppm	0.627	0.666	0.806	0.845	0.913
Fe_perc	0.649	0.651	0.781	0.911	0.962
Ga_ppm	0.339	0.340	0.384	0.884	0.941
Hf_ppm	0.074	0.081	0.286	0.674	0.682
Hg_ppm	0.072	0.073	0.100	0.339	0.599
La_ppm	0.001	0.546	0.576	0.683	0.722
Li_ppm	0.062	0.633	0.651	0.713	0.716
Mn_ppm	0.128	0.275	0.557	0.563	0.910
Mo_ppm	0.055	0.068	0.576	0.661	0.681
Nb_ppm	0.017	0.216	0.792	0.869	0.869
Ni_ppm	0.692	0.764	0.777	0.818	0.863
P_ppm	0.500	0.527	0.637	0.666	0.740
Pb_ppm	0.144	0.290	0.641	0.657	0.912
Rb_ppm	0.002	0.570	0.683	0.786	0.797
S_perc	0.379	0.386	0.411	0.602	0.730
Sb_ppm	0.069	0.082	0.194	0.271	0.606
Sc_ppm	0.706	0.721	0.831	0.927	0.944
Se_ppm	0.015	0.033	0.215	0.242	0.280
Sn_ppm	0.043	0.088	0.472	0.641	0.786
Sr_ppm	0.001	0.014	0.015	0.076	0.637
Te_ppm	0.281	0.285	0.512	0.527	0.572
Th_ppm	0.069	0.130	0.309	0.792	0.815
Tl_ppm	0.041	0.310	0.645	0.653	0.895
U_ppm	0.314	0.451	0.713	0.737	0.756
V_ppm	0.721	0.724	0.771	0.904	0.912
W_ppm	0.092	0.179	0.609	0.609	0.727
Y_ppm	0.168	0.612	0.720	0.761	0.762
Zn_ppm	0.478	0.562	0.749	0.806	0.879
Zr_ppm	0.175	0.181	0.322	0.835	0.877

A PCA da zona do granito Amapari indicam 5 Eigenvalues (Tabela 42) maiores que 1 (1,53), portanto pelo critério de Kaiser (in StatSoft 2001), somente 5 PC devem ser considerados na aplicação do *VPC* (Tabela 46). O primeiro fator extraiu 53,4 %, praticamente a metade do total das amostras e os demais fatores, os 46,6 restantes.

No PC 1 estão selecionados os valores iguais ou acima de 0,67 (Anexos 30 a 32 e Figuras 50 a, b e c), no PC 2 os valores iguais ou acima de 0,61, enquanto no PC 3 são valores iguais ou acima de 0,63, com a seguinte associação de elementos químicos:

PC 1 – Cr, V, Sc, Ni, Fe, Cu, Pb, Zn, As

Correlação negativa – não tem

PC 2 – Li, Rb, Cs, Ce, La, Y

Correlação negativa – Se, V, Cs

PC 3 – Bi, Nb, Ag, Mo, W

Correlação negativa – La e Cr

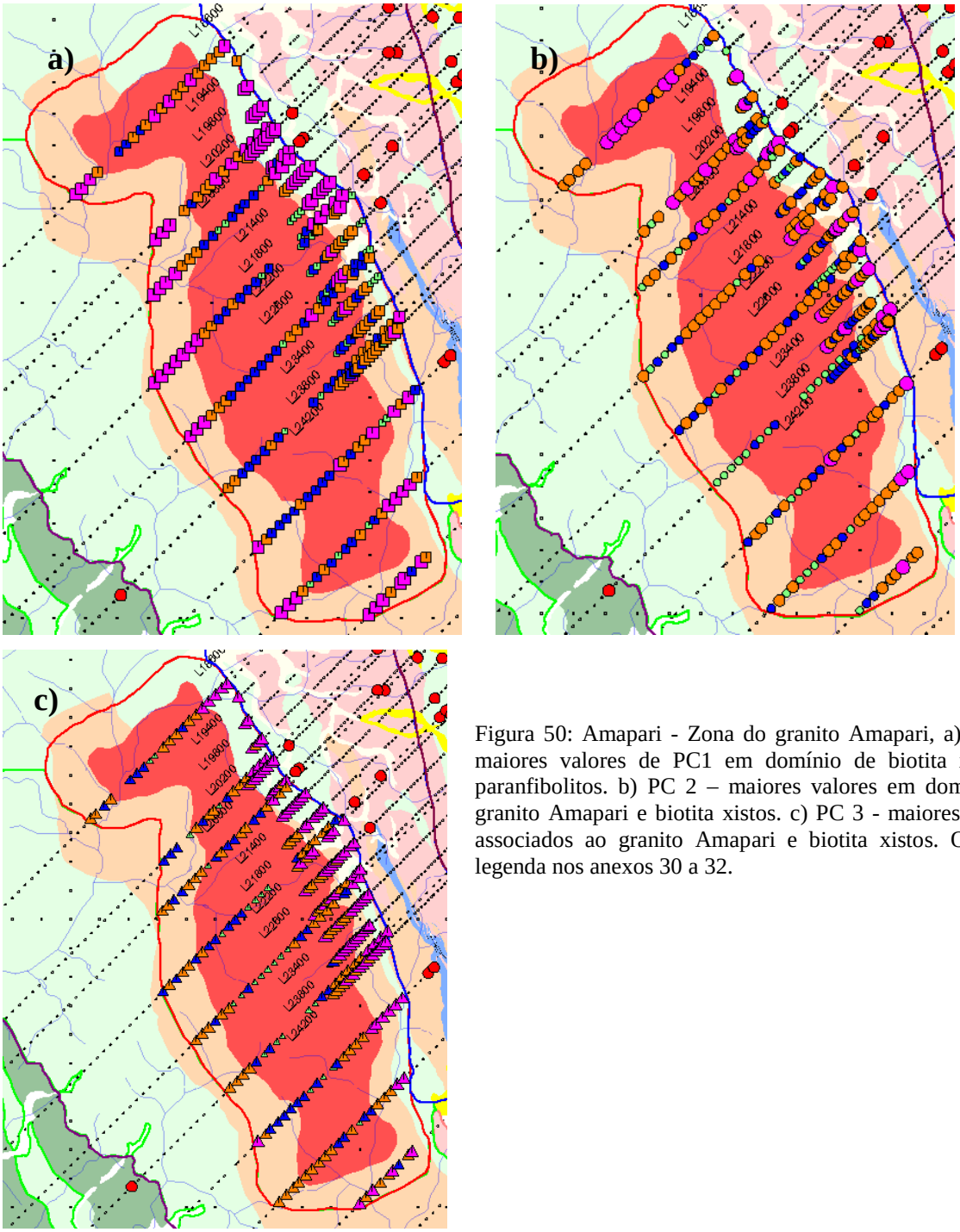


Figura 50: Amapari - Zona do granito Amapari, a) PC 1 - maiores valores de PC1 em domínio de biotita xistos e paranfibolitos. b) PC 2 – maiores valores em domínio do granito Amapari e biotita xistos. c) PC 3 - maiores valores associados ao granito Amapari e biotita xistos. Observar legenda nos anexos 30 a 32.

VI.7.4 Zona das rochas metassedimentares

Os dados obtidos nessa zona são apresentados nas tabelas a seguir:

Tabela 48: Informações da análise de Componentes Principais da zona das rochas metassedimentares.

Number of channels included: 40
Number of principal components displayed: 10
Number of rows of data: 858
Msed
Data Transformations

Ag_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Al_perc	Logarithmic Normal Distribution
As_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Au_ppb	Logarithmic Normal Distribution
Ba_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Be_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Bi_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Ce_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Co_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Cr_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Cs_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Cu_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Fe_perc	Logarithmic Normal Distribution
Ga_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Hf_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Hg_ppm	Logarithmic Normal Distribution
La_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Li_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Mn_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Mo_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Nb_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Ni_ppm	Logarithmic Normal Distribution
P_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Pb_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Rb_ppm	Logarithmic Normal Distribution
S_perc	Logarithmic Normal Distribution
Sb_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Sc_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Se_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Sn_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Sr_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Te_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Th_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Tl_ppm	Logarithmic Normal Distribution
U_ppm	Logarithmic Normal Distribution
V_ppm	Logarithmic Normal Distribution
W_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Y_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Zn_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Zr_ppm	Logarithmic Normal Distribution

Tabela 49: Malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira – a correlação dos dados padronizados da zona das rochas metassedimentares encontra-se no anexo 34.

Tabela 50: Malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira – *Eigenvalues* de matriz de correlação da zona das rochas metassedimentares.

Factor	Eigenvalue	cum. %
1	12.723	31.8
2	6.476	48.0
3	3.217	56.0
4	3.040	63.6
5	1.964	68.5
6	1.330	71.9
7	1.081	74.6
8	0.906	76.8
9	0.865	79.0
10	0.727	80.8
11	0.712	82.6
12	0.590	84.1
13	0.526	85.4
14	0.466	86.6
15	0.459	87.7
16	0.406	88.7
17	0.395	89.7
18	0.355	90.6
19	0.345	91.5
20	0.324	92.3
21	0.304	93.0
22	0.274	93.7
23	0.256	94.4
24	0.248	95.0
25	0.230	95.5
26	0.216	96.1
27	0.205	96.6
28	0.185	97.1
29	0.165	97.5
30	0.154	97.9
31	0.135	98.2
32	0.127	98.5
33	0.116	98.8
34	0.105	99.1
35	0.095	99.3
36	0.087	99.5
37	0.059	99.7
38	0.054	99.8
39	0.042	99.9
40	0.036	100.0

Tabela 51: Malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira – *Eigenvectors* de matriz de correlação da zona das rochas metassedimentares.

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9	PC10
Ag_ppm	0.203	0.024	-0.233	-0.136	-0.079	-0.098	-0.018	0.034	0.090	0.024
Al_perc	0.149	-0.246	0.159	-0.073	-0.108	0.019	0.003	-0.086	-0.038	0.091
As_ppm	0.132	0.071	-0.273	-0.057	0.008	0.289	0.113	0.174	0.241	0.064
Au_ppb	0.048	0.053	-0.002	-0.008	0.068	0.570	-0.136	-0.437	0.379	0.057
Ba_ppm	0.119	0.204	0.198	0.059	-0.001	0.056	-0.376	0.098	0.036	0.020
Be_ppm	0.171	0.191	-0.013	0.124	-0.043	0.156	0.160	0.089	-0.132	-0.175
Bi_ppm	0.014	0.084	-0.132	-0.012	-0.530	-0.187	-0.239	0.029	-0.166	0.012
Ce_ppm	0.134	0.221	0.162	0.016	0.025	-0.008	-0.151	-0.301	0.037	0.139
Co_ppm	0.207	0.162	0.097	0.079	0.207	-0.072	-0.088	-0.037	-0.069	0.114
Cr_ppm	0.165	-0.036	-0.177	0.149	0.089	-0.342	0.178	-0.222	0.161	0.187
Cs_ppm	0.032	0.216	0.255	-0.141	-0.030	-0.207	0.318	0.157	0.137	0.163
Cu_ppm	0.226	0.050	-0.104	0.157	0.115	0.041	0.051	0.209	-0.056	0.141
Fe_perc	0.253	-0.119	-0.041	0.044	0.045	-0.013	0.004	0.048	-0.070	-0.087
Ga_ppm	0.198	-0.242	0.045	-0.061	-0.092	0.020	-0.026	-0.035	-0.035	0.087
Hf_ppm	0.162	-0.264	0.090	-0.077	-0.064	0.000	0.030	-0.159	-0.099	0.126
Hg_ppm	0.159	-0.207	0.154	0.161	-0.154	-0.067	-0.083	-0.055	0.107	-0.034
La_ppm	-0.049	0.039	0.187	0.405	-0.270	-0.042	-0.016	-0.159	0.216	-0.075
Li_ppm	0.054	0.129	0.345	-0.048	-0.141	0.169	0.346	-0.109	-0.058	0.189
Mn_ppm	0.196	0.104	0.198	-0.023	0.152	-0.082	-0.302	0.060	-0.135	-0.081
Mo_ppm	0.127	0.033	-0.242	-0.177	-0.198	-0.127	0.140	-0.063	0.320	-0.142
Nb_ppm	0.109	0.036	0.024	-0.433	-0.043	0.019	0.068	-0.099	-0.026	-0.050
Ni_ppm	0.209	0.088	0.016	0.203	0.138	0.011	0.071	-0.011	-0.028	0.126
P_ppm	0.202	0.070	0.004	-0.024	0.109	0.010	0.075	-0.064	0.048	-0.573
Pb_ppm	0.147	0.204	-0.086	-0.136	-0.094	-0.105	-0.287	-0.054	0.063	0.047
Rb_ppm	-0.020	0.275	0.181	-0.166	-0.152	-0.135	0.254	0.103	0.193	0.121
S_perc	0.092	-0.152	0.165	0.280	-0.112	0.029	0.109	0.153	0.227	-0.382
Sb_ppm	0.137	-0.096	0.158	-0.217	0.134	-0.223	-0.071	0.094	0.318	-0.258
Sc_ppm	0.233	-0.025	-0.072	0.078	0.131	0.081	0.139	0.145	-0.149	0.126
Se_ppm	-0.025	0.187	-0.171	0.191	-0.221	0.188	-0.081	0.338	0.179	0.158
Sn_ppm	0.159	-0.040	0.060	-0.165	-0.314	0.305	0.145	0.081	-0.135	-0.087
Sr_ppm	0.133	-0.067	0.190	-0.213	0.075	0.000	-0.227	0.234	0.277	0.174
Te_ppm	0.202	-0.002	-0.227	0.045	-0.087	-0.050	-0.153	0.119	0.107	0.088
Th_ppm	0.183	-0.149	-0.008	0.049	-0.289	0.048	-0.035	-0.062	-0.053	0.080
Tl_ppm	0.110	0.239	0.255	-0.018	-0.122	0.042	-0.071	0.099	-0.168	-0.118
U_ppm	0.125	0.204	-0.154	0.082	-0.169	-0.187	0.072	-0.320	-0.163	-0.087
V_ppm	0.232	-0.165	-0.074	0.014	0.100	-0.020	0.096	0.074	-0.004	0.091
W_ppm	0.076	0.193	-0.191	-0.265	0.056	0.148	-0.019	-0.090	-0.210	-0.163
Y_ppm	0.172	0.200	-0.060	0.128	0.119	-0.089	0.094	-0.225	0.083	0.031
Zn_ppm	0.229	0.066	0.027	0.156	0.068	0.067	0.090	0.116	-0.137	-0.071
Zr_ppm	0.181	-0.264	0.069	-0.081	-0.058	0.036	-0.006	-0.049	-0.077	0.093

Tabela 52: Malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira – *Principal component Loadings da* zona das rochas metassedimentares.

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9	PC10
Ag_ppm	0.723	0.060	-0.417	-0.237	-0.111	-0.113	-0.019	0.033	0.084	0.021
Al_perc	0.530	-0.626	0.285	-0.127	-0.151	0.022	0.003	-0.082	-0.036	0.077
As_ppm	0.471	0.181	-0.490	-0.100	0.011	0.333	0.117	0.165	0.224	0.055
Au_ppb	0.172	0.136	-0.003	-0.015	0.095	0.657	-0.141	-0.416	0.352	0.049
Ba_ppm	0.425	0.518	0.356	0.102	-0.001	0.065	-0.391	0.093	0.034	0.017
Be_ppm	0.609	0.487	-0.024	0.217	-0.060	0.180	0.167	0.085	-0.123	-0.149
Bi_ppm	0.049	0.214	-0.238	-0.020	-0.743	-0.216	-0.249	0.027	-0.154	0.010
Ce_ppm	0.479	0.563	0.290	0.027	0.036	-0.009	-0.157	-0.286	0.034	0.118
Co_ppm	0.737	0.413	0.173	0.137	0.291	-0.083	-0.091	-0.035	-0.065	0.098
Cr_ppm	0.588	-0.092	-0.318	0.261	0.124	-0.395	0.185	-0.211	0.150	0.159
Cs_ppm	0.115	0.550	0.458	-0.246	-0.042	-0.239	0.330	0.149	0.127	0.139
Cu_ppm	0.805	0.128	-0.187	0.274	0.161	0.047	0.053	0.199	-0.052	0.120
Fe_perc	0.902	-0.303	-0.074	0.076	0.063	-0.015	0.004	0.046	-0.065	-0.074
Ga_ppm	0.707	-0.616	0.081	-0.106	-0.129	0.023	-0.027	-0.033	-0.033	0.074
Hf_ppm	0.576	-0.671	0.161	-0.135	-0.090	0.000	0.031	-0.151	-0.092	0.107
Hg_ppm	0.567	-0.528	0.277	0.281	-0.216	-0.078	-0.087	-0.052	0.099	-0.029
La_ppm	-0.173	0.098	0.336	0.705	-0.378	-0.049	-0.017	-0.151	0.201	-0.064
Li_ppm	0.191	0.329	0.619	-0.083	-0.198	0.195	0.360	-0.103	-0.054	0.161
Mn_ppm	0.701	0.264	0.355	-0.039	0.213	-0.095	-0.314	0.057	-0.126	-0.069
Mo_ppm	0.451	0.083	-0.434	-0.309	-0.278	-0.147	0.145	-0.060	0.297	-0.121
Nb_ppm	0.388	0.092	0.043	-0.754	-0.060	0.022	0.071	-0.094	-0.024	-0.042
Ni_ppm	0.745	0.224	0.029	0.355	0.193	0.013	0.074	-0.011	-0.026	0.108
P_ppm	0.722	0.178	0.007	-0.042	0.153	0.012	0.078	-0.061	0.045	-0.488
Pb_ppm	0.525	0.518	-0.155	-0.237	-0.131	-0.121	-0.299	-0.052	0.059	0.040
Rb_ppm	-0.071	0.700	0.324	-0.290	-0.213	-0.156	0.264	0.098	0.180	0.103
S_perc	0.327	-0.388	0.296	0.488	-0.158	0.033	0.113	0.145	0.211	-0.326
Sb_ppm	0.488	-0.245	0.283	-0.378	0.188	-0.258	-0.074	0.090	0.296	-0.220
Sc_ppm	0.831	-0.064	-0.129	0.136	0.184	0.093	0.145	0.138	-0.138	0.107
Se_ppm	-0.089	0.476	-0.306	0.333	-0.310	0.217	-0.085	0.322	0.166	0.134
Sn_ppm	0.566	-0.102	0.108	-0.288	-0.440	0.352	0.150	0.077	-0.125	-0.074
Sr_ppm	0.473	-0.172	0.341	-0.371	0.105	0.000	-0.236	0.223	0.257	0.148
Te_ppm	0.720	-0.004	-0.407	0.078	-0.122	-0.058	-0.159	0.113	0.099	0.075
Th_ppm	0.651	-0.379	-0.015	0.086	-0.406	0.055	-0.036	-0.059	-0.049	0.068
Tl_ppm	0.393	0.607	0.457	-0.031	-0.170	0.049	-0.074	0.094	-0.156	-0.100
U_ppm	0.445	0.519	-0.276	0.144	-0.237	-0.215	0.075	-0.305	-0.152	-0.074
V_ppm	0.827	-0.421	-0.132	0.025	0.140	-0.023	0.099	0.070	-0.004	0.078
W_ppm	0.272	0.491	-0.343	-0.462	0.079	0.171	-0.019	-0.086	-0.196	-0.139
Y_ppm	0.613	0.509	-0.108	0.223	0.167	-0.103	0.098	-0.214	0.078	0.027
Zn_ppm	0.816	0.168	0.048	0.273	0.095	0.078	0.093	0.110	-0.127	-0.061
Zr_ppm	0.647	-0.672	0.125	-0.141	-0.081	0.041	-0.006	-0.046	-0.071	0.079

Tabela 53: Malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira – *Proportion of variables explained by factors* da matriz de correlação da zona das rochas metassedimentares.

