



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

**INSTITUTO DE
GEOCIÊNCIAS**

**DEPARTAMENTO DE
GEOLOGIA**

**DISSERTAÇÃO DE
MESTRADO**

**GEOLOGIA DO DEPÓSITO DE OURO DA MINA DE RAPOSOS,
QUADRILÁTERO FERRÍFERO
COM ÊNFASE NA ALTERAÇÃO HIDROTHERMAL**

AUTOR PATRÍCIA ALVES JUNQUEIRA

ORIENTAÇÃO PROF. DR. EDUARDO ANTÔNIO LADEIRA

A busca do entendimento dos mistérios da natureza não é, nem de longe, uma tarefa fácil. Ela é sim, uma alternância de momentos de extrema felicidade por se achar que se está perto “da verdade”, e as muitas horas de angústia por se sentir extremamente limitado e incapaz de transpor as barreiras destes grandes mistérios.

*Dedico este trabalho às pessoas queridas que estiveram presentes
nesta minha caminhada:*

aos meus pais e meus irmãos, pela confiança e apoio em todos os momentos,

*aos meus pequenos Yuri e Iago, que nasceram durante essa
busca,*

ao Eduardo, meu companheiro, que foi peça determinante no meu entendimento de parte deste grande mistério...

AGRADECIMENTOS

- ao meu orientador, Prof. Eduardo Antônio Ladeira, pelas valiosas discussões e incessante estímulo durante todas as etapas deste trabalho;
- ao CNPq pela bolsa de mestrado, e à FAPEMIG pelo auxílio concedido e bolsa complementar de mestrado ;
- à Mineração Morro Velho (MMV) na pessoa dos geólogos Geraldo A. Hibráhim de Oliveira e Paschoal C. Clemente por todo o apoio logístico concedido, desde visitas à mina até a utilização das dependências da empresa para descrição de lâminas delgadas ao microscópio, sempre que lhes foi solicitado;
- à Prof. Lydia M. Lobato pelas valiosas discussões relativas ao entendimento da alteração hidrotermal do depósito estudado;
- ao geólogo Frederico Wallace R. Vieira (MMV), pelo empréstimo de algumas das fotografias e fotomicrografias aqui apresentadas e auxílio na seleção e discussão de lâminas do depósito de ouro da Mina de Cuiabá;
- ao geólogo Eduardo J. Machado Simões, pela valiosa colaboração durante todas as etapas do trabalho, desde a concepção do mesmo;
- aos Profs. José Carlos Gaspar (coordenador de laboratório) e Nilson P. Botelho, do Laboratório de Microsonda Eletrônica do Instituto de Geociências da UnB, pelo apoio constante durante as análises de lâminas naquele laboratório;
- aos geólogos da MMV, Mário Corbani, e Fernando Duarte Gonçalves pelo auxílio na área de informática; ao geólogo Paulo de Tarso Fortes, pelo empenho nas seções feitas no *Software Datamine*;
- ao amigo Marcelo Felipe Rosa pelas fotografias das amostras-de-mão;
- aos amigos Elayr Júnior e Rodrigo Vilela, da PWL Engenharia, pela permissão de utilização dos microcomputadores da empresa, sempre que foi preciso;
- aos colegas da CPRM das gerências de Geologia e Recursos Minerais (GEREMI) e de Relações Institucionais e de Desenvolvimento (GERIDE) por todas as formas de colaboração, em especial , aos geólogos Clayton Piva Pinto e Nelson Baptista de O. R. Costa, pelo apoio logístico na fase final deste trabalho;
- ao geólogo João H. Grossi Sad, da GEOSOL, pelo grande auxílio nas discussões e interpretação dos dados de ETR;
- a todos aqueles que se fizeram presentes durante uma ou outra parte deste trabalho;
- e em especial, aos meus filhos, Yuri e Iago, e ao meu companheiro, Eduardo, pela presença positiva no transcorrer de todo o trabalho.

RESUMO

O depósito de ouro da Mina de Raposos está hospedado na formação ferrífera bandada (*BIF*) do Grupo Nova Lima, base do Supergrupo Rio das Velhas (SRV), Quadrilátero Ferrífero. A seqüência de rochas do depósito situa-se, em termos estratigráficos, nas Unidades Metavulcânica e Metassedimentar Química, na proposta de Ladeira (1980), na Unidade Inferior do Grupo Nova Lima, segundo Oliveira *et al.* (1983), ou na Unidade Ouro Fino, na concepção da divisão proposta por DNPM/CPRM (1996).

As encaixantes da formação ferrífera são metakomatiítois peridotíticos (no *hanging wall*), metabasaltos toleiíticos (*foot wall*) e metapelitos carbonosos. As evidências para estes protólitos advêm da assinatura geoquímica global dessas rochas, em termos do conteúdo de elementos-traço pouco móveis e, fundamentalmente, do padrão de fracionamento de elementos terras raras (ETR).

A grande quantidade de plagioclásio de composição albítica perfazendo cerca de 30 a 40% nos metabasaltos com alteração hidrotermal incipiente, são aqui interpretadas como fruto de espilitização dos basaltos, no piso oceânico.

Todo o pacote de rochas encontra-se intensamente deformado e alterado hidrotermalmente. A alteração hidrotermal está relacionada a zonas de cisalhamento geradas durante o primeiro evento deformacional registrado nas rochas.

Os produtos resultantes da alteração caracterizam diversos tipos petrográficos, os quais são associados a diferentes estágios de alteração, denominados de estágios incipiente (distal em relação à hospedeira) e avançado (próximo dos corpos de minério). Estes estágios, por sua vez, são representados por zonas de alteração, discriminadas com base em associações minerais diagnósticas.

Os produtos de alteração dos metabasaltos no **estágio incipiente** são: clorita-albita-calcita-quartzo xisto (Mbax), na **zona da clorita-albita**, e sericita-clorita-calcita/ankerita-quartzo xisto (X2 clo), na **zona da clorita-sericita**. Para os metakomatiítois, no estágio incipiente tem-se: talco-clorita-dolomita ferroana/calcita xisto (X3), na **zona do talco-clorita**, e clorita-dolomita ferroana-quartzo xisto (X3 s/ talco), na **zona do clorita-carbonato**.

No **estágio avançado** da alteração, metabasaltos e metakomatiítois gradam para tipos petrográficos que caracterizam zonas nominalmente semelhantes; na **zona do carbonato-albita**, os metabasaltos correspondem ao ankerita/ankerita ferroana/siderita magnésiana-albita-sericita-quartzo xisto (X2 alb), e os metakomatiítois, ao ankerita-albita-quartzo±clorita xisto (X3 s/ talco e Fx, albíticos). Na **zona do carbonato-sericita**, metabasaltos e metakomatiítois são convertidos, respectivamente, em: carbonato-sericita-quartzo xisto (X2) e ankerita/ankerita ferroana -fuchcita-quartzo±albita xisto (Fx).

Os litótipos mais alterados quando comparados a seus correspondentes metamórficos mostram pronunciado enriquecimento em Na₂O, K₂O, Ba, Sr e, menor enriquecimento em As e S, e ETR (exceto Sm, Eu, Gd) e pequena depleção em Zn, para os metakomatiítois. Nos metabasaltos nota-se pronunciado enriquecimento em K₂O, Ba e As, e uma marcante depleção na assinatura geral de ETR.

Os corpos de minério ocorrem em zonas de cisalhamento sub-paralelas ao acamamento das *BIFs*. O ouro está associado a sulfetos formados quando da alteração hidrotermal dessas rochas. As feições mais marcantes na *BIF* nas zonas mineralizadas são: a completa destruição do bandamento, a intensa sulfetação - com pirrotita sendo a fase sulfetada principal, seguida pela arsenopirita - e um característico crescimento dos cristais de carbonato.

A morfologia geral do depósito corresponde a uma grande dobra inclinada, gerada no 2º evento deformativo, sendo que os principais corpos de minério (*EW* e Espírito Santo) situam-se no flanco norte - flanco invertido -, em dobras de 2ª ordem. O *plunge* médio das dobras e dos corpos de minério é S85°E/22° (nível 28).

A alteração hidrotermal e conseqüente mineralização teria ocorrido no Arqueano, tendo os fluidos sido gerados possivelmente pela desidratação da pilha de rochas da seqüência *greenstone*, ao final do evento tectono-metamórfico que afetou estas rochas em condições de T e P da fácies xisto-verde, ou no limiar das fácies xisto-verde/anfibolito.

O 2º evento deformativo (D_2) teria ocorrido no Proterozóico, durante o Ciclo Transamazônico, quando as rochas foram metamorfoseadas na fácies xisto-verde.

O caráter notadamente restrito da remobilização da mineralização segundo estruturas de D_2 e a inexpressiva alteração hidrotermal relacionada a este evento, sugerem que o mesmo tenha tido um caráter mais “seco”, sem a presença de grandes volumes de fluido, como foi o caso do evento D_1 .

ABSTRACT

The gold deposit of the Raposos Mine is hosted by the banded iron formation (BIF) of the Nova Lima Group, of the Rio das Velhas Supergroup, Quadrilátero Ferrífero. The wall and host rocks of the gold deposit stratigraphically belongs to the Metavolcanic and Chemistry Metasedimentar units on the proposal by Ladeira (1980), Lower Unit of the Group, according to Oliveira *et al.*, 1983, or in the Ouro Fino Unit, according to the column proposed by the DNPM-CPRM mapping team (1996).

The wall rocks of the BIFs are now schistose rocks derived from peridotitic komatiites (in the hanging wall) and tholeiitic basalts (in the foot wall), and carbonaceous metapelites. The evidence for the protoliths comes from lithochemical studies and are: peridotitic komatiites have high values of Cr, Ni, Mg, Ni/Co ratio and low values of Zr, Y, Sn and Ti; metabasalts show Co, Cr, Ni, Sr values similar to the tholeiitic basalts TH2 type from Condie (1981). REE patterns also contribute to establish these protoliths.

The great quantity of albitic plagioclase from 30 to 40% in weight in the metabasalts with incipient hydrothermal alteration, as fine crystals in their matrix, is interpreted as a result of spilitization of the pristine ocean floor basalts.

All the rock pile is intensely deformed and hydrothermally altered. The hydrothermal alteration is related to shear zones developed during the first deformational event D₁ deciphered in the rocks.

The resulting products of the hydrothermal alteration are characterized by various lithotypes which are associated with the different alteration stages termed incipient and advanced stages. These stages are represented by corresponding alteration zones which are discriminated by their diagnostic mineral assemblages.

The **incipient stage** is represented among the alteration products of the metabasalts, by: a) chlorite-albite-carbonate-quartz schist (Mbax) in the chlorite-albite zone; b) sericite-chlorite-carbonate schist (X2clo) in the chlorite-sericite zone. In the metakomatiites, there is the talc-chlorite-carbonate schist (X3) in the talc-chlorite zone, and chlorite-carbonate-quartz schist (X3 without talc) in the chlorite-carbonate schist.

In the **advanced stage** of alteration not only the metabasalts but as well as the metakomatiites grade to lithotypes which characterise zones which are rather similar and represented in the metabasalts and metakomatiites, respectively by: a) carbonate-albite-sericite-quartz schist (X2alb) and carbonate-albite-quartz ± chlorite schist (X3 without talc and Fx, both with albite), that is the carbonate-albite zone; b) in the carbonate-sericite zone, by carbonate-sericite-quartz schist (X2) and carbonate-fuchsite-quartz ± albite schist (Fx).

The most advanced altered lithotypes when compared with their metamorphosed correspondent rocks have pronounced enrichment in Na₂O, K₂O, Ba, Sr and lesser enrichment in As, S and REE, (except Sm, Eu, Gd) and small depletion in Zn, for the metakomatiites. In the metabasalts there is a critical enrichment in K₂O, Ba and As, and a marked depletion of the REE.

The gold orebodies occur in shear zones which are subparallel to the bedding of BIFs. The gold is associated to the sulfides formed during the hydrothermal alteration of these rocks. The most outstanding features of the BIFs in the ore zones are the complete destruction of their bedding, their

intense sulfidization - with pirrhotite being the main sulfide fase, followed by arsenopyrite - and a characteristic growth of the crystals of carbonate.

The gross structure of the deposit is that of a major inclined fold, formed during the second deformation event and whose main ore bodies (Espírito West and Espírito Santo) are located at the northern reverse limb of the second order folds. The average plunge of the folds and ore bodies are S85°E,22° (Level 28).

The hydrothermal alteration and consequent mineralization process would have occurred in the Archaean, when the fluids would be possibly generated by the dehydration of the greenstone belt rocks pile at the waning of the tectonic and metamorphic event which affected these rocks at the T and P conditions of greenschist up to the boundary of the amphibolite facies of regional metamorphism.

The second deformative event is thought to have occurred during the Transamazonian Cycle in the Proterozoic, when the rocks were again metamorphosed at the greenschist facies.

The clear restrict features of remobilization of sulfides and gold according to the D₂ structures and the restricted related hydrothermal alteration suggest at least that this event had a dryer character, without the presence of great volumes of fluid as it would have occurred during the first D₁ event.

SUMÁRIO

ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE PRANCHAS	x
ÍNDICE DE QUADROS	xi
ÍNDICE DE TABELAS	xi
ÍNDICE DE FLUXOGRAMAS	xii
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xii
ÍNDICE DE ANEXOS	xiii
ABREVIACÕES	xiv
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Apresentação e Objetivos	1
1.2 Metodologia	1
2 CONTEXTO GEOLÓGICO	6
2.1 Geologia Regional	6
2.1.1 Trabalhos de âmbito geral	6
2.1.2 Dados geocronológicos	11
2.2 Geologia da Mina de Raposos	16
2.2.1 Introdução	16
2.2.2 Subdivisão dos tipos litológicos	16
2.2.3 Metamorfismo	18
2.2.4 Sobre as formações ferríferas	18
2.2.5 Os corpos de minério	19
2.2.6 Morfologia do depósito	22
3 GEOLOGIA DO NÍVEL 28 DA MINA DE RAPOSOS	25
3.1 Introdução	25
3.2 Caracterização Petrográfica	28
3.3 Geologia Estrutural	46
4 ALTERAÇÃO HIDROTERMAL	54
4.1 Introdução	54
4.2 Caracterização dos estágios da alteração	55
4.2.1 Assembléias metamórficas	57
4.2.2 Estágio incipiente da alteração	58

4.2.3 Estágio avançado da alteração	59
5 GEOQUÍMICA	66
5.1 Introdução	66
5.2 Geoquímica da alteração nas metamáficas e metaultramáficas	68
5.2.1 Metamáficas	68
5.2.2 Metaultramáficas	78
5.3 Formação Ferrífera	89
5.4 Tufito félsico (Xs)	89
5.5 Lapa Seca	92
6 GÊNESE DO DEPÓSITO	94
6.1 Introdução	94
6.2 Apresentação das hipóteses genéticas para o depósito	95
6.3 Gênese do depósito com base nos dados disponíveis	95
7 CONCLUSÕES	97
7.1 De caráter petrológico	97
7.2 Sobre a estruturação e gênese do depósito	98
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	99

Índice de Figuras

1 - Mapa de localização e vias de acesso da área estudada.	2
2 - Mapa geológico do Distrito Aurífero de Nova Lima (por Vieira, 1991a).	9
3 - Vista isométrica do nível 28 da Mina de Raposos, com representação dos corpos de minério Espírito West e Espírito Santo, segundo N40E/45.	26
4 - Seção inclinada, perpendicular ao plunge, no nível 28 da Mina de Raposos	27
5 - Mapa geológico do corpo EW no nível 30 da Mina de Raposos. Modificado de Vieira & Simões (1992).	48
6 - Estereograma de frequência para pólos de S_0 , Mina de Raposos, nível 28.	49
7 - Estereograma de frequência para pólos de S_2 .	49
8 - Estereograma de frequência para pólos de L_2 .	49
9 - Estereograma de frequência para pólos de S_3 .	49
10 - Estereograma de frequência para pólos de S_4 .	49
11 - Amostra de formação ferrífera, evidenciando dobra F_2 e a foliação plano-axial S_2 .	51
12 - Representação gráfica da classificação tectônica de basaltos.	67

Índice de Pranchas

1 - Vista da Mina de Raposos e da Usina de Tratamento do Queiroz.	3
2 - Zonas de cisalhamento na BIF.	21
3 - Fraturas S_2 na BIF e fotomicrografia de grão de ouro.	23
4 - Formação Ferrífera Bandada (BIF).	31
5 - Metamáfica e seus produtos de alteração.	35
6 - Metaultramáfica e seus produtos de alteração.	37
7 - Metaultramáfica e rocha correlata (Bix).	39
8 - Lapa Seca (LS), dique de metadiabásio (Md) e xisto carbonoso (X1).	42
9 - Xs.	43
10 - Clorita xisto (Clx).	45

11 - Micro- e meso-estruturas observadas na mina, relacionadas ao primeiro (D ₁), segundo (D ₂) e terceiro (D ₃) evento deformativo.	47
12 - Dique de metadiabásio (Md) evidenciando estruturas a ele associadas.	53

Índice de Quadros

1 - Coluna estratigráfica para o Quadrilátero Ferrífero.	7
2 - Divisões estratigráficas para o Grupo Nova Lima (por Vieira & Oliveira, 1988).	8
3 - Correlação estratigráfica para o Grupo Nova Lima (por Vieira & Oliveira, 1988).	8
4 - Subdivisão para o grupo Nova Lima (DNPM/CPRM, 1996).	10
5 - Síntese da Evolução Tectônica do Quadrilátero Ferrífero e Adjacências (por Chemale Jr et al., 1991).	12
6 - Síntese dos eventos deformativos do Grupo Nova Lima, segundo alguns autores, e estruturas correlatas.	24
7 - Composição modal, em % aproximada, para lâminas delgadas de litótipos do depósito de ouro da Mina de Raposos (nível 28 da mina).	29
8 - Síntese da mineralogia de cada litótipo, com base nos resultados das análises semi-quantitativas por microsonda eletrônica.	32
9 - Percentual estimado para os vários tipos de sulfeto, nas lâminas delgadas de formação ferrífera do corpo de minério Espírito Santo, níveis 28 e 30 da Mina de Raposos.	33
10 - Síntese dos estágios e zonas de alteração das máficas e ultramáficas, Mina de Raposos.	56
11 - Reações nas Rochas Máficas	61
12 - Reações nas Rochas Ultramáficas	62

Índice de Tabelas

1 - Percentagem relativa entre os minerais opacos da BIF do depósito de ouro de Raposos, para os minérios tipo 1 e 2 de Vieira, 1987b (por Vieira, 1991b).	20
2 - Associação do ouro com os demais minerais da BIF do depósito de ouro de Raposos, para os minérios tipos 1 e 2 de Vieira, 1987b (por Vieira, 1991b).	20
3 - Relações entre alguns ETR, utilizadas na discriminação das duas famílias de basaltos identificadas.	75

4 - Relações entre elementos para a média das metaultramáficas do depósito de ouro de Raposos, por zona de alteração, e conteúdo de alguns elementos traços.	88
--	----

Índice de Fluxogramas

1- Metamáfica e seus produtos de alteração	64
2- Metaultramáfica e seus produtos de alteração	65

Índice de Gráficos

1 - Diagramas para classificação das metamáficas do depósito de ouro de Raposos.	70
2 - Normalização de elementos maiores, traços e ETR das médias das amostras do depósito estudado, representativas das diferentes zonas de alteração, com relação à assembléia metamórfica (metabasalto).	71
3 - Diagramas de normalização dos metabasaltos do depósito estudado, das zonas mais alteradas com relação às zonas menos alteradas, para elementos maiores, traços e ETR.	73
4 - Variogramas de fracionamento de ETR para os metabasaltos do depósito de ouro de Raposos.	77
5 - Diagramas de discriminação de ambientes tectônicos para basaltos.	79
6 - Diagrama de discriminação de ambientes tectônicos de basaltos, segundo Shervais (1982).	80
7 - Diagramas para classificação das metaultramáficas do depósito de ouro de Raposos.	81
8 - Normalização de elementos maiores, para amostras de metaultramáficas de Raposos representativas das diferentes zonas de alteração, com relação à rocha menos alterada (X3 c/ act).	83
9 - Normalização de elementos traço para amostras representativas das diferentes zonas de alteração, com relação à rocha menos alterada (X3 c/ act).	84
10 - Normalização das médias de análises dos metakomatiitos de Raposos, de zonas mais alteradas, com relação às zonas menos alteradas, para elementos maiores, traços e ETR.	85
11 - Concentrações de elementos-traço das metaultramáficas de Raposos, normalizados à composição: A) do manto primitivo; B) do komatiito peridotítico com textura spinifex (STPK), de Condie (1981).	87
12 - Média dos valores de ETR das metaultramáficas de Raposos, nas diferentes zonas de alteração, normalizadas ao STPK.	87