Variable	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ag_ppm	0.523	0.527	0.701	0.757	0.770	0.782	0.783	0.784	0.791	0.791
Al_perc	0.281	0.673	0.755	0.771	0.794	0.794	0.794	0.801	0.802	0.808
As_ppm	0.222	0.254	0.494	0.504	0.504	0.615	0.629	0.656	0.707	0.710
Au_ppb	0.030	0.048	0.048	0.048	0.057	0.489	0.509	0.682	0.807	0.809
Ba_ppm	0.181	0.450	0.576	0.587	0.587	0.591	0.744	0.752	0.753	0.754
Be_ppm	0.371	0.608	0.608	0.655	0.659	0.691	0.719	0.727	0.742	0.764
Bi_ppm	0.002	0.048	0.104	0.105	0.657	0.704	0.766	0.766	0.790	0.790
Ce_ppm	0.229	0.547	0.631	0.631	0.633	0.633	0.657	0.739	0.740	0.754
Co_ppm	0.543	0.713	0.743	0.762	0.847	0.854	0.862	0.863	0.867	0.877
Cr_ppm	0.346	0.355	0.456	0.524	0.539	0.695	0.729	0.774	0.796	0.821
Cs_ppm	0.013	0.315	0.525	0.586	0.587	0.644	0.753	0.776	0.792	0.811
Cu_ppm	0.647	0.664	0.698	0.773	0.799	0.802	0.804	0.844	0.847	0.861
Fe_perc	0.814	0.905	0.911	0.917	0.921	0.921	0.921	0.923	0.927	0.933
Ga_ppm	0.500	0.879	0.885	0.896	0.913	0.913	0.914	0.915	0.916	0.922
Hf_ppm	0.332	0.782	0.807	0.826	0.834	0.834	0.835	0.858	0.866	0.877
Hg_ppm	0.322	0.600	0.677	0.756	0.802	0.808	0.816	0.819	0.828	0.829
La_ppm	0.030	0.040	0.152	0.650	0.793	0.795	0.795	0.818	0.859	0.863
Li_ppm	0.036	0.145	0.528	0.535	0.574	0.612	0.742	0.752	0.755	0.781
Mn_ppm	0.491	0.561	0.687	0.689	0.734	0.743	0.842	0.845	0.861	0.866
Mo_ppm	0.204	0.211	0.399	0.494	0.571	0.593	0.614	0.618	0.706	0.721
Nb_ppm	0.151	0.159	0.161	0.730	0.734	0.734	0.739	0.748	0.749	0.750
Ni_ppm	0.555	0.605	0.606	0.731	0.769	0.769	0.774	0.774	0.775	0.787
P_ppm	0.521	0.553	0.553	0.555	0.578	0.578	0.584	0.588	0.590	0.828
Pb_ppm	0.276	0.544	0.568	0.624	0.642	0.656	0.745	0.748	0.752	0.753
Rb_ppm	0.005	0.495	0.600	0.684	0.729	0.754	0.823	0.833	0.865	0.876
S_perc	0.107	0.257	0.345	0.583	0.608	0.609	0.622	0.643	0.687	0.793
Sb_ppm	0.238	0.298	0.379	0.521	0.556	0.623	0.628	0.636	0.724	0.772
Sc_ppm	0.690	0.694	0.711	0.729	0.763	0.772	0.793	0.812	0.831	0.842
Se_ppm	0.008	0.234	0.328	0.439	0.535	0.582	0.589	0.693	0.721	0.739
Sn_ppm	0.320	0.330	0.342	0.425	0.619	0.743	0.766	0.772	0.787	0.793
Sr_ppm	0.224	0.253	0.369	0.507	0.518	0.518	0.574	0.624	0.690	0.712
Te_ppm	0.518	0.518	0.684	0.690	0.705	0.708	0.733	0.746	0.756	0.761
Th_ppm	0.424	0.568	0.568	0.576	0.740	0.743	0.745	0.748	0.750	0.755
Tl_ppm	0.154	0.523	0.732	0.733	0.762	0.765	0.770	0.779	0.803	0.813
U_ppm	0.198	0.467	0.543	0.564	0.620	0.666	0.672	0.764	0.787	0.793
V_ppm	0.684	0.861	0.879	0.879	0.899	0.899	0.909	0.914	0.914	0.920
W_ppm	0.074	0.316	0.433	0.647	0.653	0.682	0.683	0.690	0.728	0.748
Y_ppm	0.376	0.635	0.647	0.696	0.724	0.735	0.745	0.791	0.797	0.797
Zn_ppm	0.665	0.694	0.696	0.770	0.779	0.785	0.794	0.806	0.822	0.826
Zr_ppm	0.418	0.870	0.885	0.905	0.912	0.913	0.914	0.916	0.921	0.927

Tabela 54: Malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira – *Varimax Principal component loading* da zona das rochas metassedimentares.

Ag_ppm	0.057	-0.325	-0.553	-0.476	-0.366	-0.028	-0.080
Al_perc	0.025	-0.888	-0.024	0.023	0.057	-0.008	0.013
As_ppm	-0.132	-0.033	-0.521	-0.387	-0.184	0.386	-0.078
Au_ppb	0.156	-0.003	-0.106	-0.087	0.103	0.675	-0.025
Ba_ppm	0.746	0.036	-0.281	0.082	-0.119	0.174	0.235
Be_ppm	0.177	0.018	-0.695	0.017	-0.176	0.271	0.317
Bi_ppm	0.070	0.021	0.081	0.011	-0.864	-0.076	0.033
Ce_ppm	0.591	0.054	-0.401	-0.032	-0.085	0.085	0.358
Co_ppm	0.550	-0.091	-0.710	-0.057	0.093	-0.009	0.184
Cr_ppm	-0.105	-0.235	-0.705	-0.007	-0.085	-0.361	-0.170
Cs_ppm	0.222	0.156	-0.100	-0.127	0.037	-0.224	0.776
Cu_ppm	0.157	-0.243	-0.838	-0.023	-0.040	0.114	-0.061
Fe_perc	0.114	-0.691	-0.636	-0.089	-0.017	0.018	-0.131
Ga_ppm	0.011	-0.919	-0.224	-0.073	-0.030	0.017	-0.116
Hf_ppm	-0.043	-0.899	-0.105	-0.046	0.071	-0.035	-0.076
Hg_ppm	0.112	-0.781	-0.206	0.371	-0.070	-0.063	-0.073
La_ppm	0.057	0.113	0.026	0.839	-0.221	0.000	0.160
Li_ppm	0.138	-0.110	-0.046	0.122	0.078	0.195	0.806
Mn_ppm	0.731	-0.274	-0.437	-0.098	0.080	-0.023	0.160
Mo_ppm	-0.161	-0.194	-0.343	-0.467	-0.453	-0.080	0.052
Nb_ppm	0.136	-0.314	-0.006	-0.711	-0.072	0.030	0.333
Ni_ppm	0.261	-0.177	-0.803	0.121	0.050	0.075	0.087
P_ppm	0.239	-0.267	-0.617	-0.216	0.027	0.057	0.158
Pb_ppm	0.491	0.037	-0.383	-0.398	-0.432	0.014	0.108
Rb_ppm	0.181	0.358	0.033	-0.170	-0.170	-0.113	0.769
S_perc	-0.055	-0.500	-0.209	0.567	0.046	0.025	0.027
Sb_ppm	0.302	-0.550	-0.092	-0.309	0.206	-0.282	0.093
Sc_ppm	0.059	-0.429	-0.757	-0.106	0.070	0.122	-0.032
Se_ppm	-0.013	0.454	-0.183	0.187	-0.459	0.322	-0.014
Sn_ppm	-0.032	-0.589	-0.142	-0.208	-0.285	0.391	0.347
Sr_ppm	0.434	-0.531	-0.007	-0.272	0.146	0.000	0.091
Te_ppm	0.118	-0.323	-0.607	-0.184	-0.385	0.044	-0.251
Th_ppm	-0.011	-0.724	-0.282	0.092	-0.345	0.110	-0.043
Tl_ppm	0.561	0.032	-0.243	0.031	-0.169	0.143	0.588
U_ppm	0.110	0.163	-0.588	-0.078	-0.490	-0.090	0.180
V_ppm	-0.031	-0.706	-0.591	-0.144	0.083	-0.024	-0.180
W_ppm	0.138	0.220	-0.273	-0.667	-0.170	0.232	0.115
Y_ppm	0.262	0.115	-0.789	-0.057	-0.081	-0.017	0.171
Zn_ppm	0.237	-0.301	-0.777	0.071	-0.007	0.142	0.138
Zr_ppm	-0.014	-0.931	-0.154	-0.079	0.055	0.014	-0.114

Tabela 55: Malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira – *Proportion of variables explained by varimax Factor* da zona das rochas metassedimentares.

Variable	1	2	3	4	5	6	7
Ag_ppm	0.003	0.109	0.414	0.641	0.775	0.776	0.783
Al_perc	0.001	0.790	0.790	0.791	0.794	0.794	0.794
As_ppm	0.018	0.019	0.290	0.440	0.474	0.623	0.629
Au_ppb	0.024	0.024	0.036	0.043	0.054	0.509	0.509
Ba_ppm	0.557	0.558	0.637	0.644	0.658	0.688	0.744
Be_ppm	0.031	0.032	0.514	0.514	0.546	0.619	0.719
Bi_ppm	0.005	0.005	0.012	0.012	0.759	0.765	0.766
Ce_ppm	0.350	0.353	0.514	0.515	0.522	0.529	0.657
Co_ppm	0.303	0.311	0.816	0.819	0.828	0.828	0.862
Cr_ppm	0.011	0.066	0.563	0.563	0.570	0.700	0.729
Cs_ppm	0.049	0.073	0.083	0.100	0.101	0.151	0.753
Cu_ppm	0.025	0.084	0.785	0.786	0.788	0.801	0.804
Fe_perc	0.013	0.491	0.895	0.903	0.904	0.904	0.921
Ga_ppm	0.000	0.844	0.894	0.900	0.901	0.901	0.914
Hf_ppm	0.002	0.809	0.820	0.823	0.828	0.829	0.835
Hg_ppm	0.012	0.622	0.664	0.802	0.807	0.811	0.816
La_ppm	0.003	0.016	0.017	0.721	0.770	0.770	0.795
Li_ppm	0.019	0.031	0.033	0.048	0.054	0.092	0.742
Mn_ppm	0.534	0.609	0.800	0.809	0.815	0.816	0.842
Mo_ppm	0.026	0.064	0.181	0.400	0.605	0.611	0.614
Nb_ppm	0.018	0.117	0.117	0.622	0.627	0.628	0.739
Ni_ppm	0.068	0.100	0.744	0.759	0.761	0.767	0.774
P_ppm	0.057	0.128	0.509	0.555	0.556	0.559	0.584
Pb_ppm	0.241	0.242	0.389	0.547	0.733	0.734	0.745
Rb_ppm	0.033	0.161	0.162	0.191	0.220	0.232	0.823
S_perc	0.003	0.253	0.297	0.619	0.621	0.621	0.622
Sb_ppm	0.091	0.394	0.403	0.498	0.540	0.620	0.628
Sc_ppm	0.003	0.187	0.760	0.772	0.777	0.792	0.793
Se_ppm	0.000	0.206	0.240	0.274	0.485	0.589	0.589
Sn_ppm	0.001	0.348	0.368	0.411	0.492	0.645	0.766
Sr_ppm	0.188	0.470	0.470	0.544	0.566	0.566	0.574
Te_ppm	0.014	0.118	0.486	0.520	0.668	0.670	0.733
Th_ppm	0.000	0.524	0.603	0.612	0.731	0.743	0.745
Tl_ppm	0.315	0.316	0.375	0.376	0.404	0.425	0.770
U_ppm	0.012	0.039	0.385	0.391	0.631	0.639	0.672
V_ppm	0.001	0.500	0.849	0.869	0.876	0.877	0.909
W_ppm	0.019	0.067	0.142	0.586	0.616	0.669	0.683
Y_ppm	0.069	0.082	0.705	0.709	0.715	0.715	0.745
Zn_ppm	0.056	0.147	0.750	0.755	0.755	0.775	0.794
Zr_ppm	0.000	0.867	0.891	0.897	0.900	0.901	0.914

A PCA da zona das rochas metassedimentares mostra 7 valores de Eigenvalues (Tabela 50) maiores que 1 (1,08), portanto pelo critério de Kaiser (in StatSoft 2001), 7 PC devem ser considerados na aplicação do *VPC* (Tabela 54). O primeiro fator extraiu 31,8 %, do total das amostras e os demais fatores, os 68,2 % restantes.

No PC 1 estão selecionados os valores iguais ou acima de 0,43 (Anexos 35 e 36, e Figuras 51 a e b), no PC 2 os valores iguais ou acima de 0,11. No PC 3 a maioria dos valores é negativa, portanto não estão incluídos na PCA. Os dois primeiros PC indicam a seguinte associação de elementos químicos:

PC 1 – Ba, Mn, Ce, Th, Co, Pb, Sr, Y, Ni, Zn

Correlação negativa – Mo, As, Cr, S

PC 2 – Se, Rb, W, Cs, Y, La

Correlação negativa – Zr, Ga, Hf, Al, Hg, Th, V

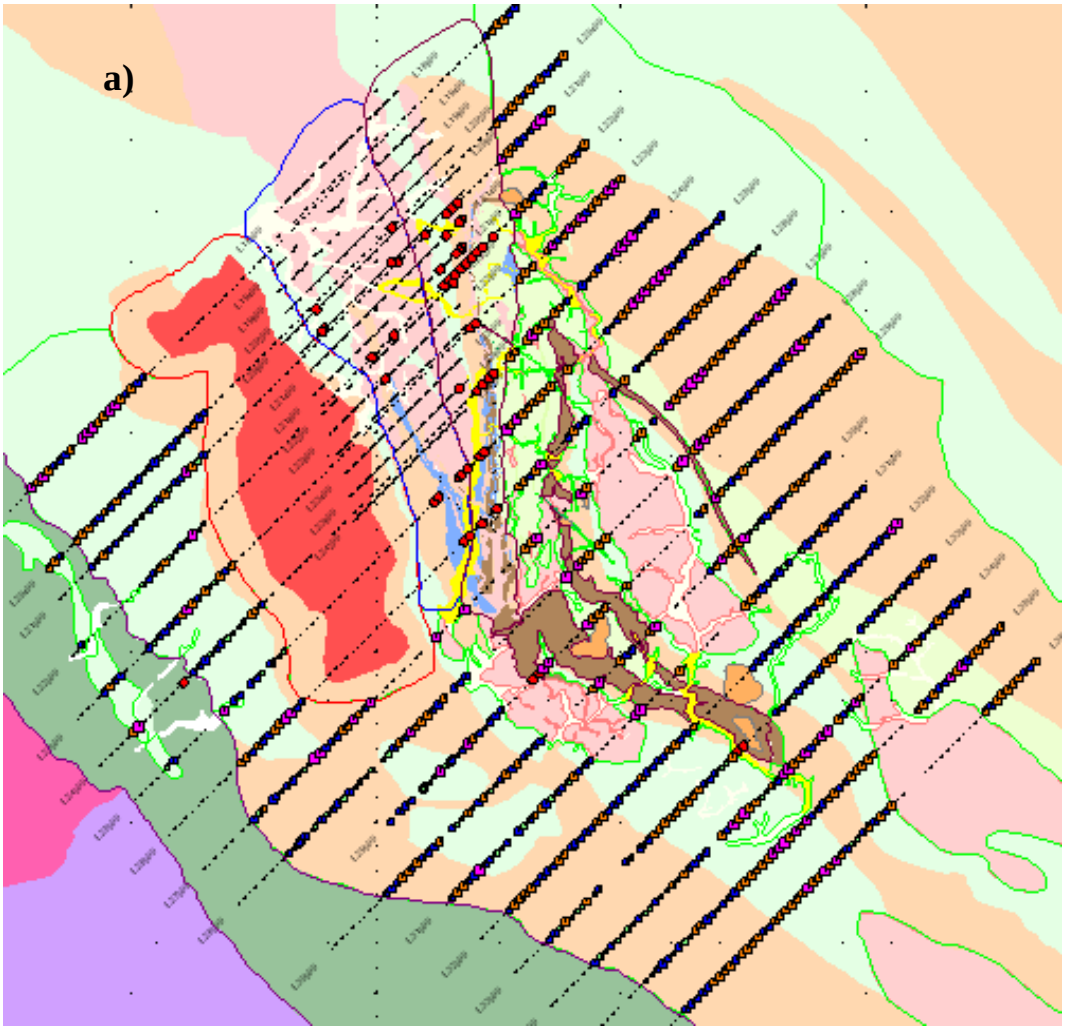


Figura 51: Amapari - zona das rochas metassedimentares, a) PC 1 – melhor associação com paranfibolitos e biotita xistos (vide legenda nos anexos 35 e 36)

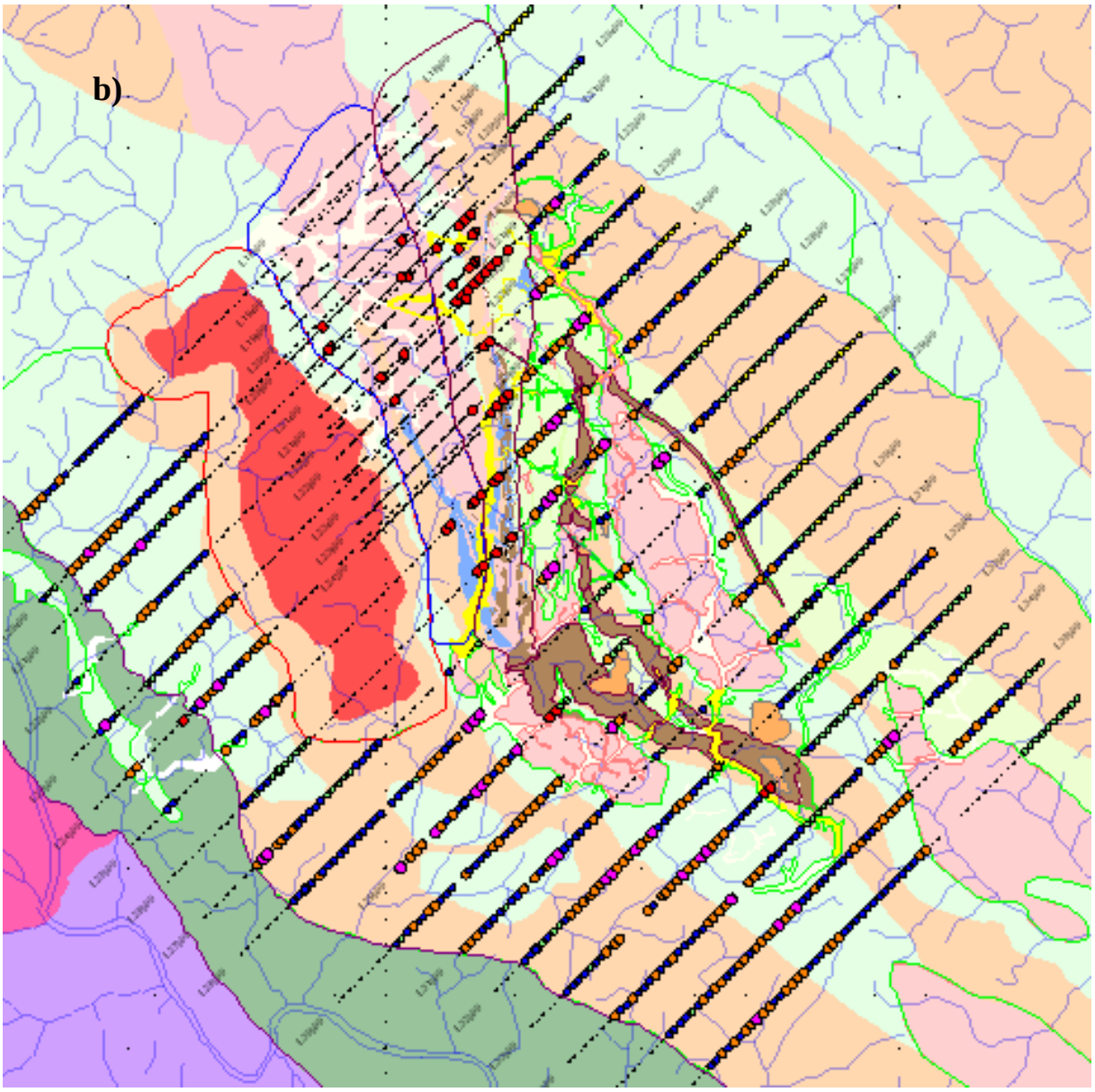


Figura 51: Amapari - zona das rochas metassedimentares, b) PC 2 - mostra melhor associação com o domínio do biotita xisto. Observar legenda no anexo 36

VI.7.5 Zona do ortoanfibolito

Os dados obtidos nessa zona são apresentados nas tabelas a seguir:

Tabela 56: Informações da análise de Componentes Principais da zona do ortoanfibolito.

Number of channels included: 40
Number of principal components displayed: 10
Number of rows of data: 138
Mafic
Data Transformations

Ag_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Al_perc	Logarithmic Normal Distribution
As_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Au_ppb	Logarithmic Normal Distribution
Ba_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Be_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Bi_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Ce_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Co_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Cr_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Cs_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Cu_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Fe_perc	Logarithmic Normal Distribution
Ga_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Hf_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Hg_ppm	Logarithmic Normal Distribution
La_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Li_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Mn_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Mo_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Nb_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Ni_ppm	Logarithmic Normal Distribution
P_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Pb_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Rb_ppm	Logarithmic Normal Distribution
S_perc	Logarithmic Normal Distribution
Sb_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Sc_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Se_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Sn_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Sr_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Te_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Th_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Tl_ppm	Logarithmic Normal Distribution
U_ppm	Logarithmic Normal Distribution
V_ppm	Logarithmic Normal Distribution
W_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Y_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Zn_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Zr_ppm	Logarithmic Normal Distribution

Tabela 57: Malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira – a correlação dos dados padronizados da zona do ortoanfibolito encontra-se no anexo 38.

Tabela 58: Malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira – *Eigenvalues* de matriz de correlação da zona do ortoanfibolito.

Factor	Eigenvalue	cum. %
1	11.677	29.2
2	5.890	43.9
3	4.255	54.6
4	3.967	64.5
5	2.753	71.4
6	1.225	74.4
7	0.966	76.8
8	0.918	79.1
9	0.795	81.1
10	0.740	83.0
11	0.717	84.8
12	0.592	86.2
13	0.545	87.6
14	0.494	88.8
15	0.460	90.0
16	0.443	91.1
17	0.384	92.1
18	0.331	92.9
19	0.310	93.7
20	0.284	94.4
21	0.261	95.0
22	0.224	95.6
23	0.216	96.1
24	0.199	96.6
25	0.174	97.0
26	0.153	97.4
27	0.142	97.8
28	0.130	98.1
29	0.112	98.4
30	0.096	98.6
31	0.091	98.9
32	0.084	99.1
33	0.076	99.3
34	0.070	99.4
35	0.060	99.6
36	0.044	99.7
37	0.041	99.8
38	0.033	99.9
39	0.028	99.9
40	0.022	100.0

Tabela 59: Malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira – *Eigenvectors* de matriz de correlação da zona do ortoanfibolito.

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9	PC10
Ag_ppm	0.195	-0.091	-0.272	-0.045	0.017	-0.076	-0.049	-0.026	-0.111	0.003
Al_perc	0.082	0.340	0.004	-0.151	-0.096	-0.088	0.047	-0.152	0.070	-0.131
As_ppm	0.082	-0.119	-0.178	0.086	-0.051	0.231	0.225	-0.463	-0.413	0.262
Au_ppb	0.032	0.041	0.000	-0.216	0.251	0.427	0.291	-0.139	-0.098	-0.062
Ba_ppm	0.160	-0.067	0.257	0.044	-0.137	-0.015	-0.158	-0.120	-0.058	0.229
Be_ppm	0.184	-0.053	0.088	0.170	-0.068	0.156	0.013	-0.024	0.299	0.031
Bi_ppm	0.015	0.000	-0.302	0.278	-0.204	-0.123	0.112	-0.012	0.008	0.085
Ce_ppm	0.211	-0.057	0.212	-0.017	-0.090	0.026	-0.113	-0.067	-0.007	-0.038
Co_ppm	0.243	-0.032	0.165	0.016	0.006	-0.008	-0.117	-0.141	0.054	0.094
Cr_ppm	0.183	-0.027	-0.012	0.128	0.190	0.007	0.400	-0.036	0.268	0.106
Cs_ppm	0.041	-0.215	0.067	-0.100	-0.322	0.076	0.398	0.271	0.003	-0.164
Cu_ppm	0.219	-0.032	0.103	0.106	0.180	-0.154	0.050	-0.030	-0.104	-0.086
Fe_perc	0.266	0.071	-0.115	-0.005	0.049	-0.003	-0.015	0.157	-0.058	-0.102
Ga_ppm	0.146	0.269	-0.167	-0.118	-0.067	-0.055	-0.042	-0.137	-0.039	-0.166
Hf_ppm	0.060	0.351	-0.052	-0.051	-0.038	-0.041	0.060	-0.125	0.278	-0.052
Hg_ppm	0.036	0.284	-0.096	0.219	-0.095	0.071	0.005	0.180	-0.137	-0.001
La_ppm	-0.022	0.127	0.202	0.366	-0.101	-0.119	0.068	0.002	-0.076	0.080
Li_ppm	0.006	0.142	0.239	-0.077	-0.337	-0.050	0.000	-0.109	0.283	0.050
Mn_ppm	0.234	-0.006	0.127	-0.158	0.039	-0.179	0.012	-0.081	-0.112	0.057
Mo_ppm	0.092	-0.067	-0.310	0.076	0.018	-0.092	0.054	0.159	0.175	0.314
Nb_ppm	0.095	-0.074	-0.205	-0.297	-0.140	0.102	-0.154	-0.018	0.130	-0.087
Ni_ppm	0.218	-0.010	0.122	0.161	0.063	0.017	0.073	-0.297	0.180	0.090
P_ppm	0.238	-0.051	-0.045	-0.127	-0.054	-0.024	-0.141	0.153	-0.086	0.045
Pb_ppm	0.190	-0.063	-0.084	0.005	-0.142	-0.181	-0.120	0.202	-0.095	0.240
Rb_ppm	0.048	-0.230	0.099	-0.052	-0.302	-0.096	0.403	0.139	0.073	-0.270
S_perc	0.033	0.232	0.148	0.194	-0.059	0.100	-0.103	0.191	-0.362	-0.127
Sb_ppm	0.127	0.175	0.074	-0.187	0.177	0.159	0.247	0.325	-0.122	0.298
Sc_ppm	0.263	0.034	0.010	-0.126	0.077	0.043	-0.035	0.033	-0.074	-0.172
Se_ppm	0.042	-0.201	-0.101	0.260	-0.017	0.148	-0.120	-0.161	-0.074	-0.536
Sn_ppm	0.008	0.125	-0.171	-0.102	-0.354	0.339	-0.004	-0.006	0.047	0.149
Sr_ppm	0.006	-0.052	-0.049	-0.244	-0.145	-0.544	0.217	-0.241	-0.285	-0.004
Te_ppm	0.171	-0.104	-0.209	0.238	0.018	0.039	0.119	0.013	0.005	-0.080
Th_ppm	0.076	0.178	-0.185	0.306	-0.131	-0.066	0.038	0.013	0.011	-0.013
Tl_ppm	0.083	0.047	0.239	0.014	-0.369	0.248	-0.004	-0.019	-0.235	0.069
U_ppm	0.249	-0.112	0.009	0.037	-0.044	0.069	-0.126	0.131	0.080	0.005
V_ppm	0.238	0.125	-0.108	-0.093	0.051	-0.035	-0.043	0.187	-0.069	-0.126
W_ppm	0.055	-0.270	-0.208	-0.125	-0.153	0.128	-0.247	-0.104	0.080	0.084
Y_ppm	0.260	-0.070	0.113	0.016	0.077	0.009	-0.035	-0.046	0.072	-0.035
Zn_ppm	0.255	0.009	0.076	0.037	0.134	-0.014	0.035	0.021	0.030	-0.087
Zr_ppm	0.065	0.343	-0.156	-0.064	-0.074	0.023	0.064	-0.163	0.055	-0.087

Tabela 60: Malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira – *Principal component Loadings da* zona do ortoanfibolito.

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9	PC10
Ag_ppm	0.666	-0.222	-0.562	-0.090	0.028	-0.084	-0.048	-0.025	-0.099	0.002
Al_perc	0.279	0.826	0.007	-0.302	-0.159	-0.097	0.046	-0.146	0.063	-0.113
As_ppm	0.281	-0.288	-0.367	0.171	-0.085	0.255	0.221	-0.444	-0.368	0.225
Au_ppb	0.108	0.100	0.000	-0.430	0.417	0.472	0.286	-0.133	-0.087	-0.054
Ba_ppm	0.546	-0.162	0.531	0.087	-0.227	-0.017	-0.156	-0.115	-0.052	0.197
Be_ppm	0.630	-0.128	0.181	0.338	-0.114	0.173	0.012	-0.023	0.267	0.027
Bi_ppm	0.053	0.001	-0.624	0.553	-0.339	-0.136	0.110	-0.012	0.007	0.073
Ce_ppm	0.723	-0.139	0.436	-0.033	-0.150	0.029	-0.111	-0.065	-0.006	-0.032
Co_ppm	0.831	-0.078	0.341	0.031	0.010	-0.009	-0.115	-0.135	0.048	0.081
Cr_ppm	0.626	-0.066	-0.026	0.255	0.315	0.008	0.393	-0.035	0.239	0.091
Cs_ppm	0.141	-0.523	0.138	-0.199	-0.535	0.084	0.391	0.260	0.002	-0.141
Cu_ppm	0.748	-0.077	0.213	0.212	0.298	-0.170	0.049	-0.029	-0.093	-0.074
Fe_perc	0.910	0.172	-0.238	-0.010	0.081	-0.003	-0.015	0.150	-0.051	-0.087
Ga_ppm	0.500	0.654	-0.345	-0.236	-0.111	-0.061	-0.041	-0.131	-0.035	-0.143
Hf_ppm	0.203	0.851	-0.108	-0.102	-0.062	-0.045	0.059	-0.120	0.248	-0.045
Hg_ppm	0.124	0.689	-0.199	0.435	-0.157	0.079	0.005	0.173	-0.122	-0.001
La_ppm	-0.073	0.308	0.417	0.728	-0.167	-0.132	0.067	0.002	-0.067	0.069
Li_ppm	0.021	0.344	0.492	-0.153	-0.559	-0.055	0.000	-0.104	0.253	0.043
Mn_ppm	0.801	-0.016	0.262	-0.316	0.065	-0.198	0.012	-0.078	-0.100	0.049
Mo_ppm	0.313	-0.163	-0.640	0.152	0.031	-0.101	0.053	0.152	0.156	0.271
Nb_ppm	0.324	-0.180	-0.424	-0.592	-0.232	0.113	-0.152	-0.017	0.116	-0.075
Ni_ppm	0.744	-0.025	0.251	0.320	0.104	0.018	0.072	-0.285	0.160	0.078
P_ppm	0.812	-0.124	-0.092	-0.253	-0.090	-0.027	-0.139	0.147	-0.077	0.038
Pb_ppm	0.649	-0.154	-0.172	0.010	-0.236	-0.201	-0.118	0.193	-0.085	0.206
Rb_ppm	0.162	-0.558	0.204	-0.104	-0.501	-0.106	0.396	0.133	0.065	-0.233
S_perc	0.112	0.562	0.306	0.386	-0.097	0.111	-0.102	0.183	-0.323	-0.109
Sb_ppm	0.433	0.425	0.153	-0.372	0.294	0.176	0.243	0.311	-0.108	0.256
Sc_ppm	0.898	0.082	0.021	-0.252	0.128	0.048	-0.034	0.032	-0.066	-0.148
Se_ppm	0.142	-0.489	-0.207	0.517	-0.028	0.164	-0.118	-0.154	-0.066	-0.461
Sn_ppm	0.028	0.304	-0.352	-0.202	-0.587	0.376	-0.004	-0.006	0.042	0.128
Sr_ppm	0.022	-0.127	-0.101	-0.486	-0.241	-0.602	0.213	-0.231	-0.254	-0.004
Te_ppm	0.586	-0.253	-0.431	0.473	0.030	0.044	0.117	0.012	0.005	-0.069
Th_ppm	0.258	0.432	-0.381	0.609	-0.218	-0.073	0.037	0.012	0.010	-0.011
Tl_ppm	0.284	0.114	0.494	0.029	-0.612	0.274	-0.004	-0.018	-0.210	0.059
U_ppm	0.851	-0.272	0.018	0.073	-0.074	0.076	-0.124	0.125	0.072	0.005
V_ppm	0.813	0.304	-0.223	-0.185	0.085	-0.039	-0.043	0.179	-0.061	-0.108
W_ppm	0.187	-0.655	-0.429	-0.249	-0.253	0.142	-0.243	-0.099	0.072	0.073
Y_ppm	0.890	-0.171	0.233	0.032	0.128	0.010	-0.034	-0.044	0.064	-0.030
Zn_ppm	0.871	0.022	0.157	0.073	0.222	-0.015	0.034	0.020	0.026	-0.075
Zr_ppm	0.224	0.833	-0.322	-0.127	-0.123	0.026	0.062	-0.156	0.049	-0.075

Tabela 61: Malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira – *Proportion of variables explained by factors* da matriz de correlação da zona do ortoanfibolito

Variable	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ag_ppm	0.443	0.492	0.808	0.816	0.817	0.824	0.826	0.827	0.836	0.836
Al_perc	0.078	0.760	0.760	0.851	0.876	0.886	0.888	0.909	0.913	0.926
As_ppm	0.079	0.162	0.296	0.326	0.333	0.398	0.447	0.644	0.780	0.830
Au_ppb	0.012	0.022	0.022	0.206	0.380	0.603	0.685	0.703	0.710	0.713
Ba_ppm	0.298	0.325	0.607	0.614	0.666	0.666	0.690	0.703	0.706	0.745
Be_ppm	0.396	0.413	0.445	0.560	0.573	0.603	0.603	0.603	0.674	0.675
Bi_ppm	0.003	0.003	0.392	0.697	0.812	0.831	0.843	0.843	0.843	0.848
Ce_ppm	0.522	0.542	0.732	0.733	0.756	0.757	0.769	0.773	0.773	0.774
Co_ppm	0.690	0.696	0.813	0.813	0.814	0.814	0.827	0.845	0.847	0.854
Cr_ppm	0.392	0.396	0.397	0.462	0.561	0.561	0.715	0.717	0.774	0.782
Cs_ppm	0.020	0.293	0.312	0.352	0.637	0.644	0.797	0.865	0.865	0.885
Cu_ppm	0.560	0.566	0.611	0.656	0.745	0.774	0.776	0.777	0.786	0.791
Fe_perc	0.828	0.857	0.914	0.914	0.920	0.920	0.921	0.943	0.946	0.954
Ga_ppm	0.250	0.678	0.797	0.852	0.865	0.868	0.870	0.887	0.888	0.909
Hf_ppm	0.041	0.765	0.777	0.787	0.791	0.793	0.796	0.811	0.872	0.874
Hg_ppm	0.015	0.490	0.529	0.719	0.744	0.750	0.750	0.780	0.795	0.795
La_ppm	0.005	0.100	0.274	0.805	0.833	0.850	0.854	0.854	0.859	0.864
Li_ppm	0.000	0.119	0.361	0.385	0.697	0.701	0.701	0.711	0.775	0.777
Mn_ppm	0.641	0.642	0.710	0.810	0.814	0.853	0.853	0.859	0.869	0.872
Mo_ppm	0.098	0.125	0.534	0.557	0.558	0.568	0.571	0.594	0.618	0.691
Nb_ppm	0.105	0.137	0.317	0.668	0.721	0.734	0.757	0.757	0.771	0.777
Ni_ppm	0.553	0.553	0.617	0.719	0.730	0.730	0.735	0.817	0.842	0.848
P_ppm	0.659	0.674	0.682	0.746	0.755	0.755	0.775	0.796	0.802	0.803
Pb_ppm	0.422	0.445	0.475	0.475	0.531	0.571	0.585	0.622	0.630	0.672
Rb_ppm	0.026	0.338	0.380	0.390	0.642	0.653	0.810	0.827	0.832	0.886
S_perc	0.013	0.329	0.422	0.571	0.581	0.593	0.603	0.637	0.741	0.753
Sb_ppm	0.188	0.368	0.392	0.530	0.616	0.647	0.706	0.803	0.815	0.880
Sc_ppm	0.807	0.814	0.814	0.878	0.894	0.896	0.898	0.899	0.903	0.925
Se_ppm	0.020	0.259	0.302	0.570	0.570	0.597	0.611	0.635	0.639	0.852
Sn_ppm	0.001	0.093	0.217	0.258	0.603	0.744	0.744	0.744	0.746	0.762
Sr_ppm	0.000	0.016	0.027	0.263	0.321	0.684	0.729	0.783	0.847	0.847
Te_ppm	0.343	0.407	0.593	0.817	0.818	0.820	0.834	0.834	0.834	0.838
Th_ppm	0.067	0.254	0.399	0.770	0.818	0.823	0.824	0.825	0.825	0.825
Tl_ppm	0.081	0.094	0.338	0.339	0.714	0.789	0.789	0.789	0.833	0.837
U_ppm	0.724	0.798	0.798	0.803	0.809	0.815	0.830	0.846	0.851	0.851
V_ppm	0.661	0.754	0.804	0.838	0.845	0.847	0.848	0.881	0.884	0.896
W_ppm	0.035	0.465	0.649	0.711	0.775	0.795	0.854	0.864	0.869	0.874
Y_ppm	0.792	0.822	0.876	0.877	0.893	0.893	0.894	0.896	0.900	0.901
Zn_ppm	0.758	0.759	0.783	0.789	0.838	0.838	0.839	0.839	0.840	0.846
Zr_ppm	0.050	0.744	0.848	0.864	0.879	0.880	0.884	0.908	0.911	0.916

Tabela 62: Malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira – *Varimax Principal component loading* da zona do ortoanfibolito.