13 - Variogramas de ETR da BIF do depósito de ouro de Raposos, normalizada ao NASC, analisado por Haskin et al. (1968).	90
14 - Variograma de ETR do Xs do depósito de ouro de Raposos e do dacito-riodacito FI de Condie (1981), normalizados ao condrito.	91
15 - Variograma de ETR da Lapa Seca do depósito de ouro de Raposos, normalizada ao NASC.	93

Índice de Anexos

1 – Seção esquemática da Mina de Raposos (1 anexo).	106
2 – Mapas geológico (01) e topográfico (02) da Mina de Raposos, entre os corpos Espírito West e N° 11, o segundo, para localização dos pontos de amostragem. Quadro de correspondência entre a numeração de campo e o número das amostras no mapa 02.	107
3 – Representação gráfica da composição de carbonatos e cloritas dos diversos litótipos do depósito de ouro de Raposos. Tabela com fórmula estrutural das cloritas das metamáficas e metaultramáficas. Tabelas com o resultado das análises químicas semi-quantitativas de minerais, por microsonda eletrônica.	110
4 – Tabelas com resultado das análises químicas de rocha total.	133
5 – Sumário de técnicas analíticas.	141

Abreviações Utilizadas

- Denominação simplificada dos litótipos estudados x denominação de mina:

Metabasaltos	epidoto- anfibólio xisto \Rightarrow Mba clorita-albita xisto \Rightarrow Mbax (metabasalto xistoso) clorita-sericita xisto \Rightarrow X2clo (X2 clorítico) carbonato-albita xisto \Rightarrow X2alb (X2 albítico) carbonato-sericita xisto \Rightarrow X2
Metakomatiíto	Anfibólio- talco xisto \Rightarrow X3 c/ act talco xisto \Rightarrow X3 clorita-carbonato xisto \Rightarrow X3 s/ tc carbonato-albita-clo/fuc xisto \Rightarrow X3 s/ tc ou Fx, albíticos carbonato-fuchsita xisto \Rightarrow Fx

formação ferrífera \Rightarrow BIF

carbonato-quartzo xisto (lapa seca) \Rightarrow LS

clorita-biotita xisto \Rightarrow Bix

metapelito carbonoso \Rightarrow X1

tufito félsico \Rightarrow Xs

clorita xisto \Rightarrow Clx

dique de metadiabásio \Rightarrow Md

- Outras abreviações:

Quadrilátero Ferrífero: QF

Mineração Morro Velho: MMV

Supergrupo Rio das Velhas: SRV

Supergrupo Minas: SGM

Elementos terras raras: ETR

Elementos terras raras leves: ETRL

Elementos terras raras pesados: ETRP

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

I.1 - APRESENTAÇÃO E OBJETIVOS

A mina de ouro de Raposos, de propriedade da Mineração Morro Velho S.A (MMV), localiza-se na porção NNW do Quadrilátero Ferrífero, na cidade homônima (FIG. 1, FOTOS 1 e 2), a 35 km a sudeste de Belo Horizonte, na seqüência vulcano-sedimentar do Grupo Nova Lima, de idade Arqueana. Uma seção esquemática com localização dos diversos níveis da mina é apresentada no Anexo 1.

A produção da mina é de 650 toneladas/dia de minério de ouro, com um teor ROM médio de 6,07 g/t, estando os trabalhos de lavra concentrados nos níveis 31 e 32 (1040 m de profundidade) e os de desenvolvimento nos níveis 34 e 36 (1150 m). As suas reservas (medida, inferida e indicada) compreendem 2,3 milhões de toneladas (dados fornecidos por Simões 1997, com. verbal).

A área em questão foi escolhida como área de trabalho da dissertação do Curso de Mestrado em Geologia Econômica e Aplicada, Instituto de Geociências (IGC), UFMG, por ser instigante a questão do estudo de um depósito hospedado exclusivamente em *BIF*, num contexto de rochas intensamente deformadas e alteradas hidrotermalmente. Não que isso não ocorra similarmente em outras áreas no Brasil ou em outros cinturões de rochas verdes (*greenstone belt*) no mundo mas, sim, porque há uma grande controvérsia na proposta genética para este tipo de depósito. Se por um lado, a restrição da mineralização à *BIF* sugere uma origem singenética para o depósito, as feições verificadas na zona mineralizada e nas encaixantes, quais sejam, a associação da mineralização com zonas de cisalhamento e extensivos processos de alteração, verificados em toda a seqüência, sugerem uma origem epigenética para o mesmo.

A geologia deste depósito foi então, investigada, a fim de se compreender estas relações, por meio do estudo das feições estruturais, da alteração hidrotermal e da contemporaneidade ou não, da geração do depósito com os processos deformacionais.

I.2 - METODOLOGIA

Os procedimentos adotados para o estudo geológico do nível 28 da Mina de Raposos iniciou-se pela consulta bibliográfica, que num primeiro momento foi centrado nos trabalhos já executados por geólogos da MMV nesta mina, além de outros autores que trabalharam na área em questão. Seguiram-se, então, as etapas de mapeamento, petrografia, litogeoquímica, química mineral, interpretação dos resultados e redação final da dissertação.

A grande maioria dos dados de campo aqui apresentados é fruto do mapeamento em detalhe realizado pela autora no nível 28 da Mina de Raposos (profundidade: 928 m), de meados de 1989 até o início de 1990, como bolsista de aperfeiçoamento científico do CNPq, sob a orientação do

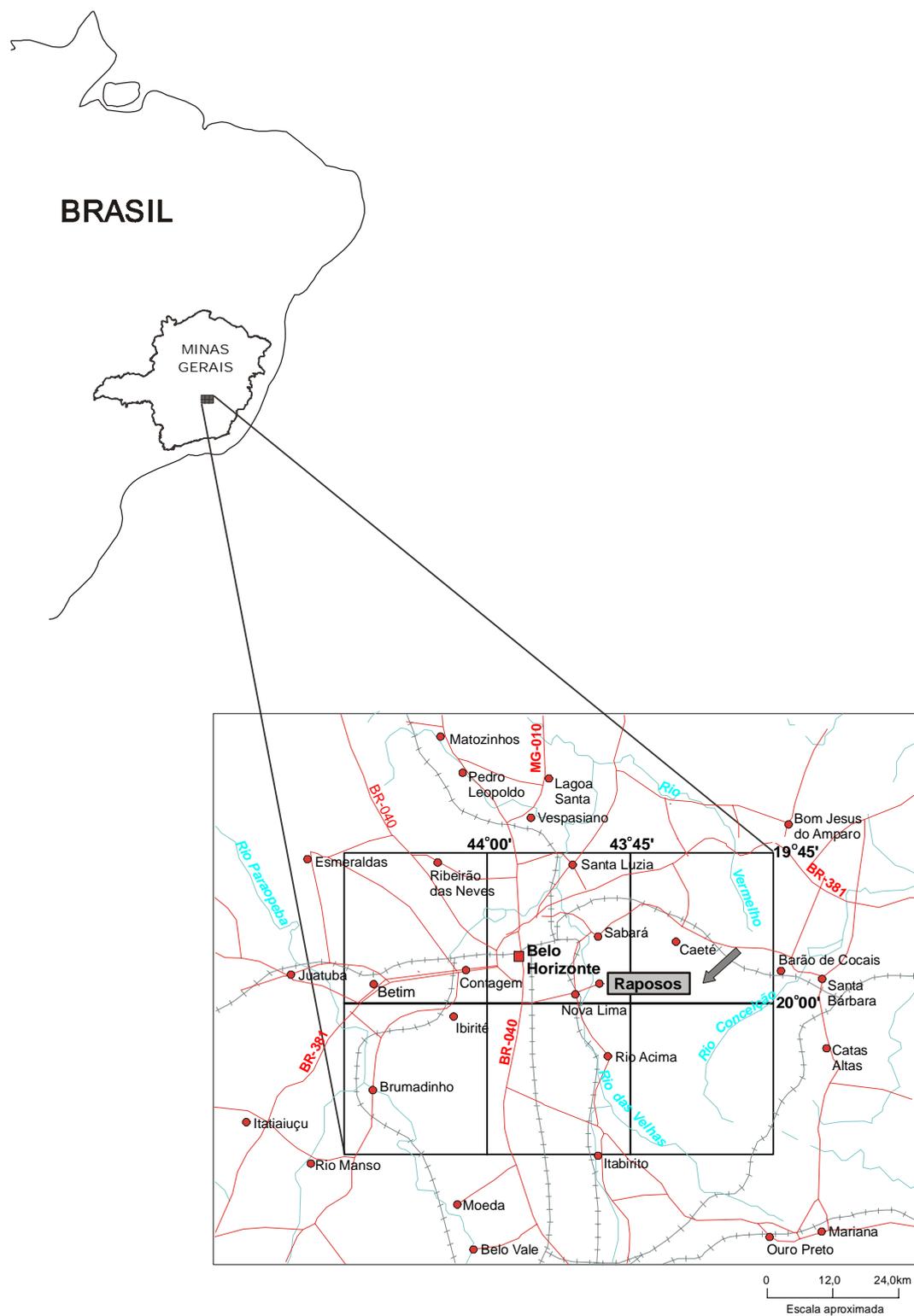


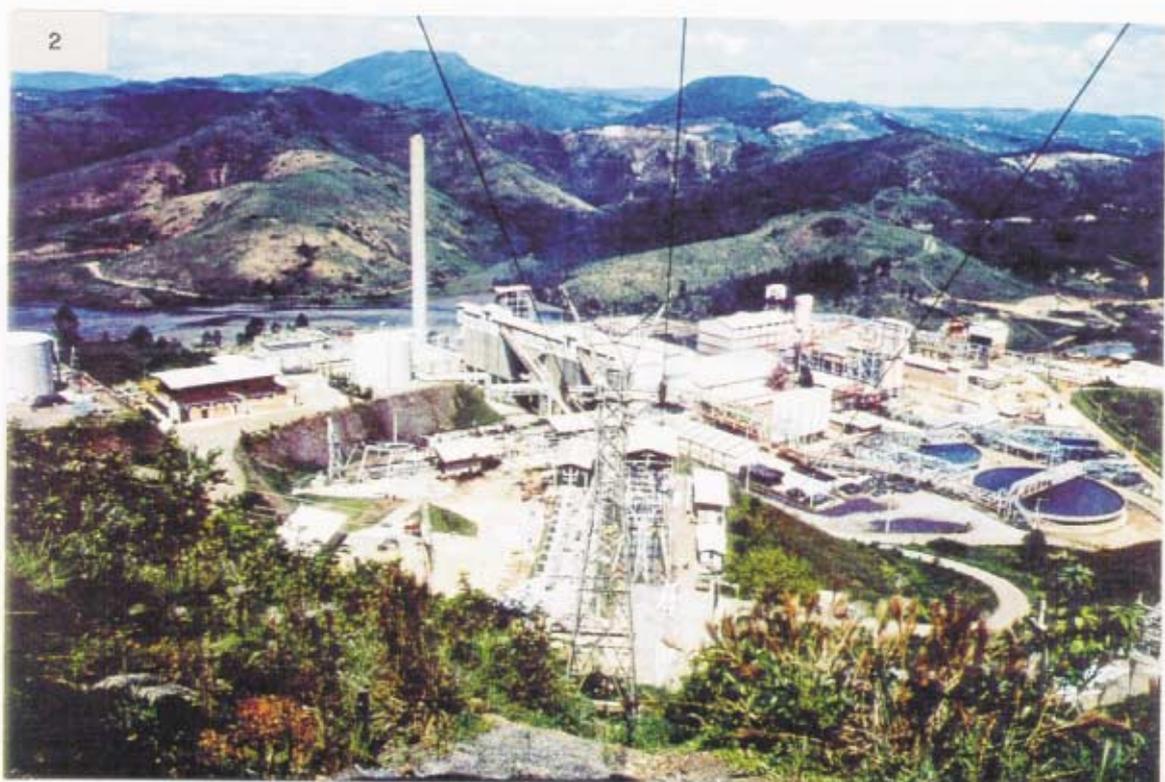
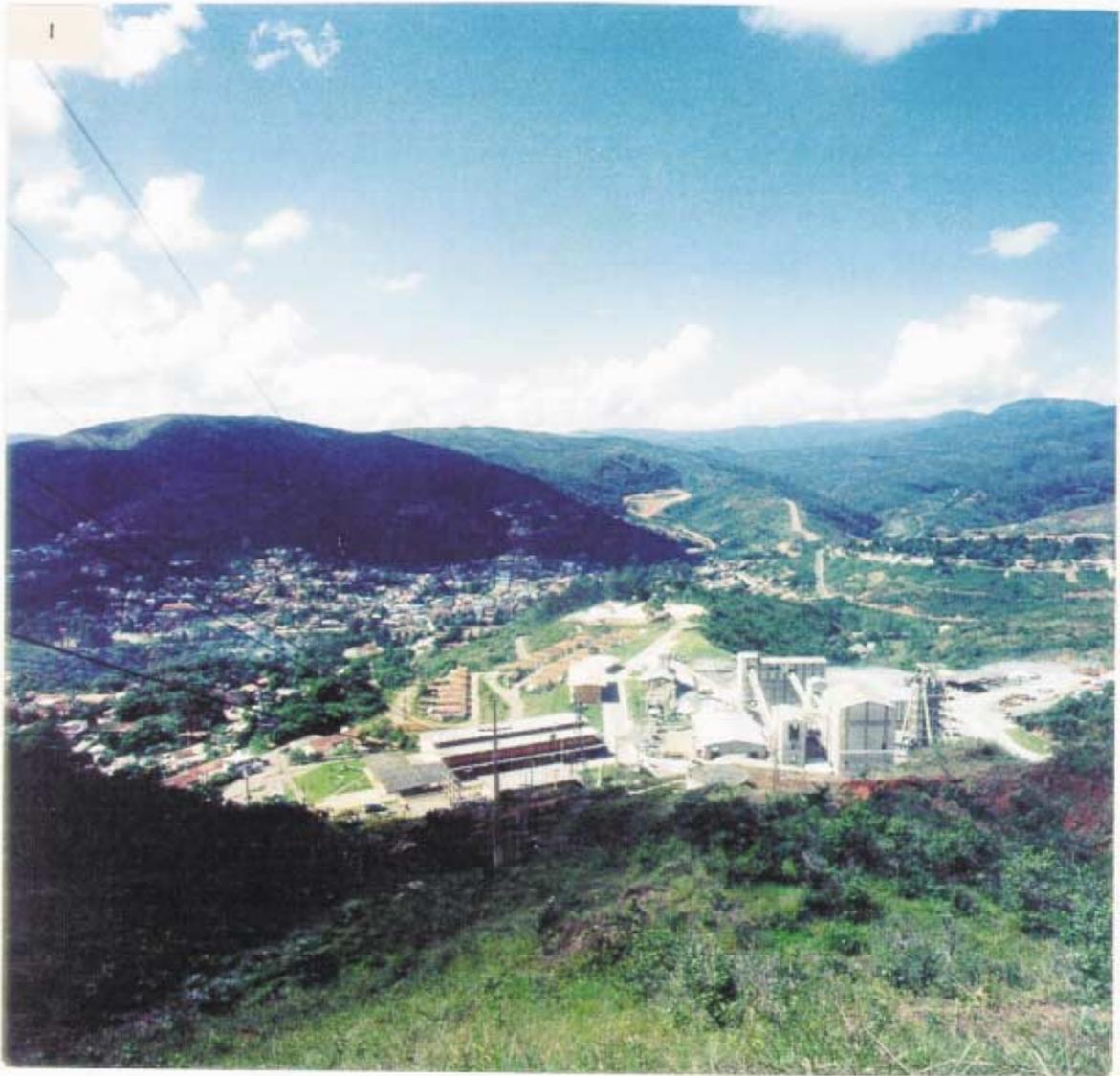
Figura 1 - Mapa de localização e vias de acesso da área estudada.

PRANCHA 1

VISTA DA MINA DE RAPOSOS E DA USINA DE TRATAMENTO DO QUEIROZ

Foto 1 - Vista da Mina de Raposos, tendo ao fundo a cidade homônima. Na extremidade direita da área da mina tem-se a torre do poço 4, o qual dá acesso ao subsolo.

Foto 2 - Vista da Usina de Tratamento do Queiroz, situada a cerca de 4 km de Raposos, onde é feito o beneficiamento do minério desta e de outras minas da Mineração Morro Velho.



professor Dr. Eduardo A. Ladeira. Foram mapeados 1180m de galeria, em escala 1:100, durante 81 dias, com média de 4 dias/semana e 4 horas/dia de trabalho.

O mapeamento de mina utiliza do método de projeção axiométrica, onde os pontos levantados - contatos litológicos, amostragem, dados estruturais – são projetados para um plano imaginário localizado, no caso das minas da MMV, a 2m acima do piso do distrito, utilizando como diretriz o *plunge* médio do nível em questão (no caso do nível 28, o *plunge* utilizado é de 22°). A fim de facilitar o levantamento topográfico das galerias e a nomenclatura das amostras, as galerias foram subdivididas em trechos denominados “séries”, seqüencialmente numeradas de oeste para leste. A numeração das amostras, então, foi feita através da composição das iniciais do corpo de minério mais próximo e o número da série onde se coletou a amostra (por ex.: ES1-S10, amostra 1 do corpo Espírito Santo, série 10). Uma vez lançados todos os dados das galerias mapeadas, em escala 1:500, foi feita a incorporação dos dados de sondagem disponíveis para este nível, além de mapas de subníveis do nível 26 (nível imediatamente superior ao 28) e do mapa geológico do nível 24, utilizando novamente da projeção axiométrica para fazê-la .

Na maior parte das vezes, as paredes das galerias foram lavadas, principalmente nas áreas de contatos litológicos e pontos de amostragem.

Foram coletadas das paredes das galerias cerca de 80 amostras, criteriosamente selecionadas e posicionadas quanto à sua localização, para fins de análises químicas e petrográficas. Os dados estruturais obtidos durante o mapeamento somam cerca de 670 atitudes planares e lineares.

Os produtos resultantes foram um mapa geológico-estrutural, em escala 1:500, bem como um relatório final (de 75 páginas), consolidando todos os dados (Junqueira & Ladeira, 1990).

Das amostras coletadas foram selecionadas:

- 58 amostras destinadas à confecção de lâminas delgadas para estudos petrográficos;
- 53, dentre estas amostras, foram analisadas para elementos maiores, traços e elementos terras raras (ETR), no GEOLAB/GEOSOL. Essas análises foram feitas em duas etapas distintas, de acordo com a obtenção do importante auxílio da FAPEMIG - bolsa complementar de mestrado à Patrícia A. Junqueira - e posteriormente, quando da liberação da verba prevista no Projeto de Pesquisa executado pela presente autora e o orientador desse trabalho, Prof. Eduardo Ladeira, e aprovado por este órgão em 1991 - Auxílio à Pesquisa: Fundep - FAPEMIG, Convênio 1789, FAPEMIG/ CEX - 025/91.

Todas as amostras foram lançadas no mapa topográfico do nível 28 da mina, apresentado no Anexo 2. Neste anexo é apresentado, ainda, o mapa geológico na escala 1:1000, reduzido e simplificado do original em escala 1:500.