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
Ag_ppm	0.507	0.124	-0.472	-0.534	0.181	-0.106
Al_perc	0.126	0.889	0.225	0.062	-0.107	-0.120
As_ppm	0.179	-0.114	-0.475	-0.277	-0.036	0.223
Au_ppb	0.113	0.146	0.401	-0.353	0.209	0.491
Ba_ppm	0.632	-0.153	0.102	0.170	-0.447	-0.069
Be_ppm	0.639	-0.073	-0.263	0.141	-0.254	0.186
Bi_ppm	-0.135	0.120	-0.881	0.073	0.005	-0.126
Ce_ppm	0.774	-0.051	0.109	0.010	-0.377	-0.024
Co_ppm	0.879	0.018	0.044	0.029	-0.193	0.000
Cr_ppm	0.661	-0.006	-0.208	0.058	0.242	0.135
Cs_ppm	0.109	-0.356	-0.055	-0.346	-0.602	-0.141
Cu_ppm	0.844	-0.044	-0.054	0.158	0.171	-0.043
Fe_perc	0.784	0.420	-0.271	-0.213	0.093	0.033
Ga_ppm	0.272	0.863	-0.107	-0.179	0.032	-0.077
Hf_ppm	0.050	0.870	0.070	0.165	0.028	-0.009
Hg_ppm	-0.023	0.635	-0.368	0.428	-0.022	0.163
La_ppm	0.026	0.016	-0.170	0.884	-0.195	-0.013
Li_ppm	-0.003	0.289	0.304	0.245	-0.652	-0.199
Mn_ppm	0.825	0.153	0.239	-0.193	-0.080	-0.220
Mo_ppm	0.166	0.068	-0.600	-0.314	0.267	-0.077
Nb_ppm	0.126	0.188	-0.070	-0.806	-0.153	-0.077
Ni_ppm	0.802	-0.003	-0.144	0.228	-0.053	0.105
P_ppm	0.719	0.167	-0.102	-0.416	-0.132	-0.101
Pb_ppm	0.549	0.091	-0.343	-0.228	-0.154	-0.262
Rb_ppm	0.174	-0.427	-0.074	-0.223	-0.545	-0.297
S_perc	0.119	0.380	0.001	0.604	-0.179	0.195
Sb_ppm	0.419	0.474	0.416	-0.115	0.119	0.217
Sc_ppm	0.843	0.308	0.058	-0.293	0.003	0.046
Se_ppm	0.151	-0.451	-0.576	0.023	0.000	0.199
Sn_ppm	-0.247	0.506	-0.241	-0.325	-0.480	0.181
Sr_ppm	-0.029	0.052	0.134	-0.356	-0.055	-0.730
Te_ppm	0.497	-0.074	-0.727	-0.083	0.142	0.112
Th_ppm	0.094	0.458	-0.686	0.364	0.017	0.013
Tl_ppm	0.251	0.114	0.092	0.178	-0.813	0.112
U_ppm	0.818	-0.058	-0.258	-0.205	-0.178	0.047
V_ppm	0.675	0.548	-0.111	-0.258	0.106	-0.020
W_ppm	0.066	-0.337	-0.346	-0.725	-0.172	-0.034
Y_ppm	0.939	-0.038	-0.019	-0.067	-0.064	0.041
Zn_ppm	0.900	0.130	-0.032	0.011	0.070	0.065
Zr_ppm	-0.002	0.933	-0.082	0.010	0.032	0.034

Tabela 63: Malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira – *Proportion of variables explained by varimax Factor* da zona do ortoanfibolito.

Variable	1	2	3	4	5	6
Ag_ppm	0.257	0.272	0.495	0.780	0.812	0.824
Al_perc	0.016	0.806	0.856	0.860	0.872	0.886
As_ppm	0.032	0.045	0.270	0.347	0.348	0.398
Au_ppb	0.013	0.034	0.194	0.319	0.362	0.603
Ba_ppm	0.399	0.422	0.433	0.462	0.661	0.666
Be_ppm	0.409	0.414	0.483	0.503	0.568	0.603
Bi_ppm	0.018	0.033	0.809	0.815	0.815	0.831
Ce_ppm	0.599	0.601	0.613	0.614	0.756	0.757
Co_ppm	0.773	0.774	0.776	0.776	0.814	0.814
Cr_ppm	0.437	0.437	0.480	0.484	0.542	0.561
Cs_ppm	0.012	0.139	0.142	0.262	0.624	0.644
Cu_ppm	0.713	0.715	0.718	0.743	0.772	0.774
Fe_perc	0.615	0.792	0.865	0.911	0.919	0.920
Ga_ppm	0.074	0.818	0.829	0.861	0.862	0.868
Hf_ppm	0.002	0.760	0.765	0.792	0.793	0.793
Hg_ppm	0.001	0.404	0.539	0.723	0.723	0.750
La_ppm	0.001	0.001	0.030	0.812	0.850	0.850
Li_ppm	0.000	0.084	0.176	0.236	0.661	0.701
Mn_ppm	0.680	0.703	0.761	0.798	0.804	0.853
Mo_ppm	0.028	0.032	0.392	0.491	0.562	0.568
Nb_ppm	0.016	0.051	0.056	0.705	0.728	0.734
Ni_ppm	0.644	0.644	0.665	0.716	0.719	0.730
P_ppm	0.516	0.544	0.555	0.728	0.745	0.755
Pb_ppm	0.301	0.309	0.427	0.479	0.502	0.571
Rb_ppm	0.030	0.213	0.218	0.268	0.565	0.653
S_perc	0.014	0.159	0.159	0.523	0.555	0.593
Sb_ppm	0.175	0.400	0.573	0.586	0.600	0.647
Sc_ppm	0.710	0.805	0.809	0.894	0.894	0.896
Se_ppm	0.023	0.226	0.557	0.558	0.558	0.597
Sn_ppm	0.061	0.317	0.375	0.481	0.711	0.744
Sr_ppm	0.001	0.004	0.021	0.148	0.151	0.684
Te_ppm	0.247	0.252	0.780	0.787	0.807	0.820
Th_ppm	0.009	0.219	0.690	0.823	0.823	0.823
Tl_ppm	0.063	0.076	0.084	0.116	0.776	0.789
U_ppm	0.669	0.672	0.739	0.781	0.812	0.815
V_ppm	0.456	0.756	0.768	0.835	0.846	0.847
W_ppm	0.004	0.118	0.238	0.764	0.794	0.795
Y_ppm	0.881	0.882	0.883	0.887	0.891	0.893
Zn_ppm	0.811	0.828	0.829	0.829	0.834	0.838
Zr_ppm	0.000	0.871	0.878	0.878	0.879	0.880

A PCA da zona do ortoanfibolito mostra 6 valores de Eigenvalues (Tabela 58) maiores que 1 (1,22), portanto pelo critério de Kaiser (in StatSoft 2001), 6 PC devem ser considerados na aplicação do *VPC* (Tabela 62). O primeiro fator extraiu 29,2 %, do total das amostras e os demais fatores, os 70,8 % restantes.

No PC 1 estão selecionados os valores iguais ou acima de 0,66 (Anexos 39 a 41, Figuras 52 a, b e c), no PC 2 os valores iguais ou acima de 0,51 e no PC 3 valores maiores ou iguais a 0,22, com a seguinte associação de elementos químicos:

PC 1 – Y, Zn, Co, Cu, Mn, Sc, Ni, Fe, Ce, P, V e Cr

Correlação negativa – Sn e Be

PC 2 – Zr, Al, Hf, Ga, Hg, V e Sn

Correlação negativa – Sr, Rb, Cs, W e Ba

PC 3 – Sb, Au, Li, Mn, Al

Correlação negativa – Bi, Te, Th, Mo e Se

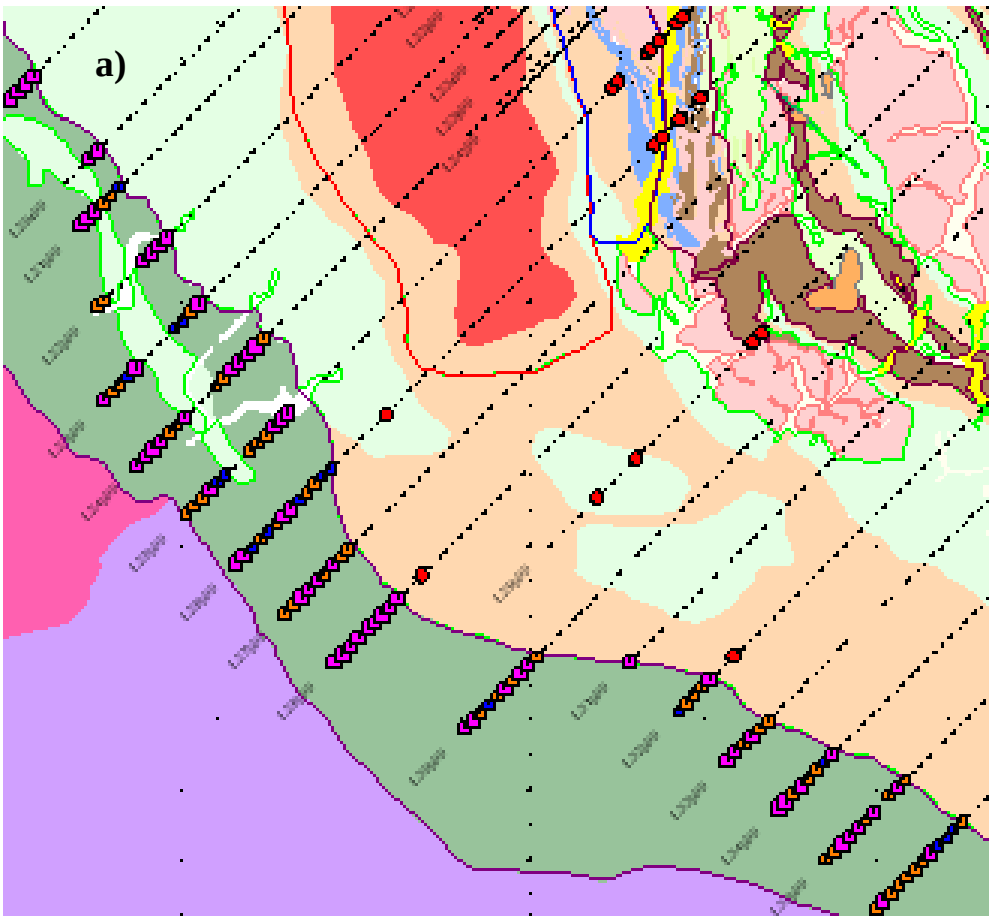
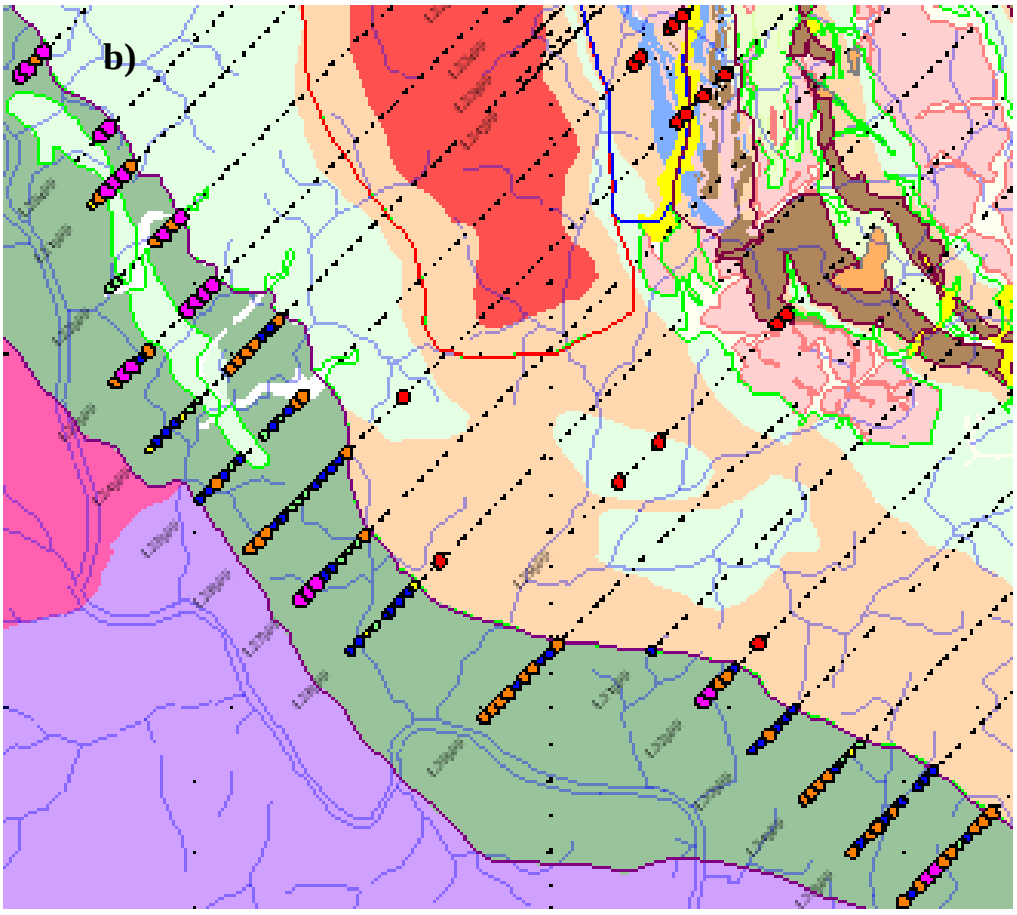
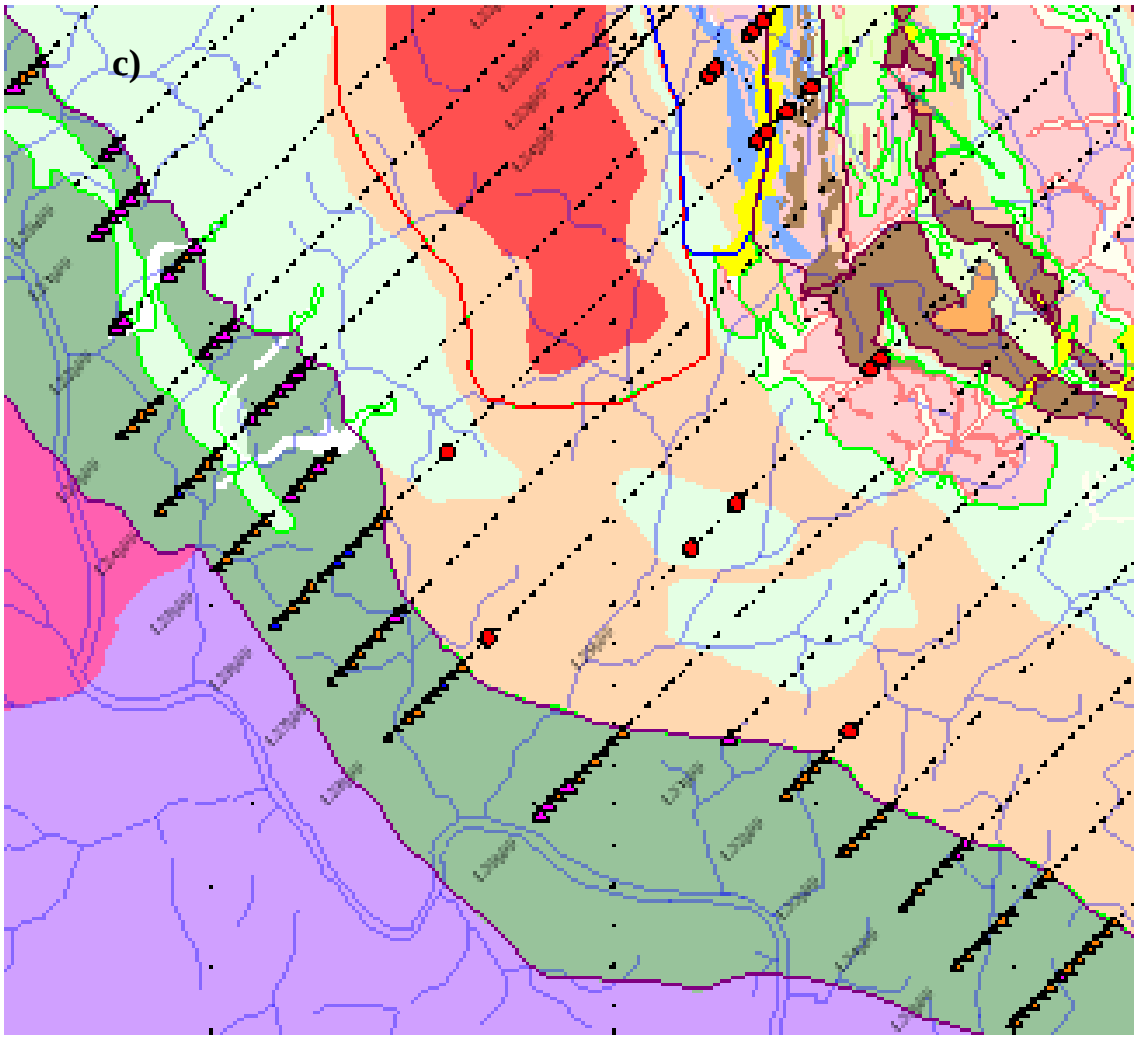


Figura 52: Amapari - Zona do ortoanfibolito, a) PC 1 – boa associação com o ortoanfibolito amostrado. b) PC 2 – melhor relação próximo aos biotita xistos, na porção NW da faixa. c) PC 3 - melhor associação com a porção localizada entre a lente de biotita xisto e o ortoanfibolito. Observar legenda nos anexos 39 a 41.


b)



VI.7.6 Zona dos granitóides indiferenciados

Tabela 64: Informações da análise de Componentes Principais da zona dos granitóides indiferenciados.

Number of channels included: 40
Number of principal components displayed: 10
Number of rows of data: 97
Ingrt
Data Transformations

Ag_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Al_perc	Logarithmic Normal Distribution
As_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Au_ppb	Logarithmic Normal Distribution
Ba_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Be_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Bi_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Ce_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Co_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Cr_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Cs_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Cu_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Fe_perc	Logarithmic Normal Distribution

Ga_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Hf_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Hg_ppm	Logarithmic Normal Distribution
La_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Li_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Mn_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Mo_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Nb_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Ni_ppm	Logarithmic Normal Distribution
P_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Pb_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Rb_ppm	Logarithmic Normal Distribution
S_perc	Logarithmic Normal Distribution
Sb_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Sc_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Se_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Sn_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Sr_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Te_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Th_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Tl_ppm	Logarithmic Normal Distribution
U_ppm	Logarithmic Normal Distribution
V_ppm	Logarithmic Normal Distribution
W_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Y_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Zn_ppm	Logarithmic Normal Distribution
Zr_ppm	Logarithmic Normal Distribution

Tabela 65: Malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira – a correlação dos dados padronizados da zona dos granitóides indiferenciados encontra-se no anexo 43.

Tabela 66: Malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira – *Eigenvalues* de matriz de correlação da zona dos granitóides indiferenciados.

Factor	Eigenvalue	cum.%
1	14.275	35.7
2	4.728	47.5
3	4.410	58.5
4	2.628	65.1
5	1.747	69.5
6	1.566	73.4
7	1.287	76.6
8	1.182	79.6
9	1.054	82.2
10	0.837	84.3
11	0.700	86.0
12	0.628	87.6
13	0.608	89.1
14	0.532	90.5
15	0.498	91.7
16	0.400	92.7
17	0.333	93.5
18	0.309	94.3
19	0.252	94.9
20	0.236	95.5
21	0.208	96.0
22	0.167	96.5
23	0.154	96.8
24	0.146	97.2
25	0.142	97.6

26	0.130	97.9
27	0.117	98.2
28	0.102	98.4
29	0.095	98.7
30	0.087	98.9
31	0.074	99.1
32	0.072	99.3
33	0.066	99.4
34	0.054	99.6
35	0.048	99.7
36	0.034	99.8
37	0.031	99.8
38	0.027	99.9
39	0.021	100.0
40	0.018	100.0

Tabela 67: Malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira – *Eigenvectors* de matriz de correlação da zona dos granitóides indiferenciados.

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9	PC10
Ag_ppm	0.188	-0.231	-0.134	-0.034	0.051	0.020	-0.049	-0.031	0.167	-0.042
Al_perc	0.214	0.009	0.110	0.103	0.152	-0.152	-0.075	-0.018	-0.167	0.141
As_ppm	0.182	-0.160	-0.007	-0.101	-0.006	0.139	0.045	0.253	0.041	0.319
Au_ppb	0.016	0.047	-0.221	0.078	-0.173	-0.336	-0.134	-0.302	0.375	0.418
Ba_ppm	0.130	0.253	0.028	0.171	0.024	-0.103	0.230	-0.013	-0.136	-0.172
Be_ppm	0.221	0.026	-0.019	-0.039	-0.058	-0.056	0.070	-0.187	0.039	-0.064
Bi_ppm	0.172	0.045	-0.093	-0.213	0.017	-0.189	-0.325	-0.095	0.159	-0.063
Ce_ppm	0.013	0.076	-0.247	0.407	-0.072	0.188	0.126	0.047	-0.169	-0.185
Co_ppm	0.179	0.205	0.017	-0.096	-0.063	0.267	0.177	-0.166	-0.018	0.037
Cr_ppm	0.036	0.295	0.137	-0.108	0.017	0.410	-0.141	0.030	0.203	0.156
Cs_ppm	0.088	0.234	-0.218	-0.136	0.040	0.044	-0.204	0.093	-0.329	0.172
Cu_ppm	0.203	-0.015	0.100	-0.147	-0.285	0.067	-0.022	-0.181	-0.071	0.015
Fe_perc	0.231	-0.086	0.142	-0.032	-0.102	0.006	0.120	0.060	-0.005	0.008
Ga_ppm	0.201	-0.194	0.139	0.130	0.032	-0.084	-0.111	-0.026	-0.100	0.034
Hf_ppm	0.140	0.104	0.160	0.086	0.417	-0.054	-0.035	-0.234	-0.022	0.180
Hg_ppm	0.150	0.173	0.213	0.086	0.054	-0.121	-0.167	0.237	0.055	0.143
La_ppm	-0.020	0.353	0.048	0.240	-0.069	0.002	-0.051	0.151	-0.008	-0.004
Li_ppm	0.156	0.204	-0.178	-0.022	0.251	-0.082	-0.090	-0.079	-0.230	-0.012
Mn_ppm	0.198	0.072	-0.097	0.004	-0.092	0.035	0.365	-0.119	0.084	0.037
Mo_ppm	0.134	-0.116	0.051	0.132	0.098	0.409	-0.256	0.097	0.189	-0.148
Nb_ppm	0.144	-0.203	-0.218	0.136	0.190	0.096	-0.058	-0.086	0.055	-0.149
Ni_ppm	0.141	0.253	0.188	-0.100	-0.060	0.280	0.015	-0.139	0.096	0.027
P_ppm	0.210	-0.070	-0.042	-0.022	-0.162	-0.029	0.139	0.246	0.047	0.158
Pb_ppm	0.162	0.023	-0.232	-0.065	0.025	-0.108	0.054	0.081	0.084	-0.065
Rb_ppm	0.099	0.115	-0.349	-0.060	0.117	0.120	-0.133	0.107	-0.188	0.236
S_perc	0.057	0.232	0.270	0.076	-0.034	-0.208	-0.181	0.198	0.057	-0.032
Sb_ppm	0.114	0.099	0.041	-0.049	0.313	-0.133	0.504	0.260	0.204	0.041
Sc_ppm	0.175	-0.167	0.073	-0.131	-0.262	0.000	0.018	-0.143	-0.217	0.050
Se_ppm	0.138	-0.155	-0.069	0.053	-0.141	0.008	-0.120	0.454	-0.074	0.117
Sn_ppm	0.199	-0.195	0.019	0.130	0.090	0.081	-0.063	-0.011	0.038	-0.074
Sr_ppm	0.005	-0.076	-0.005	0.425	-0.158	0.081	0.165	-0.005	0.127	0.416
Te_ppm	0.169	0.081	0.088	-0.072	-0.007	-0.271	-0.028	0.149	0.278	-0.275
Th_ppm	0.152	-0.035	0.081	0.402	-0.048	-0.048	-0.157	-0.006	-0.008	-0.182
Tl_ppm	0.209	0.045	-0.192	-0.006	0.060	-0.123	0.090	-0.012	-0.209	-0.026
U_ppm	0.185	0.053	-0.175	-0.037	-0.244	0.000	-0.108	0.125	0.080	-0.180
V_ppm	0.169	-0.006	0.286	-0.154	-0.141	0.017	0.038	0.005	-0.156	-0.089
W_ppm	0.166	-0.123	-0.078	-0.179	0.329	0.149	0.052	0.021	0.205	-0.068
Y_ppm	0.074	0.253	-0.228	0.159	-0.132	0.082	-0.059	-0.107	0.287	-0.138
Zn_ppm	0.228	0.015	-0.013	0.018	-0.181	-0.062	0.045	-0.121	-0.108	-0.082
Zr_ppm	0.143	-0.125	0.223	0.220	0.171	0.026	-0.056	-0.238	-0.066	0.111

Tabela 68: Malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira – *Principal component Loadings da* zona dos granitóides indiferenciados.

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9	PC10
Ag_ppm	0.709	-0.502	-0.282	-0.056	0.068	0.025	-0.055	-0.033	0.172	-0.038
Al_perc	0.809	0.020	0.231	0.168	0.201	-0.191	-0.085	-0.019	-0.171	0.129
As_ppm	0.687	-0.347	-0.015	-0.163	-0.008	0.174	0.051	0.275	0.042	0.292
Au_ppb	0.059	0.102	-0.464	0.127	-0.228	-0.420	-0.152	-0.329	0.385	0.382
Ba_ppm	0.492	0.551	0.059	0.278	0.031	-0.129	0.261	-0.014	-0.140	-0.158
Be_ppm	0.836	0.057	-0.040	-0.064	-0.076	-0.070	0.079	-0.204	0.040	-0.059
Bi_ppm	0.651	0.098	-0.196	-0.345	0.022	-0.237	-0.369	-0.103	0.163	-0.058
Ce_ppm	0.048	0.164	-0.519	0.659	-0.095	0.236	0.143	0.052	-0.174	-0.169
Co_ppm	0.678	0.445	0.036	-0.156	-0.083	0.335	0.201	-0.181	-0.018	0.034
Cr_ppm	0.137	0.642	0.288	-0.176	0.022	0.513	-0.160	0.033	0.208	0.142
Cs_ppm	0.332	0.509	-0.457	-0.221	0.053	0.056	-0.232	0.101	-0.338	0.158
Cu_ppm	0.767	-0.032	0.210	-0.238	-0.377	0.084	-0.024	-0.196	-0.073	0.014
Fe_perc	0.871	-0.188	0.299	-0.052	-0.134	0.007	0.136	0.065	-0.005	0.007
Ga_ppm	0.760	-0.421	0.291	0.211	0.042	-0.105	-0.126	-0.028	-0.103	0.031
Hf_ppm	0.530	0.227	0.336	0.140	0.552	-0.068	-0.040	-0.255	-0.023	0.165
Hg_ppm	0.568	0.376	0.447	0.139	0.072	-0.152	-0.189	0.257	0.056	0.131
La_ppm	-0.074	0.768	0.100	0.388	-0.092	0.002	-0.058	0.164	-0.009	-0.004
Li_ppm	0.589	0.444	-0.375	-0.036	0.331	-0.102	-0.102	-0.086	-0.236	-0.011
Mn_ppm	0.747	0.157	-0.204	0.007	-0.122	0.044	0.414	-0.129	0.086	0.034
Mo_ppm	0.507	-0.252	0.107	0.215	0.129	0.512	-0.290	0.105	0.194	-0.135
Nb_ppm	0.544	-0.442	-0.458	0.221	0.251	0.120	-0.066	-0.093	0.057	-0.137
Ni_ppm	0.534	0.551	0.395	-0.162	-0.079	0.350	0.017	-0.152	0.099	0.025
P_ppm	0.792	-0.153	-0.089	-0.036	-0.214	-0.036	0.158	0.267	0.048	0.144
Pb_ppm	0.614	0.050	-0.487	-0.105	0.033	-0.135	0.061	0.088	0.086	-0.060
Rb_ppm	0.374	0.249	-0.732	-0.097	0.154	0.150	-0.151	0.116	-0.193	0.215
S_perc	0.214	0.505	0.566	0.124	-0.044	-0.260	-0.205	0.215	0.059	-0.029
Sb_ppm	0.429	0.215	0.087	-0.079	0.413	-0.166	0.572	0.282	0.210	0.038
Sc_ppm	0.662	-0.363	0.154	-0.213	-0.346	0.000	0.020	-0.155	-0.223	0.046
Se_ppm	0.520	-0.337	-0.146	0.087	-0.186	0.010	-0.136	0.493	-0.076	0.107
Sn_ppm	0.753	-0.424	0.039	0.210	0.119	0.101	-0.072	-0.012	0.039	-0.068
Sr_ppm	0.020	-0.166	-0.011	0.689	-0.209	0.101	0.188	-0.005	0.130	0.380
Te_ppm	0.637	0.177	0.185	-0.117	-0.010	-0.339	-0.032	0.162	0.285	-0.252
Th_ppm	0.573	-0.077	0.169	0.652	-0.064	-0.060	-0.178	-0.006	-0.008	-0.166
Tl_ppm	0.789	0.097	-0.403	-0.010	0.079	-0.154	0.103	-0.013	-0.215	-0.024
U_ppm	0.698	0.116	-0.367	-0.060	-0.323	0.000	-0.122	0.136	0.082	-0.165
V_ppm	0.637	-0.013	0.601	-0.250	-0.186	0.022	0.043	0.005	-0.160	-0.081
W_ppm	0.627	-0.268	-0.165	-0.291	0.435	0.186	0.059	0.022	0.210	-0.062
Y_ppm	0.279	0.550	-0.479	0.258	-0.174	0.103	-0.067	-0.116	0.294	-0.126
Zn_ppm	0.862	0.033	-0.028	0.029	-0.239	-0.077	0.051	-0.132	-0.111	-0.075
Zr_ppm	0.541	-0.272	0.468	0.357	0.226	0.033	-0.064	-0.259	-0.068	0.102

Tabela 69: Malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira – *Proportion of variables explained by factors* da matriz de correlação da zona dos granitóides indiferenciados.

Variable	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ag_ppm	0.503	0.755	0.834	0.838	0.842	0.843	0.846	0.847	0.876	0.878
Al_perc	0.654	0.655	0.708	0.736	0.776	0.813	0.820	0.820	0.849	0.866
As_ppm	0.472	0.592	0.593	0.619	0.619	0.650	0.652	0.728	0.730	0.815
Au_ppb	0.004	0.014	0.229	0.246	0.298	0.474	0.497	0.605	0.753	0.900
Ba_ppm	0.242	0.545	0.549	0.626	0.627	0.644	0.712	0.712	0.731	0.756
Be_ppm	0.698	0.702	0.703	0.707	0.713	0.718	0.724	0.766	0.767	0.771
Bi_ppm	0.424	0.434	0.472	0.591	0.592	0.648	0.784	0.795	0.821	0.825
Ce_ppm	0.002	0.029	0.298	0.733	0.742	0.797	0.818	0.820	0.851	0.879
Co_ppm	0.459	0.658	0.659	0.683	0.690	0.802	0.842	0.875	0.875	0.876
Cr_ppm	0.019	0.430	0.513	0.544	0.545	0.808	0.834	0.835	0.878	0.898
Cs_ppm	0.110	0.369	0.578	0.627	0.630	0.633	0.687	0.697	0.811	0.836

Cu_ppm	0.588	0.589	0.634	0.690	0.832	0.839	0.840	0.878	0.883	0.884
Fe_perc	0.759	0.794	0.883	0.886	0.904	0.904	0.923	0.927	0.927	0.927
Ga_ppm	0.578	0.756	0.841	0.885	0.887	0.898	0.914	0.915	0.925	0.926
Hf_ppm	0.281	0.332	0.445	0.465	0.769	0.774	0.775	0.840	0.841	0.868
Hg_ppm	0.323	0.464	0.664	0.684	0.689	0.712	0.748	0.814	0.817	0.834
La_ppm	0.006	0.596	0.606	0.757	0.765	0.765	0.769	0.796	0.796	0.796
Li_ppm	0.347	0.544	0.684	0.686	0.795	0.806	0.816	0.824	0.880	0.880
Mn_ppm	0.558	0.582	0.624	0.624	0.639	0.641	0.813	0.829	0.837	0.838
Mo_ppm	0.257	0.320	0.332	0.378	0.395	0.657	0.741	0.752	0.790	0.808
Nb_ppm	0.296	0.492	0.701	0.750	0.813	0.828	0.832	0.841	0.844	0.862
Ni_ppm	0.285	0.589	0.745	0.772	0.778	0.901	0.901	0.924	0.934	0.934
P_ppm	0.628	0.651	0.659	0.660	0.706	0.707	0.732	0.803	0.806	0.827
Pb_ppm	0.377	0.380	0.617	0.628	0.629	0.647	0.651	0.659	0.666	0.670
Rb_ppm	0.140	0.202	0.738	0.747	0.771	0.794	0.816	0.830	0.867	0.914
S_perc	0.046	0.301	0.621	0.637	0.639	0.707	0.749	0.795	0.799	0.799
Sb_ppm	0.184	0.230	0.238	0.244	0.415	0.442	0.770	0.849	0.893	0.895
Sc_ppm	0.438	0.569	0.593	0.638	0.759	0.759	0.759	0.783	0.833	0.835
Se_ppm	0.270	0.383	0.405	0.412	0.447	0.447	0.465	0.709	0.714	0.726
Sn_ppm	0.568	0.747	0.749	0.793	0.807	0.818	0.823	0.823	0.824	0.829
Sr_ppm	0.000	0.028	0.028	0.503	0.547	0.557	0.593	0.593	0.610	0.754
Te_ppm	0.406	0.438	0.472	0.486	0.486	0.600	0.601	0.627	0.709	0.772
Th_ppm	0.329	0.335	0.363	0.788	0.792	0.795	0.827	0.827	0.827	0.855
Tl_ppm	0.623	0.633	0.795	0.795	0.802	0.825	0.836	0.836	0.882	0.883
U_ppm	0.487	0.500	0.635	0.639	0.743	0.743	0.758	0.777	0.783	0.810
V_ppm	0.406	0.406	0.767	0.830	0.864	0.865	0.867	0.867	0.893	0.899
W_ppm	0.393	0.465	0.492	0.577	0.766	0.801	0.804	0.805	0.849	0.853
Y_ppm	0.078	0.381	0.611	0.677	0.708	0.718	0.723	0.736	0.823	0.839
Zn_ppm	0.743	0.744	0.745	0.746	0.803	0.809	0.812	0.829	0.841	0.847
Zr_ppm	0.293	0.367	0.586	0.713	0.765	0.766	0.770	0.837	0.842	0.852

Tabela 70: Malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira – *Varimax Principal component loading* da zona dos granitóides indiferenciados.