Para efeito de comparação com os xistos hidrotermalizados identificados nos estudos petrográficos, outras 25 lâminas delgadas do acervo petrográfico da MMV de outros pontos da mina de Raposos e da mina de Cuiabá foram estudadas, com ênfase na alteração hidrotermal das encaixantes da BIF.

Para se conhecer a composição química das fases mineralógicas identificadas nas diferentes zonas de alteração descritas foi selecionado, então, um grupo de 22 lâminas, representativo dos diversos tipos litológicos, para análise semiquantitativa em microsonda eletrônica, realizadas no

Laboratório de Microsonda da Universidade de Brasília (UnB), dentro do convênio UFMG-UnB. Foram realizadas pela autora, um total de 160 análises mineralógicas.

Os dados químicos foram então, tratados, a fim de se obter a caracterização petroquímica dessas rochas, visando uma melhor compreensão do processo de alteração hidrotermal a que elas foram submetidas. A grande maioria desses dados foi agrupado em forma de tabelas de química mineral (Anexo 3), e geoquímica de rocha total (Anexo 4), utilizando-se o *Software Excel* e, posteriormente, os dados foram convertidos para serem exportados para o *Software Minpet*, onde foram feitos os diversos diagramas de classificação e discriminação de rochas.

Por fim, foi possível esboçar um modelo para a história da deformação, bem como caracterizar a petroquímica e a alteração hidrotermal dos xistos encaixantes da BIF, com base nos dados ora obtidos, e tendo em vista outros dados apresentados na literatura para esse tipo de depósito, face à atual evolução do conhecimento.

Para formatação da dissertação foram utilizadas as normas apresentadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

CAPÍTULO II

CONTEXTO GEOLÓGICO

II.1 - GEOLOGIA REGIONAL

II.1.1 - Trabalhos de âmbito geral

Inúmeros trabalhos já foram executados na região do Quadrilátero Ferrífero (QF) onde está situada a Mina de Raposos, uma vez que o QF é uma das áreas mais investigadas do Brasil em termos geológicos. Alguns autores publicaram sínteses a respeito da estratigrafia, tectônica e evolução geológica do QF, dentre os quais se destacam: Dorr (1969), Ladeira (1980), Ladeira & Viveiros (1984), Marshak & Alkmim (1989), Chemale Jr. *et al.* (1991) e DNPM/CPRM (1996). Nota-se, entretanto, que ainda há entre os autores citados, divergências acentuadas quanto à delimitação da estratigrafia e do arcabouço estrutural do QF. O QUAD. 1 mostra a coluna estratigráfica "padrão" para o QF segundo Dorr (1969) e a modificação proposta por Ladeira (1980).

O Grupo Nova Lima, considerado indiviso por Dorr (*op. cit.*), foi subdividido em três zonas por Callaghan (1958), e três unidades distintas por Ladeira (1980) e Oliveira *et al.* (1983). Uma síntese destas propostas pode ser vista no QUAD. 2. Estas propostas têm como maior ponto de divergência o posicionamento de alguns dos depósitos de ouro do QF, e mais especificamente aqueles do Distrito Aurífero de Nova Lima (FIG. 2). A correlação dos depósitos das minas de Raposos e Cuiabá à Unidade Inferior de Oliveira *et al.* (1983), e a caracterização de ultramáficas komatiíticas dentro desta unidade por Vieira *et al.* (1986) e Vieira (1987a), permitiram uma correlação mais precisa entre as três propostas estratigráficas, conforme pode ser visto no QUAD. 3.

A proposta mais divergente das outras duas é a de Callaghan (1958) pois coloca a Unidade Raposos no topo da estratigrafia. Ladeira (1980) correlaciona a Lapa Seca, hospedeira da mineralização da Mina de Morro Velho, com a BIF, hospedeira do ouro em Raposos, por meio das variações faciológicas, posicionando-as na unidade intermediária - a sua Unidade Metassedimentar Química. Para os geólogos da Mineração Morro Velho, entretanto, conforme pode ser visto nos diversos trabalhos de Vieira, o depósito da Mina de Raposos situa-se na Unidade Inferior de Oliveira *et al.* (1983), e o de Morro Velho na Unidade Superior. Vieira (1987a) considera ainda, que a Unidade Inferior no depósito de Raposos estaria cavalgada sobre a superior (vide FIG. 2).

Com base em mapeamento na escala 1:25.000 da maior parte da área recoberta pelo Supergrupo Rio das Velhas (SRV) no QF, durante a Fase II do Projeto Rio das Velhas, o Grupo Nova Lima é subdividido em três unidades informais (DNPM/CPRM, 1996), e a síntese dessa proposta é apresentada no QUAD. 4.

Quadro 2 - Divisões estratigráficas para o Grupo Nova Lima (segundo Vieira & Oliveira, 1988).

Autor	Subdivisão	Descrição	Espessura Máxima (m)
Door II (1969)	Indiviso	Filito em grande parte clorítico, grauvacas, formação ferrífera de fácies carbonática, metavulcânicas e subordinadamente quartzito, tilóides, conglomerado, dolomito	4.000
Callaghan (1958)	Unid. Raposos	Mina de Raposos	
	Unid. Morro Velho	Mina de Morro Velho	
	Unid. Faria	Mina do Faria	
Ladeira (1980)	Unid. Clástica	Grauvacas, xistos carbonáticos, quartzitos imaturos, quartzo xistos, conglomerados	400 a 800
	Unidade Metassedimentar Química	Formação ferrífera bandada, xistos tufáceos, xistos grafitosos	500
		Sedimento químico carbonático, zonas de conglomerado intraformacional carbonático e chertoso, filito	40 a 150
	Unidade Metavulcânica	Xistos-verdes (metabasaltos espilíticos), xistos tufáceos, metaultramáficas (lavas, intrusivas)	3.000
Oliveira <i>et al.</i> (1983)	Unid. Superior	Metassedimentos pelíticos com intercalações de rochas vulcânicas e vulcanoclásticas ácidas de composição dacítico-riolítica e metassedimentos químicos (lapa seca). Corresponde às minas de Morro Velho, Bela Fama e Bicalho	1.100
	Unid. Média	Metavulcânicas ácidas (metadacitos e metarriolitos), rochas vulcanoclásticas ácidas e filitos grafitosos (metassedimento). O topo é ocupado por um nível de metandesito com uma camada de formação ferrífera	600
	Unid. Inferior	Metandesitos exibindo lavas almofadadas e subordinadamente metabasaltos andesíticos com intercalações de metassedimentos (filitos grafitosos e quartzo-carbonato-clorita-sericita-xisto escuro com grafita) e rochas vulcanoclásticas de composição ácida. Grande número de camadas de formação ferrífera ocorrem nesta unidade. Corresponde às minas do Faria e Esperança III.	3.200

Quadro 3 - Correlação estratigráfica para o Grupo Nova Lima (segundo Vieira & Oliveira, 1988).

Oliveira <i>et al.</i> (1983)	Ladeira (1980)	Door II (1969)	Callaghan (1958)
Unidade Superior	Unidade Clástica	Indiviso	Unidade Morro Velho
Unidade Média	Unidades Metavulcânica e Metassedimentar Química		Unidades Faria e Raposos
Unidade Inferior			

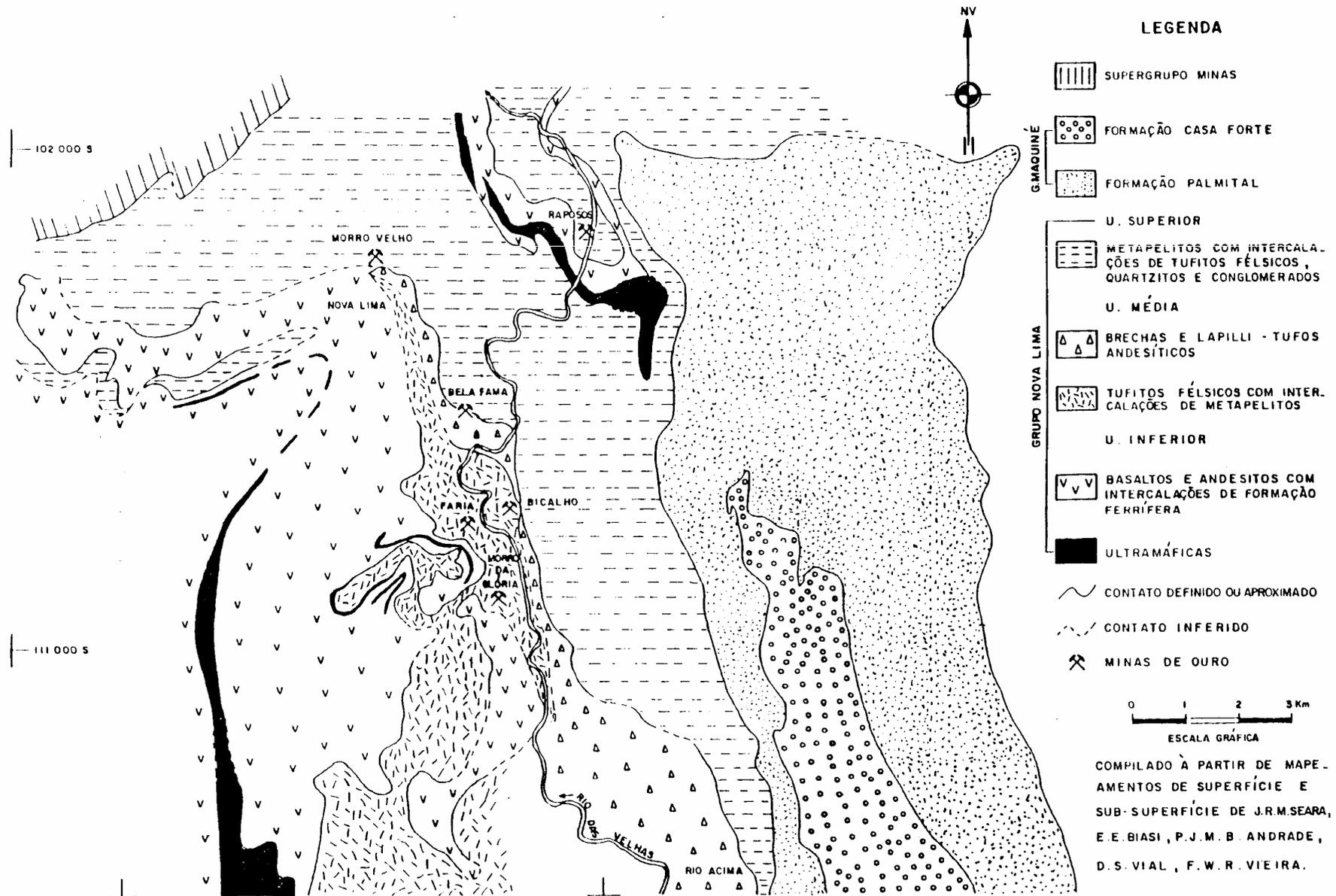


Figura 2 – Mapa geológico do Distrito Aurífero de Nova Lima. Fonte: Vieira (1991a).

Quadro 4 - Subdivisão proposta pelos geólogos da CPRM, para o Supergrupo Rio das Velhas (DNPM/CPRM, 1996).

		Ambiência	Formação/Unidade	Litótipo	
SUPERGRUPO RIO DAS VELHAS	GRUPO MAQUINÉ	Associação metassedimentar clástica não marinha (litorânea e fluvial)	Casa Forte -----D----- Palmital	quartzito, conglomerado ----- quartzo xisto	
	GRUPO NOVA LIMA	Associação metassedimentar clástica marinha (ressedimentada)	Miná Cór. do Sítio	Cor. da Paina Faz. Velha Pau d'Óleo Catarina Mendes	Metaturbiditos arenosos e argilosos Metagrauvas, calcissilicáticas
		Associação metavulcano-sedimentar clástica	Mestre Caetano	 Ribeirão Vermelho	Metagrauvas, metavulcano-clásticas Metavulcano-clásticas, metaturbiditos
		Associação metassedimentar química-pelítica	Santa Quitéria		Metapelitos e BIF's
		Associação metavulcano-sedimentar química	Morro Vermelho		Metavulcânicas, metapelitos, BIF's
		Associação metavulcânica plutônica	Ouro Fino		Metavulcânicas básicas e ultrabásicas
		máfica-ultramáfica	Quebra Osso	Complexo Cór. dos Boiadeiros	Metavulcânicas ultrabásicas Sill básico-ultrabásico

Vieira (1987c, *in* Vieira & Oliveira, 1988), com base principalmente em elementos traços de baixa mobilidade (Ti, Zr, Nb, Y), caracteriza o Grupo Nova Lima como uma seqüência vulcânica cálcio-alcálica indo desde andesitos-basálticos até riolitos, com intercalações Komatiíticas na base (Padilha, 1984) e esporádicas manifestações toleíticas (metabasalto de Cuiabá e diques de metadiabásio). Vieira (1990a) compara o cinturão de rochas verdes Rio das Velhas com diversos outros (da América do Norte, Austrália, África, entre outros) e conclui que há uma nítida correlação deste cinturão com os da América do Norte, mais precisamente com o do Abitibi.

As supracrustais do SRV e do Supergrupo Minas (SGM) evidenciam paragêneses mineralógicas de fácies xisto-verde a anfíbolito, crescendo de W para E (Guimarães, 1966; Miranda Barbosa, 1968; Dorr, 1969; Almeida, 1977; Herz, 1978; Hoefs *et al.*, 1982; Ladeira & Viveiros, 1984; Marshak & Alkmim, 1989). Segundo Guimarães (1966), o metamorfismo das rochas do QF é de natureza policíclica, e a paragênese atual pode refletir diaforese.

Dentre os diversos modelos propostos para a evolução tectônica do QF (Cordani *et al.*, 1980; Ladeira & Viveiros, 1984; Chemale Jr. *et al.*, 1991) existe um ponto de convergência entre eles: são reconhecidos três períodos orogênicos principais para o QF, sendo o primeiro arqueano - provavelmente correlacionável ao ciclo Jequié (ou Evento Rio das Velhas, na denominação de Carneiro, 1992), em torno de 2700 Ma - o segundo de idade proterozóica inferior (ciclo Transamazônico, em torno de 2000 Ma), e o terceiro, do final do Proterozóico Superior (ciclo Brasileiro, em torno de 600 Ma).

Marshak & Alkmim (1989) identificam para as rochas do SGM duas orogêneses proterozóicas, sendo a primeira do ciclo Uruaçuano e a segunda do Brasileiro. Uma discussão mais detalhada destes modelos pode ser vista no trabalho de Chemale Jr. *et al.* (1991). Este trabalho reúne ainda, uma grande quantidade de dados obtidos pelos autores e compilados dos estudos disponíveis sobre o QF e faz uma ampla síntese destes dados embasada em estudos detalhados de indicadores cinemáticos e análises radiométricas existentes até aquele momento para o QF (Herz, 1970; Cordani *et al.*, 1980; Thorpe *et al.*, 1984; Teixeira, 1985; Delhal & Demaiffe, 1985; Teixeira *et al.*, 1987; Machado *et al.*, 1989; Romano, 1990; Babinski *et al.*, 1991; Machado & Carneiro, 1992; Teixeira *et al.*, 1988; Carneiro, 1992).

II.1.2 - Dados geocronológicos

Será apresentado a seguir, um apanhado dos dados geocronológicos existentes até o momento para a região do Quadrilátero Ferrífero (QF). É dada uma ênfase aos dados que correspondem às unidades de interesse para o presente trabalho, quais sejam, dados direta ou indiretamente relacionados às rochas do Grupo Nova Lima. Para efeito de simplificação das citações de idades, os dados relativos às margens de erro não serão aqui mencionados, sugerindo-se aos leitores que se reportem aos trabalhos originais, para maiores detalhes.

Thorpe *et al.* (1984) analisaram, pelo método U/Pb, galenas de diversas minas do distrito aurífero de Nova Lima; as idades obtidas e suas respectivas interpretações foram as seguintes:

- Para a **Mina de Bela Fama**:
2.710 Ma \Rightarrow idade de formação da galena;
1.935 Ma \Rightarrow remobilização tardi-transamazônico
- Para as minas de **Bicalho, Esperança e Cuiabá**:
2.575 a 2.495 Ma \Rightarrow remobilizações durante eventos tectono-metamórficos do final do Arqueano.

Vale ressaltar que as galenas não apresentaram nenhum registro do Evento Brasileiro.

Machado *et al.* (1989a, 1992) foram os responsáveis pelas primeiras datações U-Pb em zircões de rochas do Supergrupo Rio das Velhas - em vulcânicas félsicas do Grupo Nova Lima. As diversas idades obtidas e respectivas interpretações apresentadas por estes autores foram as seguintes:

- Para o **Grupo Nova Lima**:
 - 2.776 Ma \Rightarrow idade de cristalização do meta-riolito analisado (próximo à Caeté);
 - 3.029 Ma \Rightarrow confirmaria a existência de crosta mais antiga (análise em rocha félsica);
 - 2.772 Ma \Rightarrow idade de cristalização do meta-riolito analisado (na região de Piedade do Paraopeba);
 - 2.883 e 2.912 Ma \Rightarrow idades de zircões herdados, as quais confirmariam a existência de rochas mais antigas na região;
- Para rochas dos complexos **Caeté, Bonfim e Bação**:
 - 2.776 e 2.721 Ma \Rightarrow complexos Caeté e Bonfim, respectivamente; representariam dois períodos de magmatismo ,sendo o primeiro contemporâneo à atividade vulcânica;
 - 2.030 - 2.060 Ma \Rightarrow Complexo do Bação; indicariam metamorfismo e fusão parcial na porção sudoeste do complexo;
- Para a **Formação Sabará** (Supergrupo Minas):
 - 2.125 Ma \Rightarrow seria a idade máxima de deposição dos sedimentos.

Chemale Jr. *et al.* (1991) propõem um modelo para a evolução tectônica do QF e adjacências, elaborando uma síntese dessa evolução (QUAD. 5).

Quadro 5 - Síntese da Evolução Tectônica do Quadrilátero Ferrífero e Adjacências (Chemale Jr *et al.*, 1991).

Geração de rochas	Idade	Caráter tectônico e outras características
1. Formação dos terrenos granito-gnáissicos mais antigos	> 2.920 Ma	Tectônica compressional com estruturação complexa.
2. Deposição da seqüência vulcano-sedimentar do SGRV (greenstone belt)	> 2.880 Ma	Tectônica extensional com magmatismo komatiítico e toleítico.
3. Deformação e metamorfismo do SGRV com magmatismo ácido a intermediário bem como geração de rochas granito-gnáissicas.	2.780 a 2.703 Ma	Tectônica compressional com caráter predominantemente direcional. Presença de foliação e bandamento com direção N-S e mergulhos altos bem como lineação mineral sub-horizontal a horizontal..
4. Deposição do Supergrupo Minas (início da deposição da unidade intermediária por volta de 2.400 Ma)	< 2.703 e > 2.100 Ma	Fase rift inicial com extenso depósito plataformal (intra-cratônico) subsequente.
5. Remobilização isotópica das rochas supramencionadas com formação de pegmatitos e anfíbolitos no embasamento e rochas de baixo grau no SGM.	2.060 a 2.030 Ma	Tectônica extensional com desenvolvimento de megazonas de cisalhamento extensionais, soerguimentos dos blocos arqueanos e formação dos megassinclinais (evento associado a um <i>metamorphic core complex</i> ?).
6. Intrusão de diques máficos	1.700 a 1.500 Ma	Tectônica extensional com rifteamento mesoproterozóico do Cráton São Francisco.
	1.200 a 900 Ma	Tectônica extensional relativa à abertura do proto-oceano Brasileiro/Panafricano.
7. Deformação e metamorfismo das unidades do QF	650 a 470 Ma	Tectônica compressional com implantação de um <i>fold-thrust belt</i> Brasileiro, porção intermediária a distal.
8. Tectônica mesoceno-zóica com formação de diques básicos e bacias sedimentares	< 130 Ma	Registros extensionais relativos à abertura dos continentes América do Sul e África.