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9
Ag_ppm	0.445	-0.204	-0.175	-0.048	0.156	-0.159	0.125	0.697	0.230
Al_perc	0.491	0.370	-0.246	0.021	0.561	-0.037	0.155	0.262	-0.030
As_ppm	0.509	0.011	-0.120	-0.073	-0.027	-0.001	0.203	0.625	-0.137
Au_ppb	-0.003	-0.032	-0.144	0.090	-0.045	-0.152	-0.048	-0.077	0.831
Ba_ppm	0.278	0.354	-0.346	0.335	0.276	0.204	0.357	-0.226	0.032
Be_ppm	0.656	0.062	-0.285	0.003	0.274	0.150	0.217	0.213	0.250
Bi_ppm	0.371	0.184	-0.437	-0.405	0.126	0.069	0.000	0.292	0.436
Ce_ppm	-0.132	-0.120	-0.370	0.823	-0.034	-0.021	-0.024	0.039	0.032
Co_ppm	0.524	0.020	-0.354	0.070	0.138	0.625	0.243	0.011	0.010
Cr_ppm	-0.054	0.281	-0.096	-0.097	-0.034	0.876	-0.011	-0.017	-0.092
Cs_ppm	0.076	0.111	-0.861	-0.077	-0.084	0.178	-0.062	-0.053	-0.005
Cu_ppm	0.865	0.077	-0.089	-0.109	0.109	0.254	-0.057	0.157	0.073
Fe_perc	0.790	0.207	0.007	-0.008	0.217	0.078	0.235	0.384	-0.068
Ga_ppm	0.596	0.205	0.055	0.053	0.490	-0.193	-0.015	0.492	-0.051
Hf_ppm	0.105	0.244	-0.146	-0.095	0.784	0.232	0.251	0.089	-0.018
Hg_ppm	0.265	0.754	-0.098	-0.018	0.276	0.227	0.148	0.134	-0.034
La_ppm	-0.226	0.550	-0.194	0.391	-0.026	0.347	0.014	-0.359	0.032
Li_ppm	0.134	0.117	-0.818	-0.024	0.337	0.116	0.187	0.035	0.124
Mn_ppm	0.593	-0.084	-0.309	0.234	0.090	0.215	0.460	0.123	0.216
Mo_ppm	0.146	0.060	0.024	0.155	0.223	0.314	-0.136	0.752	-0.093
Nb_ppm	0.159	-0.313	-0.302	0.200	0.291	-0.192	0.067	0.656	0.180
Ni_ppm	0.409	0.275	-0.103	-0.061	0.187	0.791	0.115	-0.047	-0.035
P_ppm	0.656	0.163	-0.208	0.107	-0.088	-0.053	0.293	0.442	0.051
Pb_ppm	0.307	-0.014	-0.535	0.010	-0.039	-0.067	0.306	0.311	0.299
Rb_ppm	-0.011	-0.134	-0.874	0.072	-0.100	0.062	0.035	0.238	0.091
S_perc	0.100	0.820	0.070	-0.058	0.166	0.217	0.040	-0.179	-0.012

Sb_ppm	0.096	0.192	-0.109	-0.046	0.135	0.075	0.891	0.097	-0.077
Sc_ppm	0.858	-0.080	-0.012	-0.110	0.106	-0.073	-0.104	0.219	-0.050
Se_ppm	0.379	0.224	-0.190	0.141	-0.200	-0.266	-0.015	0.584	-0.114
Sn_ppm	0.463	0.011	-0.051	0.135	0.390	-0.074	0.068	0.653	0.015
Sr_ppm	0.020	0.003	0.277	0.704	0.062	-0.086	0.000	0.129	0.098
Te_ppm	0.398	0.503	-0.093	-0.198	0.107	0.067	0.342	0.203	0.276
Th_ppm	0.318	0.387	0.002	0.496	0.438	-0.063	-0.099	0.334	0.116
Tl_ppm	0.486	0.012	-0.668	0.099	0.201	-0.101	0.279	0.207	0.139
U_ppm	0.511	0.158	-0.477	0.112	-0.195	0.097	0.038	0.337	0.309
V_ppm	0.751	0.310	0.120	-0.234	0.206	0.218	0.061	0.075	-0.253
W_ppm	0.211	-0.219	-0.237	-0.288	0.230	0.119	0.377	0.639	0.021
Y_ppm	-0.019	0.097	-0.450	0.399	-0.096	0.387	0.062	0.008	0.537
Zn_ppm	0.768	0.132	-0.308	0.129	0.212	0.068	0.101	0.185	0.169
Zr_ppm	0.358	0.131	0.216	0.133	0.728	0.020	-0.018	0.303	-0.098

Tabela 71: Malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira – *Proportion of variables explained by varimax Factor* da zona dos granitóides indiferenciados.

Variable	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ag_ppm	0.198	0.240	0.271	0.273	0.297	0.323	0.338	0.824	0.876
Al_perc	0.241	0.378	0.439	0.439	0.754	0.756	0.780	0.849	0.849
As_ppm	0.259	0.259	0.273	0.279	0.279	0.279	0.320	0.711	0.730
Au_ppb	0.000	0.001	0.022	0.030	0.032	0.055	0.057	0.063	0.753
Ba_ppm	0.077	0.203	0.322	0.434	0.510	0.552	0.679	0.730	0.731
Be_ppm	0.430	0.434	0.515	0.515	0.590	0.612	0.660	0.705	0.767
Bi_ppm	0.137	0.171	0.362	0.526	0.542	0.546	0.546	0.631	0.821
Ce_ppm	0.017	0.032	0.169	0.846	0.847	0.847	0.848	0.850	0.851
Co_ppm	0.275	0.275	0.401	0.406	0.425	0.816	0.875	0.875	0.875
Cr_ppm	0.003	0.082	0.091	0.101	0.102	0.869	0.869	0.870	0.878
Cs_ppm	0.006	0.018	0.760	0.766	0.773	0.804	0.808	0.811	0.811
Cu_ppm	0.748	0.754	0.762	0.774	0.786	0.850	0.853	0.878	0.883
Fe_perc	0.623	0.666	0.666	0.667	0.714	0.720	0.775	0.922	0.927
Ga_ppm	0.355	0.397	0.400	0.403	0.643	0.681	0.681	0.923	0.925
Hf_ppm	0.011	0.071	0.092	0.101	0.716	0.769	0.832	0.840	0.841
Hg_ppm	0.070	0.638	0.648	0.648	0.725	0.776	0.798	0.816	0.817
La_ppm	0.051	0.354	0.391	0.544	0.545	0.666	0.666	0.795	0.796
Li_ppm	0.018	0.032	0.701	0.701	0.814	0.828	0.863	0.864	0.880
Mn_ppm	0.351	0.358	0.454	0.508	0.517	0.563	0.775	0.790	0.837
Mo_ppm	0.021	0.025	0.025	0.050	0.099	0.198	0.217	0.781	0.790
Nb_ppm	0.025	0.124	0.215	0.255	0.339	0.376	0.381	0.811	0.844
Ni_ppm	0.167	0.243	0.253	0.257	0.292	0.917	0.930	0.933	0.934
P_ppm	0.430	0.457	0.500	0.511	0.519	0.522	0.608	0.803	0.806
Pb_ppm	0.094	0.095	0.380	0.380	0.382	0.386	0.480	0.577	0.666
Rb_ppm	0.000	0.018	0.782	0.787	0.797	0.801	0.802	0.859	0.867
S_perc	0.010	0.682	0.687	0.690	0.718	0.765	0.766	0.798	0.799
Sb_ppm	0.009	0.046	0.058	0.060	0.078	0.084	0.878	0.887	0.893
Sc_ppm	0.736	0.743	0.743	0.755	0.766	0.771	0.782	0.830	0.833
Se_ppm	0.144	0.193	0.230	0.249	0.289	0.360	0.361	0.702	0.714
Sn_ppm	0.214	0.214	0.217	0.235	0.387	0.393	0.397	0.824	0.824
Sr_ppm	0.000	0.000	0.077	0.572	0.576	0.583	0.583	0.600	0.610
Te_ppm	0.158	0.411	0.419	0.459	0.470	0.475	0.591	0.633	0.709
Th_ppm	0.101	0.250	0.250	0.496	0.689	0.693	0.702	0.814	0.827
Tl_ppm	0.236	0.236	0.682	0.692	0.732	0.743	0.820	0.863	0.882
U_ppm	0.261	0.286	0.513	0.525	0.563	0.573	0.574	0.688	0.783
V_ppm	0.565	0.660	0.675	0.729	0.772	0.819	0.823	0.829	0.893
W_ppm	0.045	0.093	0.149	0.231	0.284	0.299	0.441	0.849	0.849
Y_ppm	0.000	0.010	0.213	0.372	0.381	0.530	0.534	0.534	0.823
Zn_ppm	0.590	0.607	0.702	0.718	0.763	0.768	0.778	0.813	0.841
Zr_ppm	0.128	0.145	0.192	0.210	0.740	0.740	0.740	0.832	0.842

A PCA da zona dos granitóides indiferenciados mostra 9 valores de Eigenvalues (Tabela 65) maiores que 1 (1,05), portanto pelo critério de Kaiser (in StatSoft 2001), 9 PC devem ser considerados na aplicação do *VPC* (Tabela 50). O primeiro fator extraiu 35.7 % do total das amostras e os demais fatores, os 64,3 % restantes.

No PC 1 estão selecionados os valores iguais ou acima de 0,66 (Anexos 44 a 46 e Figuras 53 a, b e c), no PC 2 os valores iguais ou acima de 0,35 e no PC 3 valores maiores ou iguais a 0,07, com a seguinte associação de elementos químicos:

PC 1 – Cu, Sc, Fe, Zn, V, P e Be

Correlação negativa – La, Ce, Cr, Rb e Y

PC 2 – S, Hg, La, Te, Th e Ba

Correlação negativa – Nb, W, Rb e Ce

PC 3 – Sr. Zr, V, S

Correlação negativa – Rb. Cs, Li, Tl e Pb

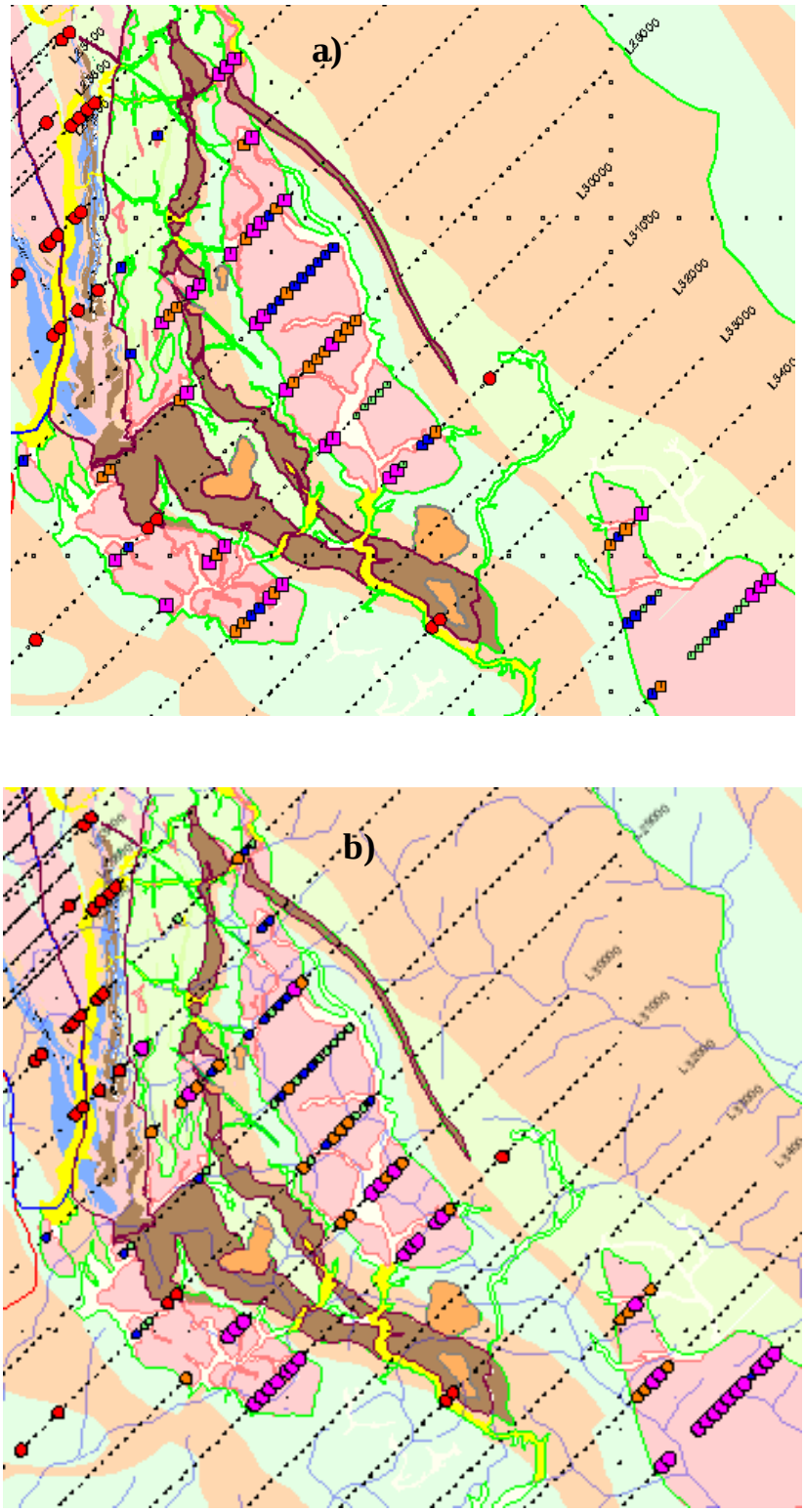
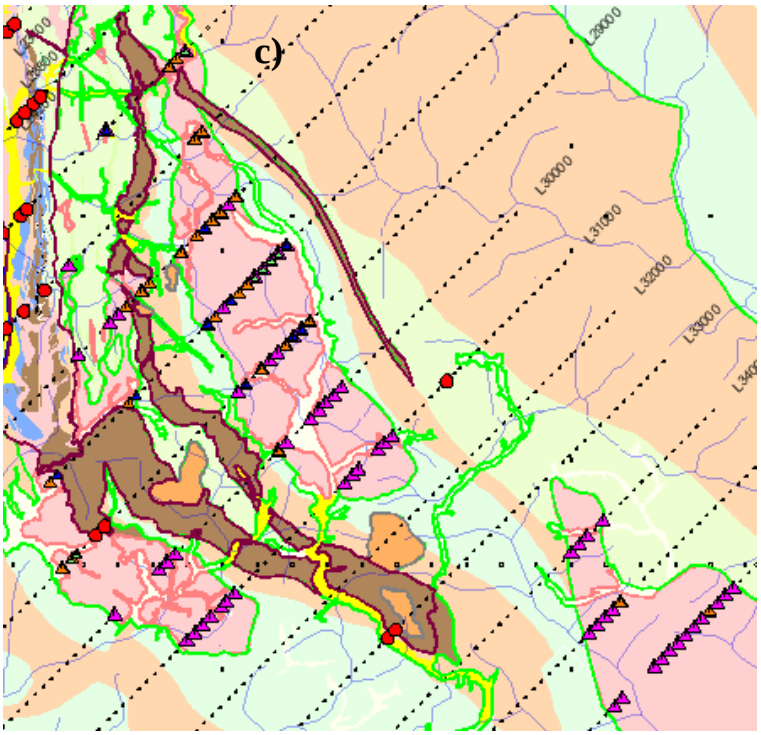


Figura 53: Amapari - Zona dos granitóides indiferenciados, a) PC 1 – boa associação com o granitóide envolvido pela FFb (mais comprido). b) PC 2 – melhor relação com os granitóides a.SW e SE do PC 1. c) PC 3 - associação com os três granitóides. Observar legenda nos anexos 44 a 46.



VI.8 Interpretação dos resultados da análise de componentes principais

Além da experiência do autor, a interpretação das associações de elementos químicos, a seguir, está alicerçada nas informações e conceitos contidos em Mattoso & Formoso (2007).

VI. 8.1 Zona mineralizada N-S

Os resultados obtidos na zona mineralizada N-S indicam:

PC 1 - associação de V, Sc, Cu, Cr, Ni, As, Zn e Fe. O Anexo 20 e a Figura 48 a, mostram os maiores valores do PC1 relacionados com paranfibolitos e biotita xistos. A associação V, Cr, Ni e Fe podem indicar tanto rochas máficas como lateritas, sendo mais provável o segundo caso, pois no solo são freqüentes pisólitos lateríticos. A associação Fe e Zn deve estar relacionada com FFb.

PC 2 – associação Mo, Hf, Zr, Sb, Th e S, relacionadas a biotita xistos. A associação Hf, Zr e Th (Anexo 21 e Figura 48 b) são sugestivas de enriquecimento de minerais resistatos, portanto devem representar lateritas (Costa 2007).

PC 3 – associação Bi, Sn, Mo, W, Ga e Nb relacionadas a granitóides indiferenciados podem indicar escarnitos ou granitóides (Anexo 22 e Figura 48 c). É bem provável que esteja indicando zona de metamorfismo de contato, sem a ocorrência da fase retrógrada de mineralização escarnítica, conforme discutido no capítulo estudos petrográficos.

O ouro não aparece nessa PCA.

VI.8.2 Zona mineralizada NW

Nessa zona, a PCA indica as seguintes associações de elementos químicos:

PC 1 – V, Sc, Fe, Al, Ga, Zr, P, S, As e Hf. Esta associação Fe, S e As indica sulfetos, enquanto a associação V, Fe, Al, Zr e Hf indicam laterita, provavelmente relacionadas com pisólitos de laterita, no solo (Anexo 25 e Figura 49 a).

PC 2 – Nb, Mo, Th, Sn, Y, W, U e Ag. A associação Mo, Sn, W e Ag (Anexo 26 e Figura 49 b), pode estar indicando zona de metamorfismo de contato, sem a ocorrência da fase retrógrada de mineralização escarnítica, conforme discutido no capítulo estudos petrográficos.

PC 3 – Cs, Rb, Li, Th, La, CE, Y e Al. A associação Cs, Li, Tl, Y e Al indicam a presença de granitóides/pegmatitos (Anexo 27 e Figura 49c).

VI.8.3. Zona do granito Amapari

A PCA na zona do granito Amapari mostra a seguinte associação de elementos químicos:

PC 1 – Cr, V, Sc, Ni, Fe, Cu, Pb, Zn e As, estão vinculadas ao domínio de biotita xistos e paranfibolitos (Anexo 30 e Figura 50 a). A associação Cr, V, Ni e Fe sugerem laterita (pisólitos no solo), enquanto a associação Fe, Cu, Zn e As, sugere sulfeto.

PC 2 – Li, Rb, Cs, Ce, La e Y, estão em domínio do granito Amapari e biotita xistos, este último localizado a leste do corpo granítico (Anexo 31 e Figura 50 b). A associação Li, Cs, La e Y são características de pegmatito.

PC 3 – Bi, Nb, Ag, Mo e W, associados ao granito Amapari e biotita xistos (Anexo 32 e Figura 50 c). Os elementos Nb, Mo e W mostram características de pegmatito/greisen, enquanto a associação Bi, Mo e W pode também representar escarnito/metamorfismo de contato sobre biotita xisto.

VI.8.4 Zona das rochas metassedimentares

A PCA da zona das rochas metassedimentares indica somente dois PC, com a seguinte associação de elementos químicos:

PC 1 – Ba, Mn, Ce, Th, Co, Pb, Sr, Y, Ni e Zn relacionados com os paranfibolitos e biotita xistos (Anexo 35 e Figura 51 a). A associação Ba, Mn, Pb, Zn e Sr sugerem rocha carbonática, enquanto Ba e Th, sugerem granitóide. O Co e Ni normalmente acompanham rocha máfica (+ Zn)/ultramáfica. Por se tratar de rochas metassedimentaares é bem provável

que haja contribuição de diversas fontes e, portanto, uma miscelânea muito grande de elementos químicos.