Silva (1992), estudando os enxames de **diques máficos** do Quadrilátero Ferrífero e Espinhaço Meridional, faz uma correlação dos diques amostrados na Mina de Raposos à 2ª das 4 gerações de enxames de diques identificados na área estudada (Grupo II), e propõe para os mesmos a

idade de 906 ± 2 Ma, a qual foi obtida por Machado *et al.* (1989b) para o metadiabásio porfirítico da região de Pedro Lessa (U/Pb em zircão e badeleíta).

Segundo Silva (1992), este enxame de diques marca um importante período de distensão crustal que pode estar relacionado aos estágios iniciais do ciclo Panafricano-Brasiliano. A autora conclui que a presença ou não de magmatismo básico de idade transamazônica na região pesquisada é ainda uma questão em aberto, embora, conforme apontado por Teixeira *et al.* (1988; 1991, *in* Silva 1992), não tenham sido encontrados diques cuja geração pudesse estar relacionada a fenômenos extencionais deste evento.

Noce (1995) apresenta um rico acervo de dados geocronológicos U-Pb para a região do **Quadrilátero Ferrífero**, possibilitando importantes conclusões a respeito da evolução dos terrenos granito-gnáissicos; do posicionamento de plutonitos granitóides no quadro evolutivo regional e suas relações com unidades supracrustais; das idades de sedimentação das unidades enfocadas - Formação Moeda, Supergrupo Espinhaço, Grupo Sabará e Grupo Itacolomi - e de suas respectivas áreas-fonte; e de eventos metalogenéticos.

Segundo Noce (1995), no âmbito do *Greenstone belt* Rio das Velhas, a evolução desse cinturão estaria associado a um dos eventos do Neoarqueano, de idade entre 2.800-2.600 Ma, eventos estes que são interpretados como fruto do agrupamento de blocos continentais e que teriam promovido o retrabalhamento da crosta continental já formada e a adição de material juvenil. Tal evento foi denominado Evento Rio das Velhas por Carneiro (1992) – anteriormente, Ciclo Rio das Velhas (Ladeira, 1980) - e datado de 2.780-2.700 Ma. Numa primeira fase, por volta de 2.780-2.770 Ma, teria ocorrido o metamorfismo da crosta siálica antiga (Gnaiss Alberto Flores), intrusão de corpos tonalíticos (Tonalitos Samambaia) e vulcanismo félsico (Grupo Nova Lima), este com magmatismo contemporâneo (Complexo Caeté); a fase final, entre 2.770-2.700 Ma, estaria representada por intrusões de granitóides de pequenas dimensões no Complexo Bonfim, além de granitos no Complexo Belo Horizonte.

No aspecto metalogenético, o rutilo e titanita analisados por Noce (1995), provenientes de zonas de cisalhamento na chamada estrutura Geriza - mega-estrutura antiformal composta por metavulcânicas máficas e ultramáficas do Grupo Nova Lima, porção nordeste do QF - foram interpretados como tendo sido gerados em evento(s) metamórfico/metassomático(s) do Arqueano. Embora a estruturação da região em questão se deva, essencialmente, aos eventos tectônicos do Proterozóico (Belo de Oliveira & Teixeira, 1990, *in* Noce, 1995; Chemale Jr. *et al.*, 1991), algumas zonas de cisalhamento seriam estruturas arqueanas reativadas. Segundo Noce (*op. cit.*), os dados isotópicos obtidos para o rutilo indicam que o primeiro evento de cisalhamento/alteração hidrotermal na estrutura Geriza, com mineralização aurífera associada, é de idade arqueana, e é coerente com os resultados de determinações Pb-Pb em sulfetos da Mina de São Bento (DeWitt *et al.*, 1994), situada pouco a leste da área. O autor admite, ainda, que os processos metalogenéticos tenham sido recorrentes durante os eventos proterozóicos, de modo que a mineralização aurífera não poderia ser atribuída a um único episódio.

Machado *et al.* (1996) obtiveram novas datações – idades Pb/Pb e U-Pb de mais de 400 zircões detríticos – em metassedimentos do **Supergrupo Rio das Velhas** (SRV), Supergrupo Minas (SGM) e Grupo Itacolomi; no âmbito do SRV, as idades obtidas e respectivas interpretações foram as seguintes:

- Para metagrauvas do Grupo Nova Lima:
3.539 a 2.996 Ma \Rightarrow idades comparáveis a dos terrenos gnáissicos circundantes, os quais teriam servido como fonte para os sedimentos do Grupo Nova Lima;

- Para quartzitos do Grupo Maquiné:
3.261 a 2.877 Ma \Rightarrow em zircões detríticos; sua correlação com a idade do metamorfismo do Complexo Belo Horizonte indicaria uma erosão contínua das áreas-fonte mais antigas que o *greenstone belt*.

Em síntese, segundo Machado *et al.* (1996), estes dados mostram que as principais fontes de sedimentos para as seqüências detritais do SRV são mais antigas que o magmatismo do *greenstone belt*, o qual foi datado em 2.780-2.600 Ma (Machado & Carneiro, 1992; Machado *et al.*, 1989a); tais sedimentos seriam exclusivamente cratogênicos, e o cinturão Rio das Velhas teria se desenvolvido sobre, ou proximal, a uma crosta continental antiga e evoluída, com idade mínima de ca. 2,85 ba. A associação de crosta continental mais antiga com seqüências tipo *greenstone belt*, além da existência de plutonismo félsico a intermediário coevo com e pós-datando o vulcanismo máfico-ultramáfico, junto com sedimentos terrígenos pós-vulcânicos derivados de crosta mais antiga, são compatíveis com um ambiente de **arco de ilha** próximo a um bloco continental ou margem continental ativa; assim sendo, este contexto geotectônico é sugerido para o desenvolvimento do cinturão Rio das Velhas, semelhantemente à sugestão prévia de Ladeira (1988).

A escassez de zircões de idades entre 2,6 e 2,4 ba nas unidades proterozóicas do QF confirma resultados prévios para o Craton São Francisco, demonstrando a ausência de atividade magmática-metamórfica, naquele período de tempo (Machado *et al.*, 1996).

Com relação às diversas datações de unidades do Supergrupo Minas vale ressaltar que, assim como já exposto em diversos outros trabalhos (por ex. Dorr II, 1969; Chemale *et al.*, 1991; Marshak *et al.*, 1992), as idades U-Pb disponíveis indicam que o principal evento tectônico que afetou as rochas do SGM teve lugar durante o Transamazônico (2.059-2.030 Ma - Machado *et al.*, 1989a; Noce, 1995).

Schrank & Machado (1996a) apresentam novas datações, pelo método U-Pb, em zircões e monazitas de dois litótipos da Mina de Morro Velho - Distrito aurífero de Nova Lima - e os dados obtidos com respectivas conclusões principais são as seguintes:

- Para o **tufito félsico**:
3.126 a 2.278 Ma \Rightarrow ampla variação de idades mínimas que, aliada a diversidade morfológica dos zircões, foi interpretada como indicativo de que a rocha seria, na verdade, uma rocha sedimentar detrítica;
2.278 Ma \Rightarrow idade do zircão detrítico mais jovem, indicando que as encaixantes da lapa seca de Morro Velho seriam similares, em idade, aos sedimentos da Formação Sabará (*cf.* Machado *et al.*, 1996);
2.067 e 1.875 Ma \Rightarrow idades mínimas de recristalização (fração de porfiroblastos) e de cristalização (cristal automorfo) de monazitas, respectivamente.
- Para a **“lapa seca cinza”** (encaixante do minério sulfetado):
2.771 a 2.705 \Rightarrow em grãos de zircão e monazita, detríticos; esta variação de idades e o aspecto sedimentar de todos os grãos confirma que o protólito é um sedimento detrítico.

Os autores concluem então, que “a mineralização em Morro Velho não pertenceria ao *greenstone belt* Rio das Velhas, de idade arqueana, mas seria encaixada em metassedimentos imaturos, turbidíticos, da Formação Sabará”.

Ainda neste mesmo trabalho, Schrank & Machado (1996a) apresentam dados obtidos para a Mina de Passagem de Mariana e, sintetizando todos os resultados e comparando-os com outros dados disponíveis para o QF, concluem que:

- é possível supor uma relação entre a deposição do ouro e a formação de monazitas com idades mínimas de 2.093 Ma (Passagem de Mariana) e 2.067 Ma (Morro Velho);
- a correlação destas idades com a de cristalização de migmatitos do Complexo do Bação (2.059 a 2.022), e com idades de monazitas metamórficas de quartzitos do Grupo Maquiné (mínimas de 2.020 e 1.989 Ma, *in* Schrank & Machado, 1996b) indica que existe uma relação das mesmas com um evento relativamente amplo de metamorfismo; este evento está ligado à orogênese transamazônica, e pode corresponder a uma tectônica extensional, responsável pelo posicionamento de complexos de núcleos metamórficos;
- ao posicionamento desses complexos, por sua vez, podem estar associados os aparelhos hidrodinâmicos responsáveis pela injeção de pegmatitos, alteração hidrotermal e colocação de corpos sulfetados, auríferos;
- a ca. 1.875, 1.843 e 1.808 Ma, houve cristalização e recristalização de monazitas e zircões em Morro Velho, Passagem de Mariana e Carrapato (Schrank & Machado, 1996b), idades em que pode ter havido entrada de novos fluidos, metamorfismo e deformação relacionados ao início do rift Espinhaço;
- as idades de 590 e 462 Ma mostram claramente, o **primeiro registro da orogênese brasileira**, embora sejam de caráter local - apenas em estreitas zonas de cisalhamento.

Schrank & Machado (1996b) apresentam datações U-Pb em monazitas e zircões em amostras da mina de Cuiabá e do depósito de Carrapato, distrito aurífero de Caeté, no QF. As principais idades e interpretações apresentadas por estes autores são:

- 3.500-2.857Ma ⇒ em grãos detríticos dos sedimentos superiores do Supergrupo Rio das Velhas, provenientes, portanto, de áreas fontes mais antigas;
- 2.921 a 2.857Ma ⇒ idades similares àquelas obtidas para o Complexo do Bação (2.920Ma), para metariolitos do Grupo Nova Lima (2.883Ma) e para o evento metamórfico dos gnaisses do Complexo Belo Horizonte (2.860Ma); deve corresponder, então, ao último episódio maior de metamorfismo-magmatismo da área fonte, antes da sua erosão e do fornecimento de detrito para os sedimentos superiores do SGRV. Este intervalo é proposto ser denominado de **Evento Belo Horizonte**.
- 1.808Ma ⇒ reativação da orogênese transamazônica ou, considerado como mais plausível, um, marco do início da atividade do *rift* Espinhaço, cuja atividade ígnea inicia a cerca de 1750Ma.
- 590Ma ⇒ corresponderia a uma das primeiras evidências pelo método U-Pb em minerais, de idades da **orogênese brasileira**.

II.2 - GEOLOGIA DA MINA DE RAPOSOS

II.2.1 - Introdução

Dos trabalhos já realizados sobre a mina de Raposos e o Distrito Aurífero de Nova Lima, vale ressaltar os de: Graton & Bjorge (1929), Matheson (1956), Gair (1962), Tolbert (1964), Vial (1980), Ladeira (1980, 1985, 1988, 1991), Oliveira *et al.* (1983), Vieira (1987a,b; 1988, 1991, 1991a,b), Vieira & Oliveira (1988), Scarpelli (1991), Ladeira *et al.* (1991), Vieira & Simões (1992), e Godoy (1994). Alguns trabalhos inéditos que merecem ser citados são: Simões (1987, 1988) e Junqueira & Ladeira (1990).

O trabalho pioneiro de divisão dos xistos verdes, encaixantes da BIF hospedeira, em Raposos, deve-se a Vial (1980) - subdividiu-os em X1, X2, X3, Fx, Clx. Vieira, nos trabalhos de 1987a,b e 1988, principalmente, atualizou o mapeamento de Vial (1980), do nível 24, complementando a sucessão rochosa anteriormente descrita, e reinterpretando alguns dos litótipos à luz da teoria da alteração hidrotermal. As descrições mais detalhadas e atualizadas da configuração estrutural do depósito de Raposos devem-se a Simões (1987, 1988; *in* Ladeira *et al.* 1990; *in* Vieira & Simões, 1992), e, com relação apenas ao nível 28 desta mina, a Junqueira & Ladeira (1990).

Os primeiros dados de elementos terras raras (ETR) para o depósito de Raposos foram obtidos por Ladeira *et al.* (1990, 1991). O maior número de dados de ETR e de composição química de minerais, via microsonda eletrônica, para as rochas deste depósito, será apresentado neste trabalho, embora os dados pioneiros de química mineral se devam a Ladeira (1980, 1985).

II.2.2 - Subdivisão dos tipos litológicos

Os principais tipos litológicos desta área são enquadrados por Vieira & Oliveira (1988) em seis grupos:

Intrusivas:

Diques de metabásio (Md) constituído por epidoto, actinolita, plagioclásio, clorita, titanita e quartzo.

Ultramáficas:

Serpentinitos com talco, clorita e anfibólio (komatiítos). O serpentinito propriamente dito ainda não foi descrito em Raposos, e no Distrito de Nova Lima, só recentemente por Ladeira *et al.* (1992).

Máficas-intermediárias:

Metandesito basáltico (Man, cálcio-alcálico), constituído por epidoto, tremolita/actinolita, plagioclásio, clorita e quartzo.

Metabasalto (Mba, toleítico), constituído por epidoto, actinolita, plagioclásio, clorita, titanita e quartzo. O Mba é descrito nos trabalhos de Vieira para a mina de Cuiabá, não sendo descrito em Raposos.

Segundo Vieira, ambas as litologias apresentam lavas almofadadas e espilitização, o que foi primeiramente descrito na região por Ladeira (1980).

Félsicas:

Quartzo - sericita - clorita - plagioclásio filito (Xs), reinterpretado por Vieira (1991a) como tufitos félsicos de composição dacítica/riodacítica.

Sedimentos detríticos:

Quartzo - carbonato - sericita filito com grafita e clorita (X1), reinterpretados por Vieira (1991a) como metapelitos carbonosos. Ladeira et al. (1990, 1991), com base em dados de ETR, reafirmam ser o X1 um metapelito.

Sedimentos químicos:

Formação ferrífera bandada - BIF (*banded iron formation*), que será daqui por diante utilizado por ser um termo consagrado na literatura internacional.

Os metassedimentos químicos são de particular interesse, por serem as rochas hospedeiras dos corpos de sulfetos auríferos. Níveis cinza-escuros, ricos em mica e grafita, denotam uma contribuição pelítica, e níveis verde-amarronzados ricos em grunerita representam, segundo Vieira & Oliveira (1983.), metamorfismo de contato sobre a BIF facies carbonato, e não de facies silicato como interpretado por Vial (1980) e Ladeira (1980).

Com base nos minerais de ferro, Ladeira (1980, 1985) e Vial (1980), descrevem quatro facies sedimentares para a BIF em Raposos:

- Facies óxido = magnetita e subordinadamente, hematita e goethita.
- Facies carbonato = siderita, ankerita e dolomita ferroana.
- Facies sulfeto = pirita, pirrotita e arsenopirita.
- Facies silicato = estilpnomelana, tremolita-actinolita, cumingtonita-grunerita, clorita (peninita).

Vieira (1987a,b; 1988) advoga que os sulfetos seriam fruto da alteração hidrotermal, que a tremolita-actinolita e a cumingtonita-grunerita são produtos do metamorfismo de contato, e que estilpnomelana, clorita e sericita correspondem ao produto do metamorfismo sobre níveis pelíticos, e que, portanto, as facies sulfeto e silicato descritas por Ladeira e Vial, não se encontram presentes. Mel' Nik (1982, *in* Vieira 1991a) faz uma ressalva de que, para se caracterizar realmente a facies silicato, é necessário que seja comprovada a presença de silicatos de ferro formados por precipitação química, ou seja: grenalita, minesotaíta e estilpnomelana; Trendall & Morris (1983, *in* Vieira 1991a) advertem ainda, que os dois últimos minerais têm que ser analisados de forma criteriosa uma vez que eles podem se formar também durante o metamorfismo.

Se por um lado Matheson (1956), Gair (1962) e Dorr (1973) descrevem a BIF de Raposos como pertencente somente à facies carbonática de James (1954), por outro lado, Vieira (1990a) afirma que os trabalhos de prospecção em superfície e sub-superfície na área por ele estudada - Setor Oeste do *Greenstone belt* Rio das Velhas - mostram que a BIF é constituída basicamente pela facies óxido, estando a "facies" carbonato geralmente restrita a zonas afetadas pela alteração hidrotermal, o que segundo ele, sugere que a facies original seja essencialmente óxido. Texturas de carbonatação da facies óxido são frequentemente observadas na mina, mostrando substituição a partir de veios de quartzo e sulfeto.

Com base no estudo de 5 amostras da BIF de Raposos via microscopia ótica, difratometria de raios X e dados de ETR, Ladeira et al. (1990, 1991), chegam as seguintes conclusões principais a respeito da BIF:

- Todas as amostras correspondem a metacherts carbonáticos, cujo carbonato predominante em todas as amostras são ankerita e siderita, sendo portanto classificados como litótipos intermediários entre os tipos V e VI descritos por Dymek & Klein (1988), ou seja, formação ferrífera (FF) com carbonato de Mg-Fe e FF com carbonato de Ca-Mg.
- A BIF de Raposos é um típico sedimento químico, análogo a outras BIFs arqueanas do mundo e, particularmente, muito similar à BIF Isua.
- Os valores de Co+Cu+Ni versus ETR destas amostras, comparados com dados compilados por Dymek & Klein (1988), mostram que as amostras de Raposos se situam próximo ao campo hidrotermal de fundo oceânico das áreas de Galápagos e FAMOUS.

II.2.3 - Metamorfismo

Guimarães (1966) e Herz (1970), sugeriram a facies xisto-verde para as rochas da região.

As paragêneses minerais identificadas nas rochas submetidas ao metamorfismo regional indicam, segundo Vieira (1991a), condições de metamorfismo de grau fraco, com temperaturas entre 350°C (clinozoizita + tremolita / actinolita nas máficas) e 430°C (a ausência de forsterita nas ultramáficas e de biotita + moscovita nos pelitos, marcando o limite superior de temperatura); as paragêneses citadas são baseadas nas reações para determinação do grau metamórfico de Winkler (1977).

Ladeira (1980), para o depósito de Morro Velho, baseando-se na paragênese quartzo + albita + clorita + moscovita + epidoto, sugeriu o intervalo de temperatura de 350°C a 530°C e pressões de 2 a 4 Kbares, fundamentando-se em Fyfe & Turner (1966) ou 380°C a 500°C, com base em Winkler (1977).

É importante salientar que a utilização de assembléias mineralógicas como indicativas das condições da temperatura (T) e pressão (P) do metamorfismo, em áreas afetadas por alteração hidrotermal, deve ser feito com reserva e, preferencialmente, longe das zonas mineralizadas. Isto porque, essas áreas foram afetadas por um alto fluxo de fluido, o que possibilita que a temperatura e composição do mesmo possam ter controlado as reações que ocorreram e, portanto, as assembléias minerais nessas zonas podem não necessariamente refletir as P e T ambientes do metamorfismo regional (Colvine *et al.*, 1988).

II.2.4. Sobre as formações ferríferas

Sedimentos ricos em sílica e ferro, finamente bandados (BIF) ocorrem na maioria dos *greenstone belts* do mundo, e são também encontrados em outros ambientes tectônicos (Kimberley 1989b, *in* Herrington *et al.*, 1997). A nomenclatura e classificação das BIFs esteve sujeita, no passado, a diversas controvérsias, uma vez que cada grande região produtora de ferro desenvolvia sua própria forma de classificá-las.

Os minerais de ferro encontrados nas BIFs arqueanas são, usualmente, magnetita, hematita, pirita, siderita, grunerita, e outros silicatos ricos em ferro. A comparação com BIFs menos modificadas sugerem que os minerais de ferro primários dominantes eram silicatos de baixa temperatura tais como grenalita, juntamente com goetita e siderita, os quais foram posteriormente modificados por metamorfismo.