PC 2 – Se, Rb, W, Cs, Y e La, mostram melhor relação com biotita xistos, porém não é possível correlacionar com rochas metassedimentares (Anexo 36 e Figura 51 b).

VI.8.5 Zona do ortoanfibolito

A PCA na zona do ortoanfibolito revela a seguinte associação de elementos químicos:

PC 1 – Y, Zn, Co, Cu, Mn, Sc, Ni, Fe, Ce, P, V e Cr, praticamente com boa associação ao longo de toda a faixa anfibolítica (Anexo 39 e Figura 52 a). A associação Co, Ni, Fe, V, Cr e Mn confirmam a rocha máfica subjacente, já que os valores de Co, Ni e Cr estão bem abaixo daqueles característicos de rocha ultramáfica.

PC 2 – Zr, Al, Hf, Ga, Hg, V e Sn, contornam a lente de biotita xistos, na porção NW da faixa (Anexo 40 e Figura 52 b). Esta associação é bastante diversificada, dificultando correlacioná-la com o domínio litológico dos ortoanfibolitos. O elemento Sn é bastante estranho nessa associação. A presença dos elementos Zr, Al e Ga, relacionados a rochas sedimentares, sugerem contaminação da lente de biotita xisto, na zona do PC 2.

PC 3 – Sb, Au, Li, Mn e Al. A associação Sb e Au indica sulfeto, enquanto Li e Al sugere pegmatito, que não possui nenhuma relação com o ortoanfibolito (Anexo 41 e Figura 52 c). É possível que exista problema de mapeamento geológico. Tendo em vista que os eigenvalues dessa zona do anfibolito demonstram que os dois primeiros fatores já tinham extraído aproximadamente 44 % do total dos mesmos, é provável que os resultados do PC 3 não apresentem tanta consistência.

VI.8.6 Zona dos granitóides indiferenciados

A PCA nesse domínio litológico mostra a seguinte associação de elementos químicos:

PC 1 – Cu, Sc, Fe, Zn, V, P e Be. A associação Sc, Fe e Be estão relacionadas a granitóides (menos ácido), enquanto Cu, Fe e Zn, com sulfetos (Anexo 44 e Figura 53 a).

PC 2 – S, Hg, La, Te, Th e Ba. A associação La, Th e Ba, também revelam vínculo com granitóides (Anexo 45 e Figura 53 b).

PC 3 – Sr, Zr, V e S. Os elementos Zr e Sr estão relacionados a granitóide (Anexo 46 e Figura 53 c).

Os resultados da aplicação da PCA não revelam associação de ouro em nenhum dos primeiros componentes principais (PC 1) das zonas estudadas, embora a mineralização aurífera nas zonas N-S e NW sejam incontestáveis. É bem provável que isto deve se refletir na

grande quantidade de valores de ouro próximo ou abaixo do limite de detecção, presentes na população amostrada e que não participam com peso significativo quando a PCA é aplicada.

VII - CONCLUSÕES FINAIS

As conclusões a seguir derivam dos estudos realizados na área do depósito de ouro do Amapari e sua zona de influência, em rochas encaixantes/hospedeiras da mineralização aurífera, em 61 lâminas polidas delgadas, análises geoquímicas de 22 amostras de rocha (elementos maiores e ETR) e tratamento estatístico multivariado de 2241 amostras de solo e aplicação da técnica de Análise de Componentes Principais:

1) Estudos petrográficos das encaixantes/hospedeiras permitem classificá-las em 3 grandes grupos litológicos: formações ferríferas, rochas carbonáticas e cálcio-silicáticas. De acordo com a associação dos principais minerais, cada litotipo é separado em diferentes conjuntos.

A) Formação Ferrífera: 4 conjuntos

- **FFb 1** → Diopsídio + magnetita, principalmente no alvo Taperebá A.

- **FFb 2** → Grunerita + magnetita; grunerita + diopsídio + magnetita; diopsídio + hornblenda + grunerita e hornblenda + grunerita, que ocorrem nos alvos Urucum, Taperebá C, B, A e Vila do Meio, tendo amostras anômalas em ouro, representadas pelas FD 795-57438 e 57489, FD 815-69500, respectivamente com 8,49; 1,35 e 12,20 ppm de Au do alvo Urucum e FD 708-23504 com 5,35 ppm de Au do alvo Taperebá A.

- **FFb 3** → grunerita + diopsídio + hematita ± magnetita, encontrado no alvo Vila do Meio, sem presença anômala em Au.

- **FFb 4** → Hematita é o mineral principal e ocorre no alvo Martelo. A presença de hematita está relacionada à alteração supergênica da magnetita passando a hematita, em virtude dessas amostras, ter sido coletada a profundidades mais rasas que 100 m.

B) Rochas carbonáticas: 3 conjuntos

- **RC 1** → Clorita magnesiana + serpentina + magnetita; talco + serpentina + diopsídio + grunerita + magnetita e serpentina + diopsídio + magnetita dos alvos Urucum, Taperebá C e Taperebá A e uma amostra mineralizada em ouro, FD 162-192, do alvo Taperebá C, com 3,19 ppm de Au.

- **RC 2** → Hornblenda + diopsídio ± clorita ± grunerita ± muscovita; grunerita + diopsídio ± pirrotita; biotita + diopsídio ± grunerita; serpentina + magnetita e grunerita ± magnetita ± clorita

magnesiana, dos alvos Urucum, Taperebá C, B, A, D e Vila do Meio. Três amostras têm valores anômalos em ouro, FD 703-23237, do alvo Taperebá B e, FD 196-42 e FD 640-10210 do alvo Taperebá D, respectivamente com 3,76; 4,53 e 6,00 ppm de Au, principalmente com associação gru + di + pirrotita.

- **RC 3** → Mármores contendo hornblenda + diopsídio + magnetita; serpentina + grunerita + magnetita ± pirrotita; clorita magnesiana + diopsídio; diopsídio + flogopita + grunerita ± magnetita, dos alvos Urucum, Taperebá C e Vila do Meio. Uma amostra tem valor anômalo em ouro, FD 162-182, do alvo Taperebá C, com 9,09 ppm de Au.

C) Rochas cálcio-silicáticas: Conjunto único→ di opsídio ± magnetita ± hornblenda ± grunerita, proveniente dos alvos Urucum, Taperebá C e Vila do Meio, não revelam presença de Au.

Diversas amostras de rocha carbonática e algumas de FFb revelam minerais típicos de metamorfismo de contato, como vesuvianita, clinohumita e as granadas andradita, uvarovita e espessartita.

A paragênese mineral nas rochas carbonáticas do Amapari, com as associações calcita-diopsídio-(quartzo), calcita-diopsídio-granada e diopsídio-vesuvianita-granada, indica predomínio da fácies de metamorfismo de contato hornblenda-hornfels. Em seus estudos no Alvo Urucum, Melo (2001) identificou periclásio (associação calcita-periclásio), o que é característico da fácies de metamorfismo de contato piroxênio-hornfels.

D) Paragêneses de alteração

No Amapari ocorre a paragênese mineral das zonas de alteração hidrotermal distal e proximal nos domínios das FFb, rochas carbonáticas (RC) e, nas cálcio-silicáticas, somente a zona proximal.

- FFb - zona distal → Observada nos alvos Urucum, Taperebá C, Taperebá A e Martelo, com a paragênese biotita, hornblenda, grunerita, magnetita, quartzo e pirrotita.

- FFb – zona proximal → Ocorre nos alvos Urucum, Taperebá B, Taperebá A e Vila do Meio, apresentando a paragênese diopsídio, hornblenda, grunerita, magnetita quartzo, pirrotita e arsenopirita.

Minerais	FFB – zona de alteração distal	FFb - zona de alteração proximal
Biotita	.....	
Hornblenda	– – – – – – – – –	– – – – – – – – –
Grunerita	– – – – – – – – –	– – – – – – – – –
Magnetita	————	– – – – – – – – –
Quartzo	————	————
Pirrotita	– – – – – – – – –	– – – – – – – – –
Diopsídio		————
Arsenopirita		.....

Proporção mineral

traço a 10% .....

10 – 25% – – – –

> 25% ———

RC – zona distal → Ocorre nos alvos Taperebá C, Taperebá B e Vila do Meio e apresenta a paragênese grunerita, magnetita, quartzo, pirrotita e titanita.

- RC – zona proximal → Ocorre nos alvos Taperebá D, Taperebá B, Taperebá A e Vila do Meio, com a paragênese mineral diposídio, carbonato, hornblenda, grunerita, magnetita, quartzo, pirrotita, plagioclásio, K-feldspato, biotita, arsenopirita e titanita.

Minerais	RC – zona de alteração distal	RC – zona de alteração proximal
Carbonato		————
Biotita		.....
Grunerita	.....	– – – – – – – –
Hornblenda		————
Magnetita	– – – – – – –	– – – – – – – –
Quartzo	.....	.....
Pirrotita	.....	.....
Diopsídio		————
Plagioclásio		.....
K-feldspato		.....
Arsenopirita		.....
Titanita	.....	.....

Proporção mineral

traço a 10% .....

10 – 25% – – – –

> 25% ———

Cálcio-silicáticas - zona proximal → Ocorre nos alvos Urucum, Taperebá B e Vila do Meio, com a paragênese mineral diopsídio, hornblenda, grunerita, magnetita, quartzo, pirrotita, titanita e biotita.

Minerais	**Cálcio-silicática – zona de alteração proximal**
Hornblenda	– – – – – – – –
Grunerita	– – – – – – – –
Magnetita	————————
Quartzo	.....
Pirrotita	.....
Diopsídio	————————
Biotita	.....
Titanita	.....

Proporção mineral

traço a 10% .....

10 – 25% – – – –

> 25% ————

E) Sequência mineralógica e de eventos

O presente estudo também indica a íntima associação do ouro principalmente com a pirrotita e, subordinadamente, com a pirita. Esta última associação é constatada no alvo Taperebá A. Os sulfetos, calcopirita e arsenopirita, ocorrem de maneira muito subordinada, intercrescidos com a pirrotita. Ouro livre não está presente nas lâminas estudadas.

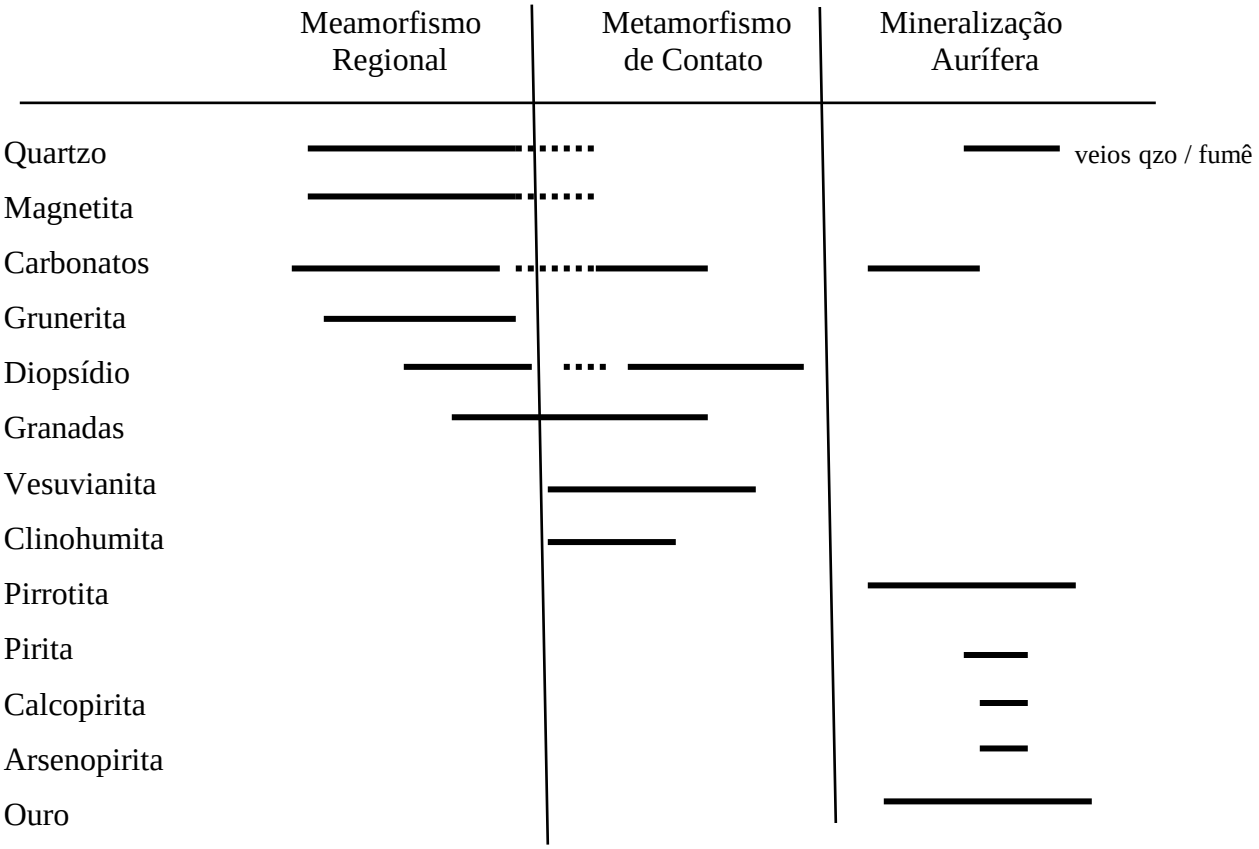
A paragênese metamórfica regional gru + hbl + di é condizente com a fácies metamórfica anfibolito. O tamanho dos grãos de quartzo em FFb normalmente próximo de 0,22 mm, localmente mais grossos, também sugere esta fácies metamórfica.

Os eventos de formação e transformação dos minerais, através dos mais variados estilos de substituição, indicam que:

- Grunerita → Forma a partir da magnetita
- Diopsído → Forma a partir da grunerita, grunerita + magnetita e grunerita + magnetita + carbonato
- Magnetita → Pode se formar do diopsídio
- Pirrotita → Cresce à custa de magnetita
- Pirrotita → Formação do diopsídio

- Carbonato → Há casos em que cresce do diopsídio
- Magnetita + pirrotita → Recristalização seguindo formação da grunerita
- Clinohumita → a partir de calcários e dolomitos pobres em sílica.
- Vesuvianita e granadas (andradita, uvarovita e espessartita) → A partir de rochas carbonáticas contendo minerais cálcio-silicáticos.
- Os minerais hidrotermais associados à mineralização aurífera, como sulfetos (pirrotita, pirita, calcopirita e arsenopirita) e quartzo de veio e fumê, formam-se, temporalmente, quase junto com os minerais de metamorfismo de contato, inclusive atravessando o diopsídio.
- As características texturais sugerem a seguinte seqüência de eventos:

Metamorfismo regional → Metamorfismo de contato → M ineralização aurífera, sendo que esta última ocorre imediatamente após, ou tardiamente, ao metamorfismo de contato; esses dois eventos são praticamente contemporâneos.



2) Geoquímica de rocha total de FFb, rochas carbonáticas e uma amostra de cálcio-silicática indica que as rochas carbonáticas estão representadas por calcários e dolomitos, este último com alto conteúdo em MgO e certa semelhança com o dolomito chértico do Niagaran Group (Silurian) County, Ohio.

- Três amostras de rocha carbonática, com alto conteúdo de Fe_2O_3, estão mineralizadas em Au, sendo duas do alvo Taperebá C e uma do alvo Taperebá B, que também apresentam mais alto conteúdo em ETRP, quando normalizados para condrito.
- As rochas carbonáticas, com alto conteúdo em CaO e MgO, são geoquimicamente diferenciadas das FFb, que apresentam alto conteúdo em SiO_2 e Fe_2O_3.
- Uma amostra de rocha cálcio-silicática do alvo Urucum apresenta composição geoquímica intermediária entre FFb e rocha carbonática.
- Os resultados analíticos de ETR e padrões normalizados para condrito, *PAAS* e água do mar não revelam diferenças significativas entre os ETR de FFb, rochas carbonáticas e cálcio-silicática.
- Os ETR não discriminam entre as amostras mineralizadas em ouro daquelas estéreis.
- ETR de FFb não têm anomalia positiva de Eu, portanto não caracterizam FFb arqueanas.
- Todas as amostras estudadas têm anomalia negativa de Eu, sugerindo formação distal em relação aos sítios de descarga vulcanogênicos.
- ETR normalizado para *PAAS* são semelhantes à água do mar, o que reflete sua gênese em ambiente submarino.
- O comportamento semelhante dos ETR das FFb e rocha carbonática indica possibilidade de interdigitação e dessas rochas terem se formado próximo.
- O comportamento muito similar dos ETR de FFb e rocha carbonática sinaliza ausência do evento de metamorfismo retrógrado. Neste tipo de metamorfismo, o sistema magmático hidrotermal sofre resfriamento progressivo, com o aporte progressivo de águas meteóricas e tem início uma série de reações complexas e precipitação de sulfetos e metais preciosos. O padrão dos ETR das rochas mineralizadas, nesse evento, provavelmente teria seu padrão modificado.

O modelo de mineralização aurífera orogênica, de Groves et al. (1998), na fase de fechamento de bacia, é mais consistente do que escarnítico, sob o ponto de vista econômico de formação de depósitos minerais, para a área estudada.

- Não se descarta a possibilidade de ocorrer escarnito fora dos corpos mineralizados do depósito aurífero do Amapari.

- Os dados obtidos, no presente estudo, não são suficientes para demonstrar se as rochas carbonáticas já eram ricas em Fe, antes da mineralização aurífera, ou são produtos de intensa alteração carbonática sobre FFb.

3) Geoquímica de solo das malhas Urucum-Taperebá e Silvestre-Vila do Meio e Bananeira indicam:

- Malha Urucum-Taperebá → Gráfico de probabilidade acumulativa revela valor de 130 ppb de Au como limiar da anomalia deste metal e pelo método do percentil→ situados entre 10 – 217 ppb, 217 – 476 ppb e 475 – 8196 ppb de Au, respectivamente entre os intervalos 90 – 95%, 95 - 98% e 98 – 100% dos valores mais elevados.
- Malha Silvestre-Vila do Meio e Bananeira → Gráfico de probabilidade acumulativa aponta 20 ppb de Au como valor limiar da anomalia, enquanto no método do percentil→ está entre 2,77 – 5,16 ppb, 5,16 – 29 e 29 – 1001 ppb de Au, respectivamente nos intervalos 90 – 95%, 95 – 98% e 98 – 100%, dos valores mais elevados.
- Método do percentil para intervalos entre 90 – 95% → Valores de Au menores que os obtidos através do gráfico de probabilidade acumulativa, em ambas as malhas.
- Valores de Au→ Malha Silvestre-Vila do Meio e Bananeira se superpõem com os da malha Taperebá-Urucum, obtidos pelo método do percentil, confirmando que, mesmo numa malha aberta, o depósito de ouro do Amapari poderia ser descoberto, desde que valores baixos de Au sejam considerados e conferidos no campo para posterior adensamento, se for o caso. Isso tem importante impacto exploratório, pois destaca a utilização de geoquímica multielementar em malha de solo mais aberta e gerando menos amostras, em relação àquele método tradicional, que analisa entre 2 a 10 elementos químicos.