James (1954), estudando BIFs precambrianas, reconheceu quatro fácies distintas para as mesmas: silicato, óxido, carbonato e sulfeto. Gross (1964,1970; *in* Herrington, 1997) adotou este conceito de fácies separando, porém, o ambiente tectônico, e classificou-as em dois tipos: Algoma e Lago Superior.

Kimberley (1978, 1989a, *in* Herrington, 1997) propôs uma complexa classificação, baseada em seis tipos de ambientes deposicionais, dos quais três ocorrem em *greenstone belts* : BIF de plataforma vulcânica rasa (*shallow volcanic platform: SVOP*); de mar plataformar rico em sedimentos químicos (*extensive chemical sediment-rich shelf sea: MECS*); e de águas profundas (*deep-water: DWAT*). Gross (1991, *in* Herrington, 1997), salienta que é difícil uma definição precisa de paleoambiente no Arqueano, e propõe que as BIFs tipo Algoma e Lago Superior sejam amplamente equivalentes à *SVOP* e *MECS* de Kimberley.

Formações ferríferas tipo Algoma são usualmente, seqüências pouco espessas (<50m de espessura) e ocorrem junto com grauvas e turbiditos, argilitos e vulcânicas, típicos para ambientes de águas profundas (Gross,1991; *in* Herrington, 1997). Os exemplos típicos destes depósitos se formaram em pequenas bacias como parte das seqüências *greenstone belt* e são marcadas por rápidas mudanças na espessura, facies geoquímica, e associação litológica.

Com relação à distribuição dessas rochas, os depósitos tipo Algoma são mais característicos dos *greenstone belt* do Canadá, estando estreitamente associados a rochas vulcânicas.

Formações ferríferas são as hospedeiras de um grande número de importantes depósitos de ouro de idade arqueana, o que tem levado a sugestões de uma ligação de origem sinéctica para estes depósitos de ouro-ferro (Fripp, 1976; Ladeira, 1980,1991). Entretanto, a maioria dos autores das últimas duas décadas, favorecem uma origem epigenética para o ouro (por exemplo: Phillips *et al.*, 1984; Colvine *et al.*, 1984; Groves *et al.*, 1987; *in* Herrington, 1997), o qual não estaria relacionado à deposição original dos sedimentos ricos em ferro.

II.2.5 - Os corpos de minério

As mineralizações auríferas na mina de Raposos estão todas associadas a corpos sulfetados, excetuando-se o Corpo Ouro Preto, que está associado a uma zona de quartzo (Vieira, 1987 b). Os corpos são grosseiramente estratiformes e estão hospedados em BIF facies carbonato e óxido.

Vieira (1987b) identifica dois tipos de minério, que segundo ele resultam de diferentes condicionamentos tectônicos. O primeiro é constituído quase essencialmente de pirrotita (po), sendo a pirita (py) e arsenopirita (apy) subordinados; ocorre em zonas de cisalhamento paralelas ou sub-paralelas ao bandamento, com veios de quartzo associado (Fotos 3 e 4). O segundo tipo constitui-se de pirita e arsenopirita e ocorre preenchendo fraturas juntamente com o quartzo, e substituindo de modo simétrico ou assimétrico às fraturas, as bandas de siderita ou magnetita da BIF (Foto 5). Os percentuais médios destes minerais, nos tipos de minério, são mostrados nas

TAB. 1 e 2, onde tem-se uma estimativa percentual da preferência de associação do ouro, com relação aos diversos minerais.

Tabela 1 - Percentagem relativa entre os minerais opacos da BIF de Raposos, para os minérios dos tipos 1 e 2 de Vieira (1987b).

Tipos	Minério Tipo 1 (%)	Minério Tipo 2 (%)
Pirrotita	47	–
Pirita	19	67
Arsenopirita	20	32
Magnetita	12	–
Outros*	2	1

* Tipo 1: inclui calcopirita, limonita, ilmenita, ouro

Tipo 2: inclui pirrotita, calcopirita, ilmenita, galena, ouro

Tabela 2 - Percentual da associação do ouro com os diversos minerais da BIF de Raposos, para os minérios dos tipos 1 e 2 de Vieira (1987b).

Tipos	Minério Tipo 1 (%)	Minério Tipo 2 (%)
Pirrotita	22	–
Pirita	42	95
Arsenopirita	28	1
Calcopirita	2	–
Ganga	6	4

No minério tipo 1, py e apy, ocorrem em grãos hipidioblásticos, podendo ocupar o núcleo de franjas de pressão, indicando comportamento rígido de grão. A pirrotita ocorre em agregados de grãos poligonais ou alongados segundo a foliação - comportamento plástico de grão; pode ocorrer ainda em lâminas nas franjas de pressão supracitadas.

No minério tipo 2, py e apy estão intercrescidas em grãos mais grosseiros hipidioblásticos ou xenoblásticos com reentrâncias pronunciadas e abundantes inclusões de minerais da ganga. Esta é constituída de quartzo, siderita e calcita.

O ouro ocorre sob a forma de electrum (liga com a prata), numa razão de cerca de 5:1 (Ladeira, 1980) ou 5:1 a 6:1 (Vieira, 1991b); os grãos são xenomórficos ou estão em filetes em fraturas dos grãos de sulfeto. Vieira (1991b) identifica as seguintes características do ouro, dependendo do tipo de sulfeto a que ele se associa :

- Au associado a pirrotita é mais grosseiro (50 a 120 μ), e está geralmente nas bordas do grão (Foto 6);
- Au associado a pirita varia de 10 a 50 μ , ocorrendo essencialmente incluso;
- Au associado à arsenopirita e à ganga é geralmente menor que 10 μ ; ocorre incluso na apy, e incluso ou na interface dos grãos, na ganga.

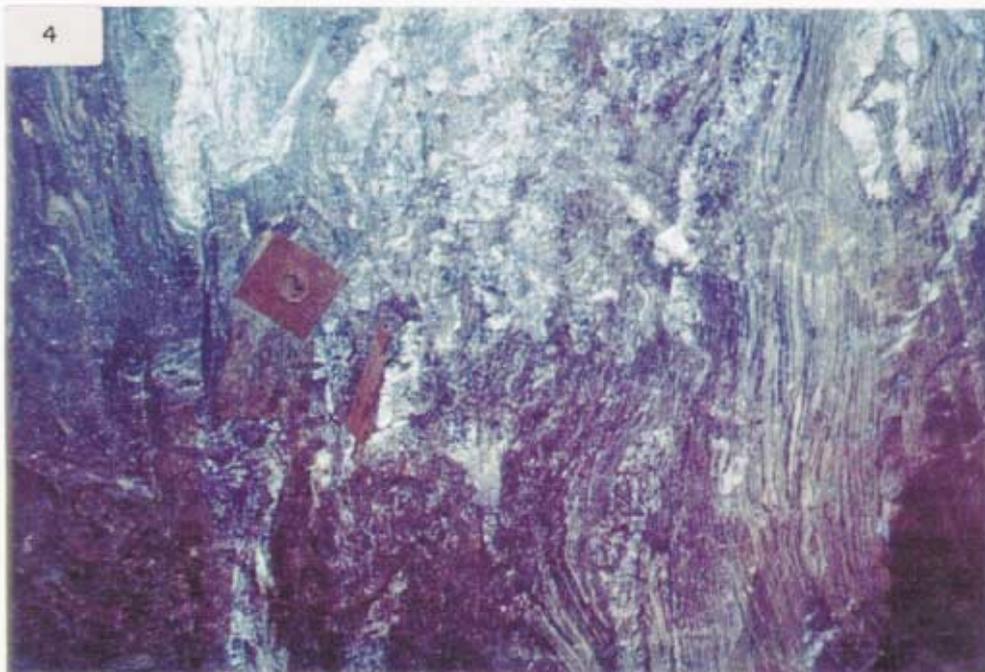
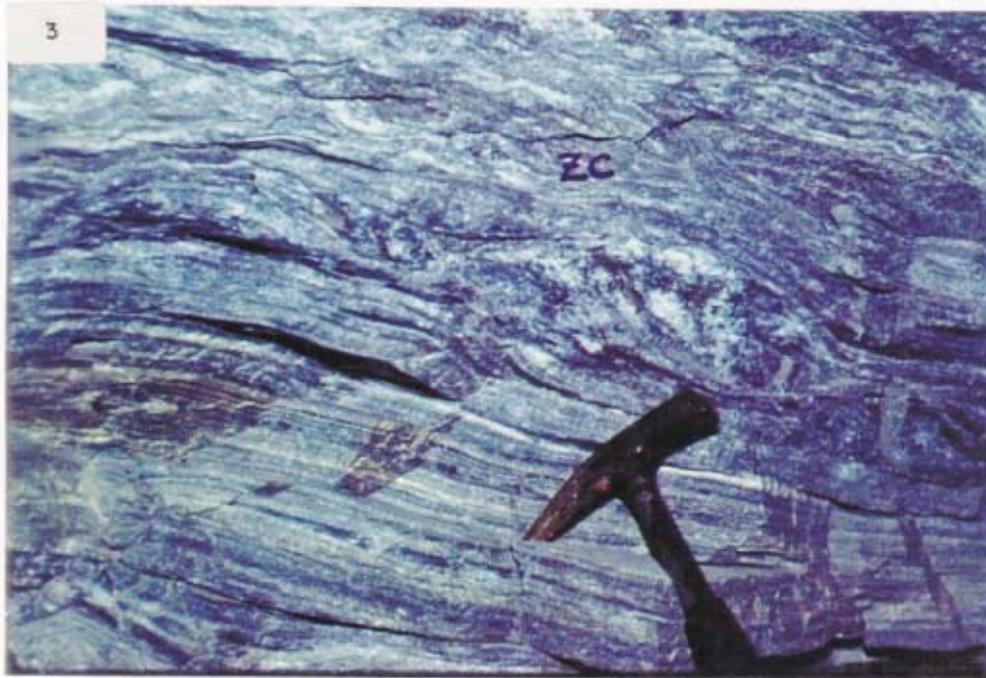
Segundo Vieira (1991b), o ouro apresenta uma boa correlação positiva com a Ag, As e S, não só na mina de Raposos como em todas as demais minas da Mineração Morro Velho.

PRANCHA 2

ZONAS DE CISALHAMENTO NA BIF

Foto 3 - Zona de cisalhamento sub-paralela ao bandamento da formação ferrífera, à qual se associa a mineralização mais comumente observada na mina. Este é o denominado Minério Tipo 1 de Vieira (1987b). Note-se a presença de *boudins* de quartzo sub-paralelos ao bandamento. Área de lavra do corpo Espírito Santo, nível 26.

Foto 4 - Zona de cisalhamento na BIF, com o bandamento já totalmente destruído, com conspícua venulação de quartzo (? Silicificação ?). Os limites dessa zona são sub-paralelos ao bandamento da BIF. Mesmo local da Foto 1.



II.2.6 - Morfologia do depósito

A morfologia do depósito é resultante da superposição de deformações, conforme descrito nos trabalhos de Matheson (1956), Tolbert (1964), Ladeira (1980), Vial (1980), Vieira (1987), Simões (1987, 1988), Junqueira & Ladeira (1990) e Vieira & Simões (1992), embora não haja um consenso sobre o número de eventos nem sobre a seqüenciação dos mesmos.

Uma síntese dos eventos deformativos do Grupo Nova Lima, segundo alguns autores selecionados, foi feita por Junqueira & Ladeira (1990), e é apresentada no QUAD. 6.

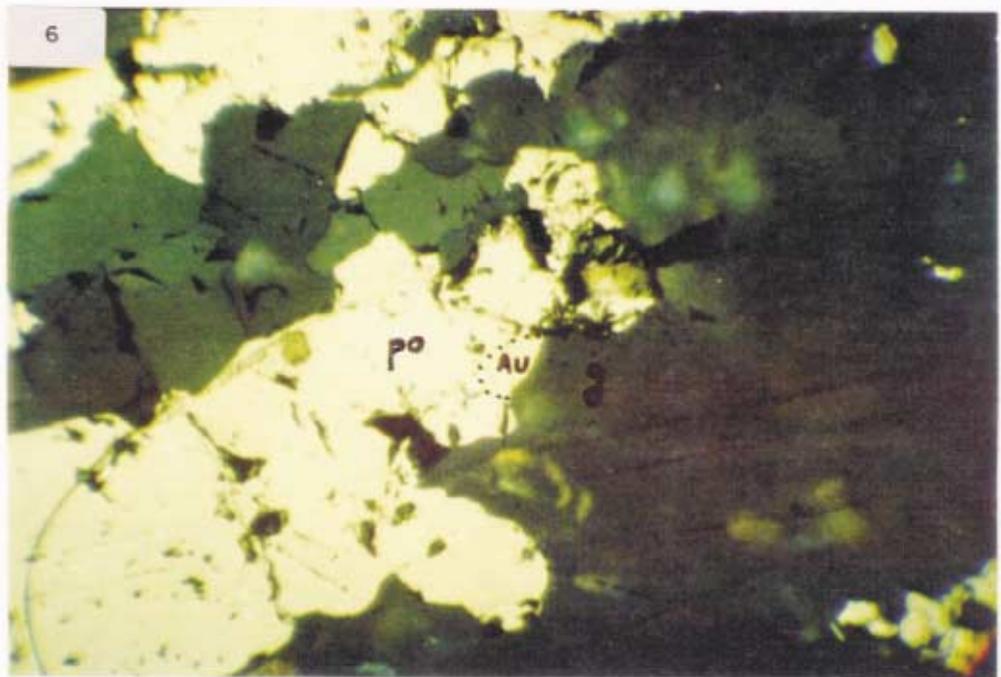
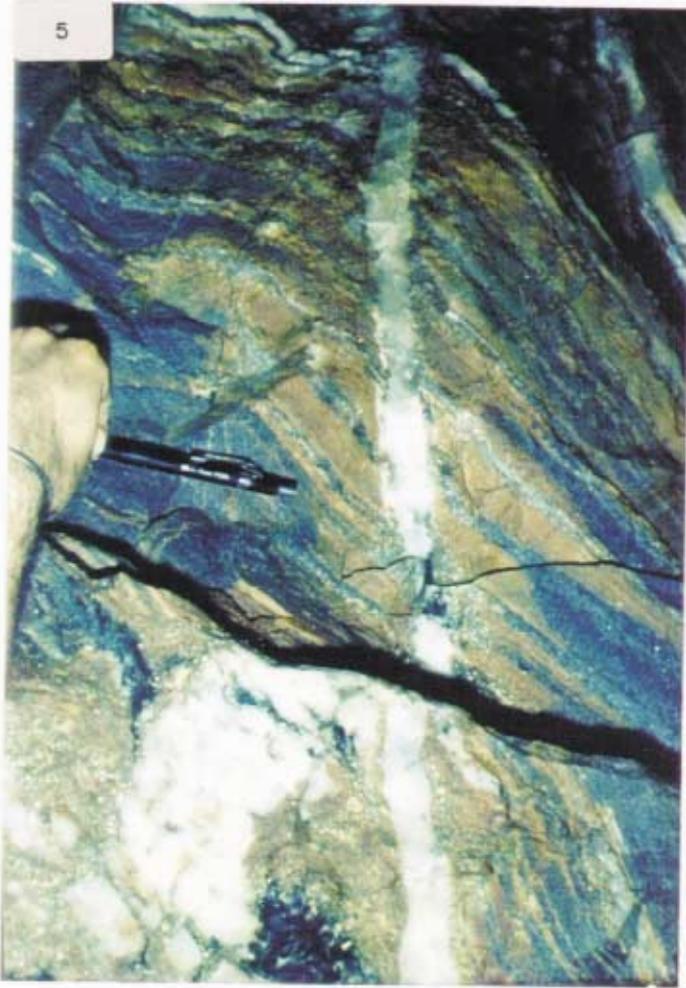
Segundo Simões (*in* Ladeira *et al.*, 1990), as feições estruturais identificadas no depósito da Mina de Raposos denotam que a deformação é polifásica, e ocorreu em regime de dúctil a rúptil, utilizando-se como critérios definidores destes eventos a superposição de estruturas em meso e macro-escala; a última baseia-se na correlação entre mapas dos corpos de minério, ao longo da extensão em profundidade do depósito.

São reconhecidos por Simões (1987, 1988), quatro eventos deformativos sendo que os 3 primeiros eventos se situam nos domínios dúctil e dúctil-rúptil, e o quarto evento, no domínio essencialmente rúptil. Para a visualização das atitudes das estruturas nos diversos eventos, vide QUAD. 6.

PRANCHA 3

Foto 5 - Fraturas S_2 preenchidas por quartzo, carbonato e sulfetos, os últimos substituindo as bandas de siderita ou magnetita da BIF (minério tipo 2 de Vieira, 1987b). Nota-se também, a carbonatação da facies óxido da BIF, a partir da fratura. Subnível do corpo Bom Caminho, nível 12.

Foto 6 - Fotomicrografia mostrando grão de ouro (Au) com 60μ , na interface pirrotita (po)/ganga (g). Luz refletida (LR), nicóis paralelos (N//), aumento de 64x. Amostra: F139-R1200-3VT N° 1.



Quadro 6 - Síntese dos eventos deformativos do Grupo Nova Lima, segundo alguns autores, e estruturas correlatas.

Vial, 1980	Atitudes	Ladeira & Viveiros (1984, 1986, 1988)	Atitudes	Vieira et al, 1986 Vieira, 1988	Atitudes	Simões (in Ladeira et al, 1990)	Atitudes	Junqueira & Ladeira, 1990	Atitudes
D₁ S ₁ //S ₀	N6-29W/21-37NE	D₁ S ₁ //S ₀ L ₁	N60E/35-12 S60E/35-12	D₁ S ₁ //S ₀ L ₁	N28W/26NE	D₁ S ₁ /S ₀ L ₁ (S ₁ ∩ S ₀)	~EW-NNW/0-90 S70-90E/36-18	D_{n-1} S _{n-1} //S ₀ L _{n-1} B _{n-1} //L _{n-1}	N54W/25NE N05W/25NE S74E/25
D₂ S ₂ //P.A L ₂	N16-62E/24-34SE 75-89E/22-32	D₂ S ₂ L ₂ =S ₂ ∩ S ₁ (S ₀) B ₂ //L ₂	E/45-12	D₂ S ₂ L ₂ B ₂ //L ₂	N35E/27SE S83E/30	D₂ S ₂ L ₂ //L ₁ B ₂ //L ₂	S70-90E/36-18	D_n S _n (xistosidade) L _n B _n //L _n cisalhamento	N60E/30-40SE ~E/18-28 N45-60E/20-50SE
D₃ S ₃		D₃ e D₄ L ₃ e L ₄ B ₃ , B ₄ //L ₃ , L ₄	E/45-12	D₃ S ₃ (cliv. fratura) L ₃ ~/L ₂ juntas	WE/55N N85E/18 S55E/24 ~EW/70-90N	D₃ S ₃ (cliv.esp.) ⊥ B ₂ L ₃ =S ₃ ∩ S _{0+1,2} falhas normais//S ₃	~NS ~NS	D_{n+1} S _{n+1} (cliv.esp.) .L.crenul. L _{n+1} .L.interse. .L.int.+cren B _{n+1}	N30W/70-90SW .S15W/30 .S20W/25 .N26E/05 .S10E/05 S/10 e S/05
		D₅ S ₅ (cliv. espaçada e de crenulação) L ₅ =S ₅ ∩ S _{1,2,3,4} B ₅ //L ₅	~NS/60-85E ou W ~NS/5-20N ou S	D₄ S ₄ (cliv. fratura) L ₄ ~ ⊥ L ₃ e L ₂ juntas	N10W/75SW ~NS/12-28N ou S ~NS/60-70W	D₄ juntas e fraturas	~NS, E-W, NNW e NNE	D_{n+2} S _{n+2} (cliv. espaçada) L _{n+2} //L _n	E-W/70-90N N85E/20
		D₆ S ₆ (cliv.espaçada, juntas, falhas normais) arqueamentos	N45E/70-90SE ou NW EW/subvertical N45W/subvertical ~NS/60-90W ou E						

CAPÍTULO III

GEOLOGIA DO NÍVEL 28 DA MINA DE RAPOSOS

III.1 - INTRODUÇÃO

A porção mapeada por Junqueira & Ladeira (1990) no nível 28 da mina de Raposos compreende os corpos de minério Espírito West, Espírito Santo, N° 10 e N° 11.