PCA da zona Mineralizada N-S → Associação de elementos V, Sc, Cu, Cr, Ni, As, Zn e Fe relacionados a paranfibolitos e biotita xistos e muito subordinadamente com FFb.

- PC 1 → V, Cr, Ni e Fe → Associados com paranfibolitos e biotita xistos, e muito subordinadamente com FFb, o que pode indicar presença de pisólitos lateríticos no solo, enquanto Zn e Fe, confirmam a presença de FFb.

- PC 2 → Hf, Zr e Th, → associados a biotita xistos→ sugestivos de enriquecimento em minerais resistatos → devem representar lateritas.

- PC 3 → Bi, Sn, Mo e W → associados com granitóides indiferenciados + biotita xistos→ indicam zona de metamorfismo de contato.

PCA da zona mineralizada NW

- PC 1 → V, Sc, Fe, Al, Ga, Zr, P, S, As e Hf → associação Fe, S e As indica sulfetos e V, Fe, Al, Zr e Hf indicam laterita (pisólitos no solo).

- PC 2 → Mo, Sn, W e Ag → pode indicar zona de metamorfismo de contato.

- PC 3 → Cs, Li, Tl, Y e Al → granitóides / pegmatitos.

PCA da zona do granito Amapari

- PC 1 → Cr, V, Ni e Fe → sugere laterita (pisólitos no solo), enquanto a associação Fe, Cu, Zn, As → sulfeto.

- PC 2 → associação Li, Cs, La e Y → características de pegmatito.

- PC 3 → Nb, Mo e W → características de pegmatitos/greisen e Bi, Mo e W → pode representar escarnito/metamorfismo de contato sobre biotita xisto.

PCA da zona das rochas metassedimentares

- PC 1 → associação Ba, Mn, Pb, Zn e Sr → sugerem rocha carbonática, enquanto Ba e Th → granitóide. O Co e Ni normalmente acompanham rocha máfica (+ Zn)/ultramáfica, portanto tem-se uma miscelânea de prováveis litologias, indicando contribuição de várias fontes.

- PC 2 → Se, Rb, W, Cs, Y e La → não é possível correlacionar com rochas metassedimentares.

PCA da zona do ortoanfibolito

- PC 1 → associação Co, Ni, Fe, V, Cr, Mn → confirmam a rocha máfica subjacente.

- PC 2 → associação Zr, Al, Hf, Ga, Hg, V e Sn → provável contaminação de biotita xistos adjacentes. Sn é estranho neste ambiente.

- PC 3 → Sb e Au→ sulfeto. Li e Al → sugerem pegmatito, porém não possuem qualquer relação com ortoanfibolitos. Deve haver problema de mapeamento.

PCA da zona dos granitóides indiferenciados

- PC 1 → associação Sc, Fe e Be → relacionadas a granitóides (menos ácido) e Cu, Fe e Zn→ sulfetos.

- PC 2 → La, Th e Ba → vínculo com granitóides.

- PC 3 → Zr e Sr → relacionados a granitóide.

- A ausência do ouro, nos PC principalmente das zonas mineralizadas N-S e NW pode ser explicada pela grande quantidade de valores próximos ou abaixo do limite de detecção, presentes na população amostrada e que não participam com peso significativo quando a PCA é aplicada.
- Aplicação de estatística multivariada e a técnica da Análise de Componentes Principais nos dados geoquímicos de solo das malhas Silvestre-Vila do Meio e Bananeira demonstram ser importante aplicativo no tratamento de grande quantidade de amostras, valiosa ferramenta para prospecção mineral e bastante útil no auxílio ao mapeamento geológico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Akizuki, M. 1984. Origin of optical variations in grossular-andradite garnet. American Mineralogist, 69, p. 328–338.

ALS Chemex. 2005. Catálogo de preparação e métodos analíticos.

Avelar, V.G. 2002. Geocronologia Pb-Pb em zircão e Sm-Nd rocha total da porção centro-norte do Amapá-Brasil: Implicações para a evolução geodinâmica do setor oriental do Escudo das Guianas. Tese de Doutorado. Centro de Geociências. Universidade Federal do Pará, 213 p.

Barbarin, B. 1999. A review of the relationships between granitoids types, their origins and their geodynamic environments. Lithos, 46. p. 605-626.

Borges, A.A.S.; Lafon, J.M; Villas, R.N.N. 2003. Magmatismo Tardi-Transamazônico na Serra do Navio, Região Central do Amapá: Evidências Geocronológicas. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 41, João Pessoa. Sociedade Brasileira de Geologia, Anais, 435 p.

Borges, O.C. 1999. Processo MME/DNPM 851.676/92. Relatório final de pesquisa. Mineração Itajobi Ltda (inédito). In: Dardenne, M.A. & Schobbenhaus, C. 2001. Metalogênese do Brasil. Editora Universidade de Brasília, 392 p.

Clark, A.M. 1984. Mineralogy of the rare earth elements. In: P. Henderson. Rare Earth Element Geochemistry. Elsevier, Amsterdan, 2. p. 33-62.

Costa, M.L. 2007. Introdução ao intemperismo laterítico e à lateritização. Prospecção geoquímica de depósitos minerais metálicos, não-metálicos, óleo e gás. Ed. O.A.B. Licht; C.S.B Mello; Silva, C.R. Silva. Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Geoquímica – SBGq / CPRM – Serviço Geológico do Brasil, p. 199-244.

Dardenne, M.A. & Schobbenhaus, C. 2001. Metalogênese do Brasil. Editora Universidade de Brasília, 392 p.

Deer, W.A.; Howie, R.A.; Zuzzman, J. 1992. An introduction on the rock forming minerals. 2ª ed., reimpressão 1996. Longman.

Eilu, P.K.; Mathison, C.I.; Groves, D.I. & Allardyce, W.J. 1999. Atlas of alteration assemblages, styles and zoning in orogenic lode-gold deposits in a variety of host rock and metamorphic settings. The University of Western Austrália, Publication 30, 50 p.

Einaudi, M.T.; Meinert, L.D.; Newberry, R.J. 1981. Skarn deposits. Economic Geology, 75 th Annyversary Volume, p. 317-391.

Faraco, M.T.L.; Melo, L.V.; Villas, R.N.N.; Soares, J.W. 2003. O Campo Taperebá do depósito aurífero Ampari, Amapá: Rochas encaixantes e minerografia. SBG/Núcleo Norte, Simpósio de Geologia da Amazônia, 8. Manaus, Resumos.

Faraco, M.T.L.; Marinho, P.A.; Costa, E.J.S.; Vale, A.G. 2004. Folha NA.22 – Macapá. In: Schobbenhaus, C.; Gonçalves, J.H.; Santos, J.O.S.; Abram, M.B.; Leão Neto, R.; Matos, G.M.M. & R.M. Vidotti (eds). Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo, Sistema de Informações Geográficas, Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil, CPRM, Brasília.

Figueiredo e Silva, R.C. 2004. Caracterização petrográfica e geoquímica de jaspilitos e minérios de ferro dos depósitos N1, N4W, N4E e N5E, Província Mineral Carajás, Pará: implicações para a mineralização de ferro. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 155 p.

Fleet, A.J. 1984. Aqueous and sedimentary geochemistry of the rare earth elements. In: P. Henderson. Rare Earth Element Geochemistry. Elsevier 2 p. 343-374.

Geladi, P. & Kowalski, B.R. 1986. Partial least-squares regression: a tutorial. Analytica Chimica Acta, 185, p. 1-17. In: Parreira, T.F. 2003. Utilização de métodos quimiométricos em dados de natureza multivariada. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Campinas, 91 p.

GEOSOFT. 2005. Montaj Geochemistry, Tutorial and User Guide, 236 p.

Grossi Sad, J.M. & Dutra, C.V. 1987. Fracionamento dos elementos terras raras e suas aplicações em metalogênese. Parte I: princípios gerais. Congresso Brasileiro de Geoquímica, 1, Porto Alegre, 40 p.

Grunfeld, Katrin. 2005. Vizualization, integration and analysis of multi-element geochemical data. 44 p. Disponível em www.lwr.kth.se/Publikationer/ PDF_Files? LWR_PHD1018. pdf> Acesso em 6 nov. 2006.

Henderson, P. 1984. General geochemical properties and abundances of the rare earth elements. In: P. Henderson. Rare Earth Element Geochemistry. Elsevier 2, p. 1-29.

Horikava, E. & Ferreira Filho, C.F. 2003. Corpos máficos-ultramáficos acamadados da região de Serra do Navio – AP. SBG/Núcleo Norte, Simpósio de Geologia da Amazônia, 8. Manaus, Resumos.

James, H.L. 1954. Sedimentary facies of iron-formation, vol3, nº3. In: Bulletin of the Society of Economic Geologists, p. 235-293.

Kaiser, H.F. 1958. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. Pyrometrical, 23, p. 187-200. In: GEOSOFT. 2005. Montaj Geochemistry, Tutorial and User Guide, 236 p.

Kerr, P.F. 1959. Mineralogia Optica. 3ª edição., reimpressão 1965. Mc Graw-Hill Book Company, Inc. 433 p.

Klein, C. 2005. Some Precambrian banded iron-formations (BIFs) from around the word: Their

age, geologic setting, mineralogy, metamorphism, geochemistry, and origin. American Mineralogist, 90, p 473-1499.

Laboratório ALS Chemex. 2005. Catálogo de preparação e métodos analíticos de amostras .

Lima, M.I.C.; Montalvão, R.M.G.; Isslerr, R.S.; Oliveira, A.S.; Basei, M.A.S.; Araújo, H.J.T. de; Silva, G.G. 1974. Projeto RADAM, Folha NA/NB.22 Macapá. Rio de Janeiro: DNPM, v. 6. (Levantamento de Recursos Naturais, 6).

Maniar, P.D. & Piccoli, P.M. 1989. Tectonic discrimination of granitoids. Geological Society of America Bulletin, 101. p. 635-643.

Mattoso, S.Q. & Formoso, M.L.L. 2007. Princípios básicos para prospecção geoquímica. Prospecção geoquímica de depósitos minerais metálicos, não-metálicos, óleo e gás. Ed. O.A.B. Licht; C.S.B Mello; Silva, C.R. Silva. Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Geoquímica – SBGq / CPRM – Serviço Geológico do Brasil, p. 97-152.

McLennan, S.M. 1989. Rare earth elements in sedimentary rocks: Influence of provenance and sedimentary process. In B.R. Lipin & G.A. Mc Kay, editors. Geochemistry and Mineralogy of RARE EARTH ELEMENTS. Mineralogical Society of America. Reviews in Mineralogy, 21. p.169-200.

Mc Reath, I. & Faraco, M.T.L. 1997. Sm-Nd and RB-Sr systems in part of the Vila Nova metamorphic suite, northern Brazil. In 1 SAS, South American Symposium on Isotope Geology. Campos do Jordão. Extended Abstracts. p. 194-196.

Melo, L.V. 2001. Estudo do campo Urucum do depósito Amapari, Amapá, com base em dados petrográficos, de química mineral e microtermométricos. Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Petrologia). Universidade Federal do Pará. Belém. 112 p.

Melo, L.V. & Villas, R.N.N. 2001. O depósito aurífero Amapari, Amapá: Fluidos mineralizantes e tipologia. In SBG Núcleo Norte, VII Simpósio de Geologia da Amazônia, Belém. CD-ROM.

Melo, L.V.; Villas, R.N.N.; Soares J.W.; Faraco, M.T.L. 2001. O depósito aurífero de Amapari, Amapá: rochas encaixantes, química mineral e metamorfismo. In SBG Núcleo Norte, VII Simpósio de Geologia da Amazônia, Belém. CD-ROM, p. 140-143.

Melo, L.V.; Villas, R.N.N.; Soares J.W.; Faraco, M.T.L. 2003. Geological setting and mineralization fluids of the Amapari gold deposit, Amapá State, Brazil. Géologoie de la France, 2-3, p. 111-23.

Meinert, L.D. 1993. Igneous petrogenesis and skarn deposits. In: R.V.; Sinclair, W.D.; R.I. and Duke, J.M. (eds) Mineal Deposit Modeling: Geological Association of Canada, Special Paper, 40. p. 569-583.

Meinert, L.D. 1992. Skarns and skarn deposits. Geoscience Canada, 19. p. 62-145.

Meinert, L.D. 1989. Gold skarn deposits-geology and exploration criteria. In: Keais, R.R.; Ramsay, W.R.H.; Groves, I. (eds). The geology of god deposits. Economic Geology Monograph, 6, p. 537-552.

Mingoti, S.A.2005. Análise de dados através de métodos de estatística multivariada uma abordagem aplicada. Ed UFMG, 295 p.

Mueller, A.G. 1997. The Nevoria gold skarn deposit in Archean iron-formation, Southern Cross greenstone belt, western Australia: I. Tectonic setting, petrography, and classification. Economic Geology. v. 92. p. 181-209.

NCSS 2000 and Pass Trial, Tutorial, 2000.

Palmer, M. Principal components analysis. http://ordination. okstate.edu/PCA.htm, sem referência do ano.

Parreira, T.F. 2003. Utilização de métodos quimiométricos em dados de natureza multivariada, dissertação de mestrado em Química, Campinas, UNICAMP, 91 p.

Peter, J.M. 2003. Ancient iron formation: their genesis and use in the exploration for stratiform base metal sulphide deposits, with examples from the Bathurst Mining Camp, p. 145-181. In: D.R. Lentz (Ed) Geochenistry of Sediments and Sedimentary Rocks: Evolutionary Considerations to Mineral Deposit-Forming Environments.

Pettijohn, F. J. 1975. Sedimentary rocks. Harpers & Row, Publishers, Inc. 3ª ed. 526 p.

Pinto, R.M.C. Assimetria e Curtose. http://famat.ufu.br/prof/rogerio/rogerio_arquivos, sem referência do ano.

Reis, M.M. 1997. Aplicação de métodos quimiométricos em separação de espectros e reconhecimento de padrões. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Campinas. In: Parreira, T.F. 2003. Utilização de métodos quimiométricos em dados de natureza multivariada. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Campinas, 91 p.

Reis, M.M & Ferreira, M.M.C. 1999. Separação de espectros simulados e de luminescência total através do método generalizado de anulação do posto (GRAM). Química Nova, 22, p. 11-17. In: Parreira, T.F. 2003. Utilização de métodos quimiométricos em dados de natureza multivariada. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Campinas, 91 p.

Ribeiro, F.A.L. 2001. Aplicação de métodos de análise multivariada no estudo de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Campinas. In: Parreira, T.F. 2003. Utilização de métodos quimiométricos em dados de natureza multivariada. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Campinas, 91 p.

Robb, L. 2005. Introduction to Ore-Forming Process. Blackwell, 373 p.

Robertson, S. 1999. BGS Rock classification scheme, v. 2. Classification of metamorphic rocks.

British Geological Survey Research Report, RR 99-02.

Rollinson, H.R., 1993. Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation. Singapure, Longman, 352 p.

Rosen, O.; Desmons, J.; Fettes, D. 2007. Metacarbonate and related rocks. IUGS Sub commission on the systematics of metamorphic rocks. Web version of 01.02.07. www.bgs.ac.uk/scmr/home.html.

Santos, J.O.S. 2003. Geotectônica dos Escudos das Guianas e Brasil-Central. In: L.A. Bizzi; C. Schobbenhaus; R.M. Vidotti & J.H. Gonçalves (Eds) Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil, CPRM, Brasília, p.169-226.

Scarpelli, W. 1970. The Serra do Navio manganese deposit (Brazil). Proc. Kiev Symposium. (Earth Sciences, 9).

Seoane, J.C.S.; Porto, C.G.; Almeida, A.A.; Souza, S.R.C. 2006. – Mapeamento geoquímico de amostras de solo em ambiente laterítico na amazônia. ADIMB. Simpósio de Exploração Mineral, 2. Seção Painel, Ouro Preto.

Smilde, A.K. 1992. Three-Way analyses problems and prospects. Chemonm. Intell. Lab. Syst., 15, p. 143-157. In: Parreira, T.F. 2003. Utilização de métodos quimiométricos em dados de natureza multivariada. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Campinas, 91 p.

Statsoft. Statistica 6.0. Disponível em www.statsoft.com.textbook/stfacan; Principal Components and Factor Analysis. p. 1984-2003.

Strang, G. 1976. Linear algebra and its applications. Academic Press, New York, 2nd ed., In: Parreira, T.F. 2003. Utilização de métodos quimiométricos em dados de natureza multivariada. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Campinas, 91 p.

Tassinari, C.C.G. & Macambira, J.B. 1999. Geochronological provinces of the Amazonian Craton. Episodes, v.22, n.3, p. 174-182.

Tassinari. C.C.G.; Bettencourt, J.S.; Geraldes, M.C.; Macambira, M.J.B.; Lafon,. J.M. 2000. The Amazon Craton. In: U.G. Cordani; E.J. Milani; A. Thomaz Filho; D.A. Campos (Eds) *Tectonic Evolution of South America*. Rio de Janeiro: International Geological Congress, 31, p. 41-95.

Tauler, R.; Barcello, D.; Thurman, E.M. 2000. Multivariate correlation between concentrations of selected herbicides and derivatives in outflows from selected US Midwestern reservoirs. Environmental Science & Technology, 34, p. 3307-3314. In: Parreira, T.F. 2003. Utilização de métodos quimiométricos em dados de natureza multivariada. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Campinas, 91 p

Teixeira, A. A.; Seoane, J. C. S.; Porto, C. G.; Souza, S.R.C. 2006. Mapeamento geoquímico de amostras de solo em ambiente laterítico na Mina do Amapari, Amapá.. In: SBG núcleo

Bahia-Sergipe, XLIII Congresso Brasileiro de Geologia, Aracajú. Anais, 381 p.

Thurstone, L.L. 1931. Multiple factor analysis. Psychological Review, 38, p.406-427. In Statsoft. Statistica 6.0. Disponível em www.statsoft.com.textbook/stfacan; Principal Components and Factor Analysis. p. 1984-2003.

Trendall, A.F. 1983. Introduction. In: A.F. Trendall and R.C. Morris (Eds) Iron-Formation Facts and Problems. Elsevier, Amsterdam, p. 1-11.

Williams, H.; Turner, F.J; Gilbert, C.M. 1982. Petrography an introduction to the study of rocks in thin sections, second edition, 626 p.

Winkler, H.G.F. 1977. Petrogênese das rochas metamórficas; tradução: Carlos Burger Júnior; revisão: Ruy Ozório de Freitas. São Paulo, ed. Edgar Blucher; Porto Alegre, Universidade do Rio Grande do Sul, 258 p.

Wold, S. 1987. Principal component analysis, Chemom. Intell. Lab. Sys., 2, p. 37-52. In: Parreira, T.F. 2003. Utilização de métodos quimiométricos em dados de natureza multivariada. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Campinas, 91 p.