As diversas unidades rochosas que se encontram expostas na porção mapeada do nível 28 da mina apresentam, em planta, um *trend* geral NW-SE, da extremidade oeste até a porção central, tornando-se grosseiramente E-W mais a leste (Mapa 01, Anexo 2). As encaixantes da formação ferrífera, de maior expressão em área, encontram-se assim dispostas: a norte, como *hanging wall* (HW) geral da formação ferrífera bandada (BIF) está o talco-clorita-carbonato-quartzo xisto (X3); na porção central tem-se a BIF e o carbonato-sericita-quartzo xisto (X2), que aparece como o *foot-wall* (FW) geral desta.

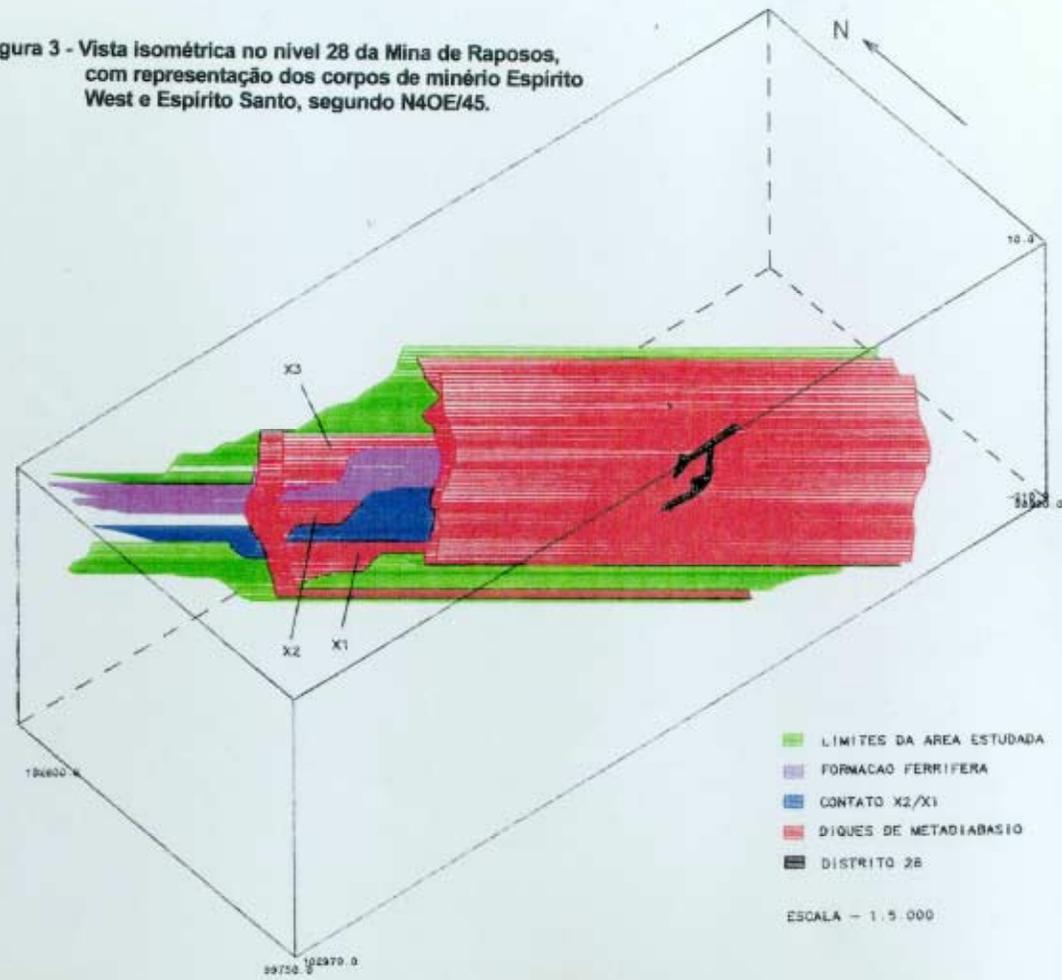
Mais ao sul, tem-se o quartzo-carbonato-sericita xisto, com matéria carbonosa (X1), com delgadas intercalações de rocha carbonática com matéria carbonosa (Lapa Seca), próximo ao contato com o X2. À leste da porção mapeada, mas apenas detectado por sondagem, encontram-se restritas camadas do albita-carbonato-quartzo-sericita xisto (Xs) e do albita-epidoto-actinolita-clorita-carbonato xisto (Mba).

Cortando toda a seqüência existem, no trecho mapeado, dois diques de metadiabásio, de direção aproximada NE-SW. Utilizando-se da designação de Matheson (1956) para os diversos diques que ocorrem na área da mina, de A, B, C e D, de leste para oeste, os diques supra citados seriam os denominados diques C e D.

Na FIG. 3 é apresentado um bloco diagrama com uma vista isométrica dos corpos E.W. e Espírito Santo no nível mapeado, segundo N40°E/45°. A FIG. 4 traz uma seção inclinada, perpendicular ao *plunge*, neste mesmo nível.

A denominação informal proposta por Vial (1980) para os diversos xistos encaixantes da formação ferrífera, será aqui utilizada a fim de simplificar os extensos termos de classificação petrográfica que são requeridos para estas rochas. Sempre que possível, no entanto, será feita uma menção ao nome petrográfico simplificado, a fim de fixar a correlação entre essas denominações.

Figura 3 - Vista isométrica no nível 28 da Mina de Raposos, com representação dos corpos de minério Espírito West e Espírito Santo, segundo N40E/45.



III.2 - CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA

A nomenclatura das rochas utilizadas neste trabalho, inclui os minerais presentes em percentagem superior a 5% em ordem decrescente de abundância. O QUAD. 7 mostra a composição modal em percentagem estimada das amostras dos diversos litótipos.

As classificações mineralógicas aqui utilizadas são baseadas em Deer *et al.* (1966). No anexo 3, são apresentadas as tabelas com os resultados das análises de microsonda para todos os minerais, diagramas de classificação de carbonatos e cloritas (este último, segundo Hey 1954, *in* Deer *et al.*, 1966), e a fórmula estrutural para as cloritas das metamáficas e metaultramáficas.

O conceito de xistosidade homogênea e heterogênea (ou em domínios) foi utilizado segundo o exposto por Hobbs *et al.* (1976).

Formação Ferrífera Bandada (BIF):

Apresenta um bandamento bem desenvolvido, com alternância de níveis de "metachert" com níveis de carbonato definindo assim a facies carbonato (Fotos 7 e 8). Os dados obtidos das análises dos carbonatos por microsonda eletrônica, neste trabalho, indicam serem eles ankerita e siderita, sendo o primeiro tipo largamente predominante sobre o segundo (QUAD. 8). Estes resultados corroboram aqueles obtidos por Ladeira (1980). No anexo 3.1 são apresentados diagramas de classificação dos carbonatos. Encontram-se ainda intercalados, alguns níveis sulfetados (pirrotita, pirita e arsenopirita).

O bandamento composicional é interpretado como sendo o acamamento S_0 devido à presença de níveis de filito grafitoso, paralelamente intercalados com tais níveis. Paralela a S_0 , encontra-se uma foliação definida pela orientação de minerais placóides e filossilicáticos, a qual realça o bandamento, e que foi designada de S_1 , o que será detalhado oportunamente. Muitas vezes observa-se forte transposição, o que impede a visualização do S_0 como descrito (fotos prancha 4). Entretanto, em algumas exposições, é possível seguir claramente o bandamento de transposição até o bandamento mais antigo, com as feições descritas, indicando ser ele o S_0 (Fotos 7, 8 e 9).

Em termos microscópios, a rocha mostra textura granoblástica, com quartzo bastante recristalizado, e os carbonatos geralmente xenoblásticos (Foto 12). A clorita e a sericita são acessórios podendo, entretanto, chegar a constituintes principais da rocha, subordinados ao quartzo e carbonato. Os minerais opacos são sulfetos (comumente, pirrotita, pirita e arsenopirita, com calcopirita subordinada), e matéria carbonosa, geralmente em pequenas proporções.

Às bandas carbonáticas da BIF associam-se níveis - como que "trilhas" - de sulfetos, dispostos segundo a foliação principal da rocha (S_2). A freqüente observação dessa estreita associação entre sulfeto e carbonato sugere que o primeiro tenha se formado a partir do segundo (Foto 15).

Associados também às bandas carbonáticas encontram-se, eventualmente, cristais de albita poiquiloblástica, sendo alguns deles oblíquos à foliação, sugerindo caráter sin- a tardi-tectônico.

A pirrotita (po) é o sulfeto dominante nas seções delgadas estudadas, e ocorre em bandas submilimétricas, em cristais anédricos a subédricos; mostra-se freqüentemente intercrescida com arsenopirita (apy), pirita (py), calcopirita (cpy) e, mais raramente, com rutilo, ou ainda, inclusa em apy e cpy. Foi identificado na lâmina GP13-S11, grão de ouro grosseiro, euédrico, incluso na po.

Quadro 7 - Composição modal, em % estimada, para lâminas delgadas de litótipos do depósito de ouro da Mina de Raposos, nível 28 da mina.

Rocha	BIF							Clx				X1			
	GP1-S18	3000-3*	GP3-S18	GP13-S11	3000-4*	GP2-S18	GP9-S19	EW2-S1	GP15-S1	EW1-S3	EW6-S1	EW4-S5	ES 3	2-S14	5-S14
Carbonato	30	44	40	30	40	43	60	10	15	40	45	28	30	22	20
Quartzo	40	15	55	55	50	37	35	25	30	30	10	40	40	37	57
Sericita	8	10	-	1	tr	tr	-	<1	-	5	23	25	20	28	13
Clorita	20	-	-	-	-	-	5	60	50	25	10	-	-	<1	-
Albita	-	5	<1	<1	-	<1	tr	-	tr	-	-	-	-	7	8
Fuchcita	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Talco	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Biotita	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<1	-	-	-	-
Actinolita	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Epidoto	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Matéria carbonosa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	7	4	<1
Rutilo	tr	<1	-	<1	-	-	-	<1	-	-	<1	-	1	-	-
Titanita	-	-	-	-	-	-	-	-	<1	-	-	-	-	<1	<1
Sulfetos	2	25	5	14	10	20	x	3	4	?	12	-	-	<1	tr
Outros opacos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	x	1	2	-	-
Óxidos de ferro	-	-	-	tr	-	-	-	-	<1	-	x	-	-	-	tr
Turmalina	-	1	-	-	-	-	-	tr	-	-	tr	-	-	<1	tr
Ilmenita	-	<1	-	-	-	-	-	-	<1	-	<1	-	-	-	-
Zircão	-	-	-	-	-	-	-	tr	-	-	-	-	tr	-	-

Quadro 7 - Continuação.

Rocha	LS				Xs				Bix			
	EW2-S5	ES-1	3-S14	GP12-S26	EWS5-A	ES-4	ES2-S13	ES3-S13	ES2-S11	GP7-S17	GP6-S18	2,3-5
Carbonato	86	90	88	90	25	30	15	26	15	15	25	25
Quartzo	5	5	2	3	25	25	35	35	7	5	10	10
Sericita	<1	1	2	tr	18	16	18	30	-	-	-	-
Clorita	-	-	-	-	-	-	-	-	12	20	22	30
Albita	4	2	3	-	30	27	30	5	30	28	35	20
Fuchcita	-	-	-	-	-	-	-	-	25	25	-	-
Talco	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Biotita	-	-	-	-	-	-	-	-	8	7	7	15
Actinolita	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Epidoto	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Matéria carbonosa	3	2	5	5	1	-	-	2	-	-	-	-
Rutilo	-	-	-	-	-	<1	<1	1	3	-	<1	-
Titanita	tr	-	-	-	-	1	<1	1	-	-	-	-
Sulfetos	2	-	-	-	-	2	-	-	-	-	x	-
Outros opacos	-	-	-	-	<1	<1	<1	-	<1	-	1	x
Óxidos de ferro	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Turmalina	-	-	-	-	tr	tr	tr	tr	-	-	-	-
Ilmenita	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zircão	tr	-	-	-	tr	tr	tr	tr	tr	-	-	-

NOTA: * amostra coletada no nível 30 da mina.

As lâminas com iniciais GP são equivalentes às amostras de mesmo número, porém com iniciais GQ, apresentadas nas tabelas de química de rocha total.

PRANCHA 4

FORMAÇÃO FERRÍFERA BANDADA

Foto 7 - Bandamento da BIF onde bandas milimétricas de metachert (bandas claras) se intercalam com bandas carbonáticas (níveis marrons e acinzentados). Algumas possuem ainda, sulfetos intercalados. Área de lavra do corpo Espírito Santo, nível 26.

Foto 8 - Detalhe do bandamento (acamamento) de BIF. Amostra R3000-3, coletada no nível 30.

Foto 9 - Exposição de BIF com detalhe para a foliação de transposição (indicada pelas setas). Corpo Espírito Santo, nível 28.

Foto 10 - Zona mineralizada da BIF, mostrando a intensa sulfetação, com típica coloração cinza a ausência do bandamento, o que caracteriza as zonas cisalhadas/mineralizadas na BIF. Corpo Espírito *East*, nível 32.

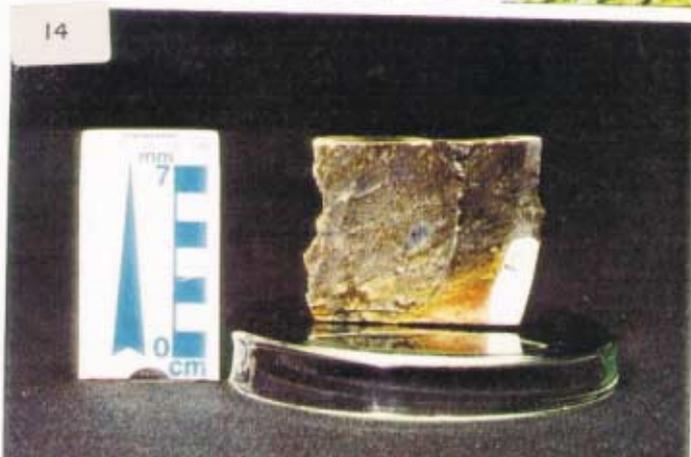
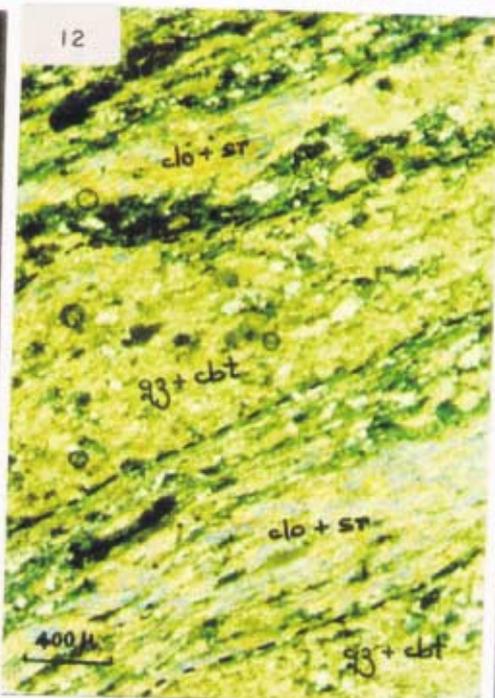
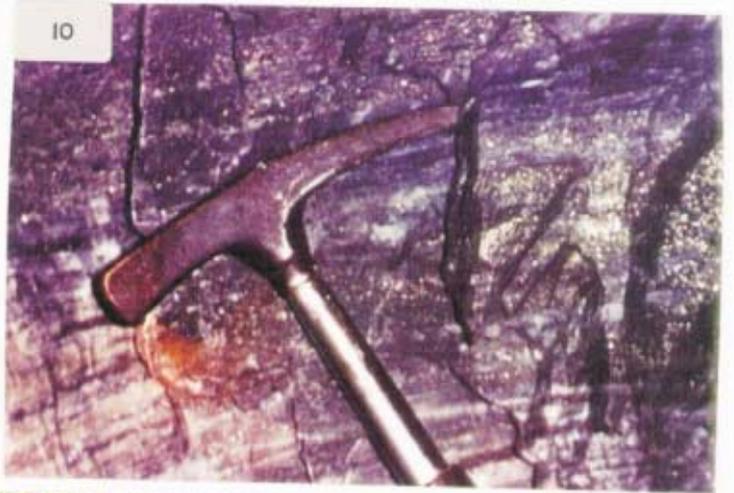
Foto 11 - Contato do clorita xisto com a BIF, com extensa carbonatação. Este contato muitas vezes tem caráter gradacional, as faixas cloríticas se adentrando nas camadas de BIF. Amostra EW1-S3, número 8 no mapa topográfico do nível 28, com localização das amostras (mapa 02). Corpo de minério EW.

Foto 12 - Fotomicrografia do contato entre a BIF - porção quartzo-carbonática (qz + cbt) - e o clorita xisto (clorita + sericita). O carbonato da BIF é xenoblástico e o quartzo está, geralmente, recristalizado. Luz transmitida (LT), nicóis cruzados (NX). Corte XZ. Amostra EW6-S1, número 7 no mapa 02.

Foto 13 - Feição comumente observada nas porções sulfetadas/mineralizadas da BIF: a rocha se torna extremamente quartzosa, o bandamento característico da BIF apresenta-se totalmente destruído, e a rocha adquire uma coloração acinzentada (inclusões fluidas no quartzo?). As análises químicas revelaram 1,68 ppm de ouro para esta amostra; número de campo GP3-S18, e número 31 no mapa 02. Corpo de minério Espírito Santo.

Foto 14 - Amostra de formação ferrífera mineralizada no mesmo corpo de minério da foto 13, porém de uma porção mais sulfetada e mineralizada. O teor de ouro obtido na análise química em rocha total é de 4,5 ppm. Amostra GP2-S18, número 32 no mapa 02.

Foto 15 - Fotomicrografia da BIF mostrando textura sugestiva de sulfetação do carbonato (ankerita e siderita). LT, N//, aumento 25x. Sub-nível do corpo Espírito *West*, nível 30, amostra 3000-3.



Quadro 8 - Síntese da mineralogia de cada litótipo, com base nos resultados das análises semi-quantitativas, por microsonda eletrônica.

ROCHAS	MINERAIS	CARBONATO	CLORITA	MICA BRANCA	PLAGIOCLÁSIO	TALCO	ANFIBÓLIO	BIOTITA	EPIDOTO	SULFETO
Mba	Calcita		Mg clorita (rip-pic)	-	Albita	-	Actinolita	-	Epidoto s.s.	Pirita c/ Co, Calcopirita
		7/1*	4/1		9/1		4/1		4/1	2/1
X2 Clorítico	Ankerita e calcita		Mg clorita e Fe-Mg clorita (rip)	Sericita	Albita	-	-	-	-	Arsenopirita, pirita
		6/2	5/2	1	2/1					7/1
X2	Ankerita, ankerita ferroana calcita, siderita c/ Mg		-	Sericita	Albita	-	-	-	-	Pirita
		25/2		9/2	40/2					3/1
X3 c/ actinolita	Calcita		Mg clorita c/ Cr (rip-pic)	-	-	Talco c/ Fe	Actinolita	-	-	Gersdorffita
		6/1	3/1			7/1	8/1			6/1
X3	Dolomita		Mg clorita c/ Cr (pic cromífera)	-	Albita	Talco c/ Fe	-	Flogopita	-	Gersdorffita
	Calcita	5/1 11/1	9/2		1	7/2		4/1		5/2
X3 s/ talco	Ankerita, dolomita ferroana a ankerita		Mg clorita c/ Cr (rip cromífera)	Sericita cromífera	Albita	-	-	-	-	Gersdorffita
		4/1	1	2/1	9/1					1
Fx	Ankerita e ankerita ferroana		Fe-Mg clorita c/ Cr (rip)	Sericita cromífera	-	-	-	-	-	Gersdorffita
		5/1	3/1	3/1						5/1
Bix	Dolomita ferroana		Mg clorita (pic e rip)	-	Albita	-	-	Biotita, biotita a flogopita	-	Gersdorffita
		5/2	5/2		22/2			4/2		1
BIF	Ankerita ferroana, siderita magnésiana		Fe clorita (rip)	Sericita	Albita	-	-	-	-	Pirita, arsenopirita, pirrotita, calcopirita
		20/3	2/1	1	4/2					27/3
Xs c/ epidoto	Calcita		Mg-Fe clorita (rip)	Sericita	Albita	-	-	-	Epidoto s.s.	Gersdorffita
		1	2/1	1	25/1				1	1
Xs c/ epidoto	Ankerita ferroana		-	Sericita cromífera c/ Na	Albita	-	-	-	-	Pirrotita, pentlandita
		4/1		2/1	2/1					6/1
Clx	Ankerita ferroana, siderita magnésiana		Fe clorita (trg)	Sericita c/ Na	-	-	-	-	-	Pirrotita e arsenopirita
		19/2	8/3	1						4/2
LS	Calcita		-	Sericita	Albita	-	-	-	-	Pirita
		7/1		1	9/1					5/1
Md	Calcita		Mg-Fe clorita (rip)	-	Albita-oligoclásio (c/ até 8,12% de An)	-	Actinolita	Biotita	Epidoto s.s.	Pirita, calcopirita
		3/1	5/1		8/1		5/1	4/1	7/1	7/1

Notas: * Número de grãos analisados/total de seções delgadas, para os respectivos minerais e tipos litológicos.

Foram computadas também, as análises qualitativas feitas pelo EDS (Sistema Dispersivo de Energia), e aquelas que, apesar do fechamento não ter sido bom, a fórmula química indica perfeitamente o mineral. Classificações de cloritas segundo Hey (1954, in Deer et al., 1966). Abreviações: rip: ripidolita; pic: picnoclorita; trg: turingita.

A arsenopirita constitui o segundo sulfeto de maior frequência na BIF, de um modo geral, e ocorre em cristais anédricos a euédricos, disseminada ou intercrescida com po e cpy. Por vezes ocorre como minúsculos cristais subédricos, dispostos segundo o bandamento da BIF. Foi identificado na lâmina GP2-S18, micro cristais de ouro incluso na apy.

A pirita ocorre subordinadamente, em cristais subédricos a euédricos, disseminados na rocha, com granulação milimétrica (é o sulfeto mais grosseiro da BIF). A amostra GP13-S11 possui grãos de ouro, inclusos na pirita.

Calcopirita ocorre perfazendo apenas cerca de 1% da rocha, em cristais geralmente anédricos (forma amebóide), ocasionalmente, subédrica, intercrescida com py e po.

O ouro ocorre ainda, incluso no carbonato, variando de muito fino a mais grosseiro. O QUAD. 9 mostra a estimativa percentual para os tipos de sulfetos, nas lâminas delgadas do corpo Espírito Santo, estudadas neste trabalho.

Quadro 9 - Percentual estimado para os vários tipos de sulfeto, nas lâminas delgadas de formação ferrífera, do corpo de minério Espírito Santo, níveis 28 e 30 da mina de Raposos.

Nº da lâmina	GP1-S18	3000-2	3000-3	GP3-S18	GP13-S11*	3000-4	GP2-S18*	3000-2	3000-5Y
Pirrotita	3	1	14	–	5	7	10	1	10
Arsenopirita	–	1	10	<1	1	tr	8	1	<1
Pirita	–	2	<1	2	2	2	2	2	<1
Calcopirita	<1	–	1	<1	tr	1	<1	–	tr

NOTA: * lâminas com traços de ouro que ocorre, ora incluso no carbonato, ora em pirita ou pirrotita - primeira lâmina - ou ainda, incluso em arsenopirita (segunda lâmina).

As razões do *electrum* Au/Ag obtidos das análises de dois grãos numa mesma lâmina foram 6,3:1 e 8,3:1.

O plagioclásio é a albita, a qual aparece como constituinte varietal, com baixos percentuais. A clorita possui forte pleocroísmo e cor de interferência azul esverdeado, mostrando se tratar de clorita rica em ferro. Nas duas lâminas delgadas selecionadas para análise de microsonda eletrônica (ME) a clorita estava ausente. Os percentuais médios dos minerais nas diversas amostras estudadas podem ser vistos no QUAD. 7.

Foi mapeada na porção mais a sul do corpo Espírito Santo, uma estreita camada de rocha quartzo-carbonática bem bandada, muito semelhante à BIF, sendo assim considerada. Esta camada é estéril, e encontra-se intercalada no X1 (metapelito). No entanto, uma amostra aí coletada, mostrou uma enorme semelhança com a Lapa Seca, o mesmo se dando a nível microscópico. As seguintes semelhanças foram identificadas:

- grande quantidade de clorita, disseminada na rocha, fato este incomum na BIF típica;
- nessa escala, não apresenta o fino bandamento típico da BIF;

Os seguintes dados de ME foram obtidos para esta BIF atípica: o carbonato é uma siderita magnésiana e a clorita é rica em ferro, podendo ser classificada como ripidolita¹.

¹Como as análises são feitas para ferro total, não é possível determinar se as cloritas são oxidadas ou não; será aqui utilizada a nomenclatura para as cloritas não oxidadas, uma vez que estas são as mais comuns (Anexo 3).

Os dados químicos em rocha total acusaram 20,52% de ferro, e a assinatura geoquímica global permite classificar esta rocha como sendo, realmente, uma formação ferrífera.

Metabasalto (Mba):

Rocha apenas observada em testemunhos de sondagem, na porção leste da área mapeada, para norte do distrito principal de nível 28. A única lâmina analisada corresponde a um clorita-epidoto-actinolita-albita xisto com quartzo, sericita, carbonato e sulfetos (Foto 16). Comparando-se esta amostra com o “metandesito” maciço (Man) e o Manx descritos por Vial (1980) e Vieira (1987), ela parece conter uma assembléia mineralógica intermediária entre o Man e o Manx; contém ainda epidoto, actinolita e plagioclásio em grandes proporções - o que é característico de Man - sendo que já é alto o percentual de clorita, semelhantemente ao Manx. É frequentemente observada na lâmina analisada a intrínseca associação: clorita, epidoto, actinolita .

Os resultados obtidos na microsonda eletrônica revelaram que os minerais descritos são: epidoto *sensu strictu*, actinolita, Mg-Fe clorita (transição ripidolita/picnoclorita), albita cuja média do teor de An é 2,43% - os grãos grandes, associados ao carbonato, têm 1 a 2,5% a mais de An do que os recristalizados; todos os carbonatos são calcitas e os sulfetos incluem pirita, com traços de cobalto (0,40% em peso), e calcopirita, com traços de zinco (0,06% em peso) e chumbo (0,08% em peso) - QUAD. 7.

Carbonato-sericita-quartzo xisto (X2):

Carbonato-sericita/clorita-quartzo xisto com plagioclásio, de textura granolepidoblástica . Pode-se distinguir dois "tipos" de X2: um homogêneo, quanto à composição, de coloração beje-esverdeada, e outro bem bandado, com níveis decimétricos a centimétricos, alternando bandas beje-esverdeadas semelhantes ao primeiro tipo descrito, e bandas verde-escuras; a diferença de composição destas bandas está na grande quantidade de clorita, na porção escura (Fotos 17, 19 e 20). Amostras de diversos pontos, mapeados como X2 típico, mostraram as seguintes características ao microscópio:

- O X2 em contato com o dique de metadiabásio, mostra uma composição de carbonato-sericita-clorita-quartzo xisto com plagioclásio e significativa proporção de ilmenita. Sendo este último um mineral que ocorre tipicamente nos diques de metadiabásio da mina, isto poderia ser explicado por processos metassomáticos vinculados ao posicionamento do dique;
- Carbonato-sericita/clorita-quartzo xisto cuja clorita, de pleocroísmo verde e cor de interferência azul Berlim, é típica dos diques de metadiabásio e do clorita xisto (Clx; Foto 18). Como a amostra em questão foi retirada de uma porção do X2, conclui-se que ela seja proveniente da alteração do clorita xisto, o que pode-se atribuir a processos de carbonatação e sericitização;

Carbonato-sericita/clorita-quartzo xisto com plagioclásio, contendo uma proporção de quartzo em cristais bipiramidais, sugerindo origem vulcânica, típico do Xs (albita-quartzo-carbonato-sericita xisto; Foto 21). Pode-se deduzir então, que este X2 advenha da alteração do Xs, presumivelmente pela sua carbonatação.

Uma característica comum às diversas amostras examinadas é a constante presença do plagioclásio (albita), desde constituinte acessório até principal. Turmalina e rutilo estão quase sempre presentes, como acessórios.

PRANCHA 5

METABASALTO E SEUS PRODUTOS DE ALTERAÇÃO

Foto 16 - Amostras de testemunhos de sondagem onde se vê, à esquerda, albita-epidoto-actinolita-clorita-carbonato xisto (Mba), com sua típica coloração verde-escuro, e à direita, o carbonato-sericita-quartzo xisto (X2), de coloração acinzentada o qual corresponde ao Mba no estágio mais avançado da alteração. Amostras R1013-2 e R1013-1, da esquerda para a direita. Nível 28, fora da área mapeada.

Foto 17 - Amostra-de-mão do albita-carbonato-quartzo-sericita xisto (X2alb), com níveis claros constituídos por albita, quartzo e sericita, e a porção por carbonato com granulação muito fina. Amostra GP17-S1, número 1 no mapa 02.

Foto 18 - Amostra do contato gradacional entre o carbonato-sericita-clorita-quartzo xisto (Clx), com muito sulfeto (~ 12%), e o carbonato-sericita-quartzo xisto (X2). A análise química em rocha total revelou 6,15 ppm de ouro, no Clx. Essa amostra é a EW6-S1, de mesmo número daquela da foto 12 - contato Clx/BIF, por representar a amostragem numa estreita camada do Clx, em contato a norte com o X2 e a sul, com a BIF. Amostra número 7 no mapa 02.

Foto 19 - Amostra-de-mão do carbonato-sericita-quartzo xisto (X2) mostrando a típica coloração verde-claro acinzentado. Essa amostra, especificamente, contém uma maior proporção de sericita do que de carbonato. Corresponde ao metabasalto na zona do carbonato-sericita. Amostra ES1-S12, número 18 no mapa 02.

Foto 20 - Detalhe da exposição no nível 32, do sericita-clorita-carbonato-albita-quartzo xisto (X2clo ou X2 bandado), mostrando a alternância de bandas centimétricas escuras, cloríticas, com bandas claras, onde o filossilicato dominante é a sericita. Corresponde ao metabasalto na zona da clorita-sericita. Localização: *foot wall* do corpo de minério E.W.

Foto 21 - Fotomicrografia do carbonato-sericita-quartzo xisto (X2) com quartzo em forma bipiramidal (Qz), com bordas corroídas, típico do carbonato-albita-quartzo-sericita xisto (Xs). LT, NX, corte YZ. Amostra EW-S5A, número 9 no mapa 02.



Os seguintes dados foram obtidos por ME para a composição destes minerais: a sericita mostra algum percentual de sódio (até 0,69% de Na₂O); os carbonatos são geralmente ankerita, com siderita magnésiana e calcita subordinadas. Os plagioclásios, tanto os grãos grandes, às vezes bem maclados, como os muito finos da matriz, são todos albíticos com, no máximo, 4% de An (QUAD. 7).

A foliação principal da rocha (S₂, conforme veremos adiante) encontra-se por vezes, truncando uma foliação mais antiga, segundo a qual pode ocorrer o desenvolvimento do carbonato.

Talco-clorita-carbonato-quartzo xisto (X3):

O X3 ocorre, no nível mapeado, como *hanging wall* da formação ferrífera. Corresponde a xistos de coloração verde acinzentada cujos constituintes principais são, geralmente: clorita magnésiana, carbonato, talco e quartzo (Fotos 22 a 26). O talco nem sempre está presente já que, por processos de carbonatação, o mesmo se transforma total ou parcialmente em carbonato+quartzo (Fotos 26, 27 e 28). Isto pode ser constatado em algumas lâminas pela observação da intrínseca associação entre o carbonato e o talco (Fotos 29 e 30): o carbonato se concentra preferencialmente nas porções talcosas, o que sugere que ele tenha se formado predominantemente às custas do talco; mesmo o carbonato pós-cinematóico mantém tal relação (Foto 30). Este X3 com ou sem talco, apresenta textura granolepidoblástica a lepidoblástica e mostra uma xistosidade ora homogênea, ora em domínios.

Junqueira & Ladeira (1990) determinaram, em uma amostra próxima ao dique de metadiabásio mais a leste, a presença de anfibólio, o qual atinge 25% da rocha (amostra 2,3-11, QUAD. 7, Fotos 24 e 25). A ocorrência deste mineral no X3, dentro da mina, não tinha sido ainda identificada até aquele estudo. Este "X3" com anfibólio é interpretado representar uma paragênese metamórfica menos alterada do que o X3 comumente observado. Foi considerada, entretanto, a possibilidade dele representar um metassomatismo sobre o X3 uma vez que a amostra foi coletada próximo ao dique. No entanto, a grande quantidade de anfibólio, com textura sem conotação de "discordância" com a foliação principal da rocha, aliado ao fato de que o carbonato dessa rocha ainda é calcita - carbonato típico das assembléias incipientemente alteradas - levaram à conclusão de que esta amostra representa a metaultramáfica menos alterada, próximo à assembléia metamórfica.

Como minerais acessórios tem-se: titanita, rutilo, plagioclásio e opacos (geralmente sulfetos); os varietais são: biotita, fuchcita, sericita e turmalina (QUAD. 7).

Embora não individualizado durante o mapeamento, foram identificados três tipos de X3: X3 com anfibólio, X3 (talco xisto, mais frequentemente observável na mina) e X3 sem talco, com albita. Os dados de microsonda obtidos revelam a seguinte composição para os minerais destes X3 (vide síntese no QUAD. 8):

- **X3 com anfibólio** (clorita-anfibólio-talco-carbonato xisto com quartzo e sulfetos): Mg-clorita com pouco ferro (razão Mg:Fe_{total} = 2,7:1) e traços de cromo (0,15 a 0,3 cátions de Cr) podendo ser classificada como picnoclorita; actinolita; talco com ferro (média de 0,6 cátions); (Ni,Fe,Co)AsS, pela primeira vez determinada no Distrito de Nova Lima.
- **X3** (talco-clorita-carbonato-quartzo xisto com plagioclásio, biotita e sulfeto): Mg-clorita com pouco ferro e traços de cromo, semelhantes ao X3 com anfibólio; talco com ferro (0,55 a 0,73 cátions de Fe⁺²); dolomita com algum ferro e calcita; albita; flogopita; e gersdorfita com Fe e Co, semelhante àquela descrita anteriormente.

PRANCHA 6

METAULTRAMÁFICA E SEUS PRODUTOS DE ALTERAÇÃO

Foto 22 - Exposição no nível 28 da mina, do talco xisto (X3), intensamente dobrado por D_2 , e cortado por zona de cisalhamento (a linha tracejada corresponde à superfície C do cisalhamento). As setas indicam o sentido aparente do deslocamento. Note-se a extensa silicificação aí observada, a qual é bastante freqüente no X3. *Hanging wall* do corpo de minério Espírito Santo.

Foto 23 - Amostra do clorita-talco-carbonato-quartzo xisto (X3) de coloração verde escuro com porções esbranquiçadas e aspecto sedoso, conferido pelo talco. Corresponde à metaultramáfica na zona do talco-clorita. Amostra ES1-S11, número 27 no mapa 02.

Foto 24 - Única amostra de metaultramáfica ainda com anfibólio (menos alterada) encontrada na mina. É aqui considerada como a mais próxima da assembléia metamórfica original, pré-alteração. Corresponde a um clorita-actinolita-talco-carbonato xisto (X3 c/ act.). Amostra 2,3-11, número 43 no mapa 02.

Foto 25 - Fotomicrografia da amostra 2,3-11, mesma da foto anterior, mostrando a seção basal losangular da actinolita. O carbonato xenoblástico aí presente, quando analisado na microssonda eletrônica, mostra a composição de uma calcita, o que corrobora a hipótese dessa rocha representar uma assembléia mais próxima do metamorfismo regional (os carbonatos das assembléias mais alteradas são de dolomita a ankerita).

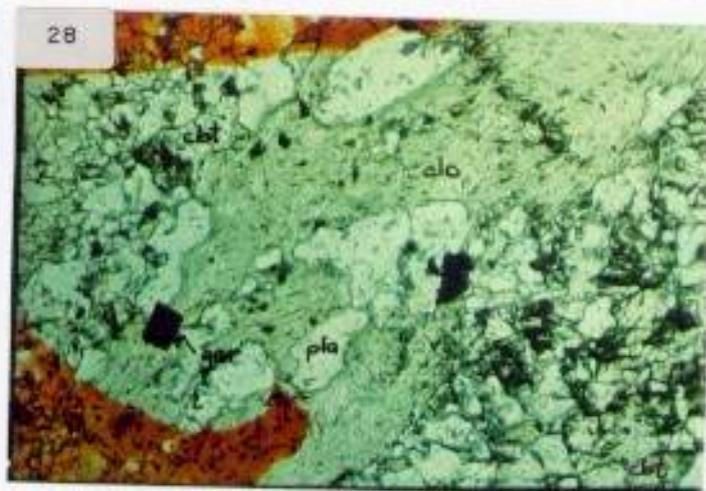
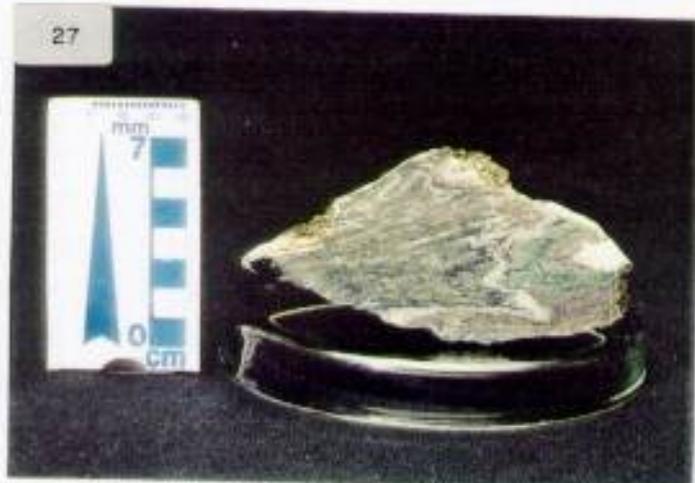
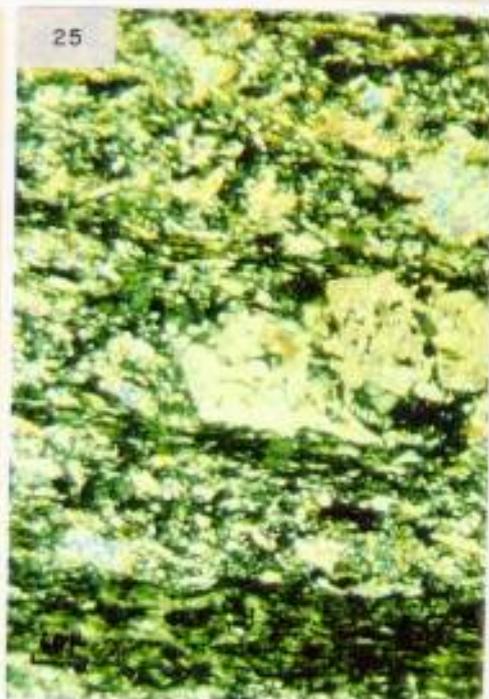
Foto 26 - Amostra do carbonato-albita-clorita-quartzo xisto (X3 s/ talco, albítico), de coloração verde escuro e intensamente dobrado (porção superior da amostra), em contato com o carbonato-albita-quartzo xisto com fuchsite (Fx albítico), porção marrom/verde. Estes dois litótipos correspondem à metaultramáfica no estágio avançado, na zona do carbonato-albita. A amostra representa a zona axial de dobra do 2º evento, no Fx, e o desenvolvimento de dobras de segunda ordem, apertadas, no X3 s/ talco. Amostra 2,3-4B, número 36 no mapa 02.

Foto 27 - Mesma amostra da foto anterior, vista num corte perpendicular ao eixo B_2 , sendo a porção verde equivalente ao carbonato-fuchsite-quartzo-albita xisto (Fx).

Foto 28 - Fotomicrografia da mesma amostra da foto anterior, na porção do X3 s/ talco, albítico, analisada em microssonda eletrônica. clo: Mg-Fe clorita com cromo; cbt: ankerita; pla: albita; opaco: sulfeto do tipo gersdorffita (ger). LT, N//, aumento 100x.

Foto 29 - Fotomicrografia do talco-clorita-carbonato xisto (X3) mostrando a estreita associação do carbonato aos níveis ricos em talco (tc). Corresponde à metaultramáfica na 1ª zona do estágio inicial de alteração (zona de talco-clorita). LT, NX, corte ~ YZ. Amostra 2,3-12, número 41 no mapa 02.

Foto 30 - Fotomicrografia do clorita-talco-carbonato-quartzo xisto (X3), onde se nota que mesmo o carbonato (cbt) pós-cinemático mantém estreita associação com os níveis talcosos (tc). LT, NX, corte ~ YZ. Amostra ES1-S11, número 27 no mapa 02.



- **X3 sem talco, albítico** (clorita-carbonato-quartzo xisto com cromo moscovita - aqui genericamente denominada fuchcita, como feito por Vieira e outros -, sulfetos e apatita): ankerita e dolomita ferroana/ankerita; albita quase pura (< 1% An); Mg-clorita um pouco mais rica em ferro do que as anteriores; gersdorffita, mais rica em Co que aquelas do X3 supracitados (Co aproximadamente igual ao Fe); e flúor-hidroxiapatita, não descrita anteriormente no depósito (Fotos 26 e 27).

Assim como o X1, o X3 reflete bem a intensa deformação a que foram submetidas as rochas desta área (Fotos 22 e 26). A xistosidade mais marcante aqui, como nas demais litologias, é a S₂, a qual se encontra frequentemente crenulada.

Fuchcita Xisto (Fx):

O fuchcita xisto aparece no nível 28, como estreitas lentes, comumente na interface da formação ferrífera com o X3. Foi verificada também a presença de lentes de Fx no contato do X3 com o X1, em testemunhos de sondagem, e sua intercalação esporádica no X2.

Corresponde a uma rocha de coloração verde intenso conferida pelas micas cromíferas, genericamente designadas de fuchcita. Trata-se de um carbonato-fuchcita-quartzo-albita xisto, de textura granolepidoblástica, cujos acessórios são: sulfeto, rutilo e turmalina (QUAD. 7); este último apresenta-se frequentemente com belo zoneamento de cor nas suas seções basais.

Uma única lâmina foi analisada na microsonda e foi constatado que a mica branca corresponde à denominada “cromo moscovita”, denominação essa a mais referida atualmente na literatura, e que vem substituir ao antigo nome de fuchcita. Este termo é aqui utilizado para fins de simplificação.

A clorita é uma Fe-Mg clorita fortemente pleocróica, com birrefringência azul de Berlim, geralmente cromífera (Foto 31). No diagrama de Hey (1954, *in* Deer *et al.*, 1966) para nomenclatura de cloritas, ela corresponde à ripidolita. Os carbonatos são ankerita e ankerita ferroana (mais de 40% de FeCO₃), conforme pode ser visto no anexo 3. Todos os possíveis plagioclásios analisados (sem maclas ou muito finos), mostraram ser quartzo, e o sulfeto é a gersdorffita com Fe e Co, semelhante à do X3 (Foto 32).

Biotita xisto (Bix):

O biotita xisto ocorre intercalado no X3, em contato gradacional com o mesmo, numa porção restrita do nível mapeado.

Corresponde a uma rocha muito semelhante ao X3, macroscopicamente, apresentando entretanto, tons acastanhados devido à presença de biotita. Em termos petrográficos, pode ser descrito como um albita-clorita-carbonato-quartzo-biotita xisto, às vezes com muita fuchcita, de textura granolepidoblástica (QUAD. 7; Foto 33).

O carbonato, geralmente xenoblástico, ocorre associado aos níveis com plagioclásio e se forma preferencialmente a partir deste; isto explica a flutuação na proporção relativa entre estes dois constituintes, conforme estejamos analisando um Bix onde a alteração da rocha tenha sido maior ou menor.

PRANCHA 7

METAULTRAMÁFICA E ROCHAS CORRELATAS (FX E BIX)

Foto 31 - Fotomicrografia do carbonato-fuchsite-quartzo-clorita-albita xisto (Fx), de textura granoblástica, salientando-se a clorita fortemente pleocróica; clo: Fe-Mg clorita; ger: gersdorfita. Corresponde à metaultramáfica no estágio avançado da alteração. LT, N//, aumento 100x. Amostra GP5-S18, número 35 no mapa 02.

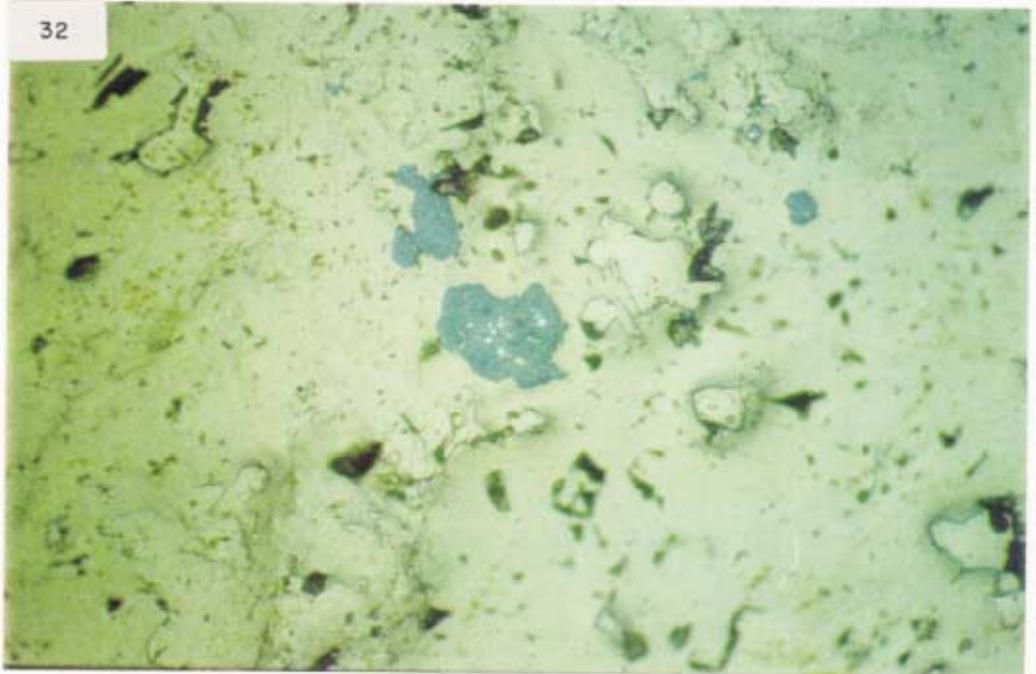
Foto 32 - Fotomicrografia da mesma seção delgada da amostra anterior (Fx) mostrando-se o sulfeto de arsênio, níquel e ferro, a gersdorfita, pela primeira vez descrita neste depósito. Ela ocorre tipicamente, restrita às metaultramáficas. Os cristais são de coloração azul turquesa, geralmente subidiomórficos a xenomórficos. LR, N//, aumento 200x.

Foto 33 - Amostra do albita-fuchsite-clorita-carbonato-biotita xisto (Bix), o qual ocorre intercalado no X3, mais freqüentemente no *hanging wall* do corpo Espírito Santo, próximo ao dique de metadiabásio, consistindo aí de estreita camada representável na escala do mapa (vide mapa 01). Amostra GP7-S17, número 47 no mapa 02.

31



32



33



O plagioclásio ocorre em grãos maiores, alguns bem maclados, outros intensamente saussuritizados e com inclusões fluidas, embora grande quantidade dele esteja sob a forma de finos grãos, recristalizados a partir desses grãos maiores. Isto dificulta, muitas vezes, a identificação deste mineral, o qual pode ser confundido com uma matriz de quartzo recristalizado.

Os dados de microsonda mostram que a clorita é uma Mg-Fe clorita, do tipo picnoclorita; o carbonato é a dolomita; a biotita está no limite biotita/flogopita e o plagioclásio é uma albita pura (menos de 0,75% An); o sulfeto é a gersdorffita com Fe e Co, como as anteriormente descritas.

A biotita está sempre associada à clorita, e é interpretada como produto da alteração da clorita, pelo aporte de K^+ e sua desidratação. Todas as análises mostram um baixo percentual de K_2O (9,0%).

A foliação principal da rocha, a S_2 , é conferida pela orientação da clorita e da biotita, que se alternam com bandas de quartzo, albita e dolomita. Algumas vezes notam-se "ripas" de biotita com orientação mais antiga, truncadas pela S_2 .

A estreita associação do Bix ao X3, aliado as características petrográficas acima descritas, sugerem que esta rocha seja proveniente da alteração do X3, sendo que o fenômeno da biotitização pode estar ligado ao cisalhamento.

Lapa Seca (LS):

A Lapa Seca ocorre, no nível mapeado, em duas camadas, aparentemente distintas, intercaladas no X1, com espessuras aproximadas de 50 centímetros. A rocha mostra-se intensamente deformada e apresenta comumente massas e/ou venulações quartzo-carbonáticas (Foto 34).

Corresponde a uma rocha de coloração cinza escuro, constituída quase essencialmente de carbonato, com pequena proporção de quartzo. Apresenta-se geralmente com aspecto granular embora, algumas vezes, se mostre finamente bandada, com níveis brancos de carbonato grosseiro, intercalados nas porções escuras de carbonato fino com matéria carbonosa associada (Fotos 35, 36, 37). A textura da rocha é granoblástica e como minerais acessórios tem-se: matéria carbonosa, associada preferencialmente ao carbonato mais fino, plagioclásio, sericita e sulfetos (QUAD. 7). Plagioclásio e carbonato estão intimamente associados. Em uma das lâminas descritas, foram observados traços de zircão, alguns deles, perfeitamente idiomórficos (Lâmina EW-2-S5).

Os dados de microsonda obtidos para uma única lâmina revelaram as seguintes composições para os minerais da LS: os carbonatos analisados são calcita, tanto os subidiomórficos grosseiros quanto os xenomórficos, mais finos, embora o carbonato mais predominante, baseado em dados da literatura, seja a ankerita; o plagioclásio em grãos pequenos, às vezes maclados, ou os maiores em meio ao carbonato são albitas, quase puras - é provável que a grande maioria dos pequenos grãos descritos como quartzo sejam, na verdade, albita, conforme foi observado em todos os grãos analisados qualitativamente; todos os sulfetos são piritas.

Metadiabásio (Md):

Ocorrem no trecho mapeado dois diques de metadiabásio, cujas potências aparentes são 30 e 15 metros respectivamente, de W para E (Mapa 01).

O Md é uma rocha caracteristicamente maciça, que ao microscópio mostra uma textura subofítica reliquiar na sua porção central, e xistosa nas bordas. Em termos mesoscópicos mostra coloração cinza-esverdeada, conferida pela clorita, e se encontra intensamente cortado por venulações quartzo-carbonáticas, aspecto este bem característico desses diques (Foto 38).

Em lâmina delgada, o Md quando maciço, é constituído por epidoto, actinolita, plagioclásio, clorita, e ilmenita esqueletiforme, esta, extensivamente transformada em titanita; as ripas de plagioclásio, geralmente bem macladas segundo as leis da Albita e de *Carlsbad*, encontram-se frequentemente transformadas em epidoto. Subordinadamente, tem-se quartzo, carbonato, biotita e sulfetos.

As amostras coletadas nas bordas do dique mostram que aí a textura original da rocha foi obliterada por uma marcante xistosidade (S_2), o que o torna, nessas porções, muito semelhante ao X3. O plagioclásio encontra-se saussuritizado e recristalizado, além de amplamente transformado em carbonato. Outra transformação do plagioclásio que também se observa é a sua cloritização.

Ao analisarmos partes mais xistosas do dique, e portanto, mais alteradas, essas transformações do plagioclásio não são mais observáveis, e a paragênese original supracitada dá lugar a um clorita-carbonato-quartzo-sericita xisto com ilmenita, titanita e turmalina, já quase sem plagioclásio. A clorita aqui é de pleocroísmo médio a forte, com birrefringências anômalas azul de Berlim ou castanhas.

A análise de uma lâmina da porção maciça de dique por microsonda revelou a seguinte composição para os minerais: calcita; Mg-Fe clorita (ripidolita); albita com 1,72 a 8,12% de An; actinolita; epidoto *sensu strictu*; e pirita com traços de cobalto e chumbo (QUAD. 8).

Quartzo-carbonato-sericita xisto com matéria carbonosa (X1):

Xistos de coloração cinza escuro, de granulação fina, com nítido bandamento composicional em níveis milimétricos claros e escuros (Foto 39). Correspondem a um xisto de textura granolepidoblástica; as bandas escuras são compostas por sericita/moscovita e matéria carbonosa, e as claras, por quartzo e carbonato. Foi possível identificar, em uma das amostras, o bandamento gradacional ao qual se paraleliza o bandamento supra citado; trata-se pois, do acamamento (S_0). É comum a identificação de duas foliações mostrando fenômeno de transposição (Foto39).

Albita-carbonato-quartzo-sericita xisto (Xs):

O Xs ocorre como delgadas camadas intercaladas no X2, próximo ao contato X2/X1. Corresponde a uma rocha de coloração acinzentada caracterizada, macroscopicamente, pela presença de grãos de quartzo grosseiros, escuros, muitas vezes observados com o simples auxílio da lupa. A identificação destes grãos de quartzo é quase sempre imprescindível para se distinguir este xisto do X2 (Fotos 40 e 41).

Essa rocha apresenta, por vezes, algum epidoto, tendo como minerais acessórios: clorita, rutilo, turmalina e zircão. A proporção relativa entre os constituintes mineralógicos principais deste xisto é variável em função do grau de alteração da rocha.. O quartzo aparece em grandes cristais com habitus bipiramidal, com bordas corroídas, muitas vezes com bandas de deformação (Foto 42) e em pequenos grãos recristalizados, poligonizados.

PRANCHA 8

LAPA SECA, DIQUE DE METADIABÁSIO E XISTO CARBONOSO

Foto 34 - Rocha carbonática com quartzo e matéria carbonosa (Lapa seca: LS), de aspecto maciço, mostrando a espessura mais comumente observada no nível 28, de aproximadamente 50 cm. Note-se ainda, *ladder veins* quartzo/carbonáticos, controlados pela clivagem espaçada S_3 . Sudoeste do corpo Espírito West.

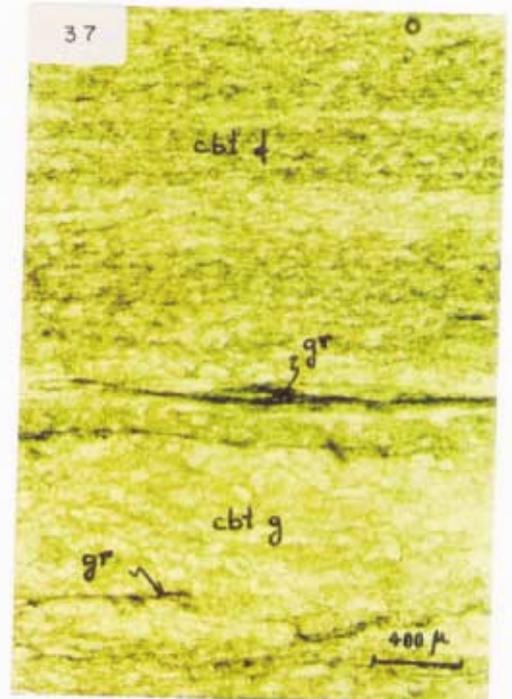
Foto 35 - Amostra-de-mão da Lapa Seca, com coloração cinza característica, e aspecto maciço como mais comumente observado. Amostra 3-S14, número 54 no mapa 02.

Foto 36 - Lapa Seca com bandamento milimétrico caracterizado pela alternância de porções escuras compostas de carbonato mais fino, com matéria carbonosa associada, e níveis claros de quartzo e carbonato mais grosseiro. Amostra EW-2-S5, número 11 no mapa 02.

Foto 37 - Fotomicrografia da amostra da foto anterior, salientando-se o bandamento conforme acima descrito. cbt f = carbonato fino; gr: matéria carbonosa; cbt g: carbonato grosseiro.

Foto 38 - Amostra do dique de metadiabásio (Md), constituído por epidoto, actinolita, albita e clorita. Note-se o aspecto maciço, mais frequentemente observado, e porções quartzo-carbonáticas, as quais são comuns nos diques. Amostra ES5-S10, número 16 no mapa 02.

Foto 39 - Quartzo-carbonato-sericita xisto com matéria carbonosa (X1), finamente bandado e intensamente dobrado. O bandamento S_0 ao qual se paraleliza a xistosidade S_1 , encontra-se com incipiente transposição por S_2 - foliação plano-axial das dobras. Amostra do nível 28.



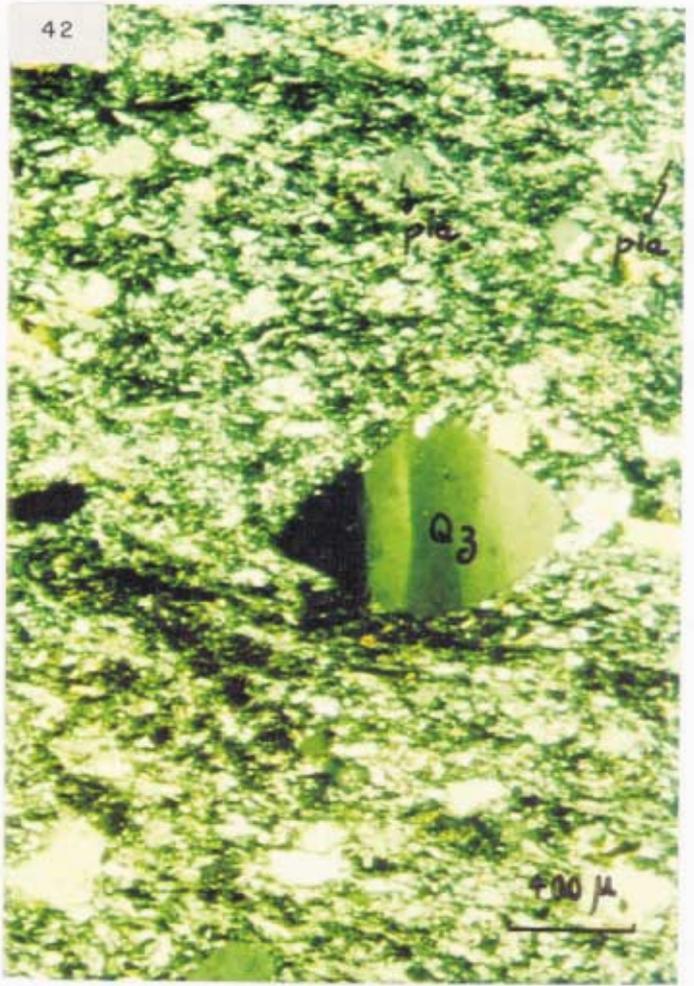
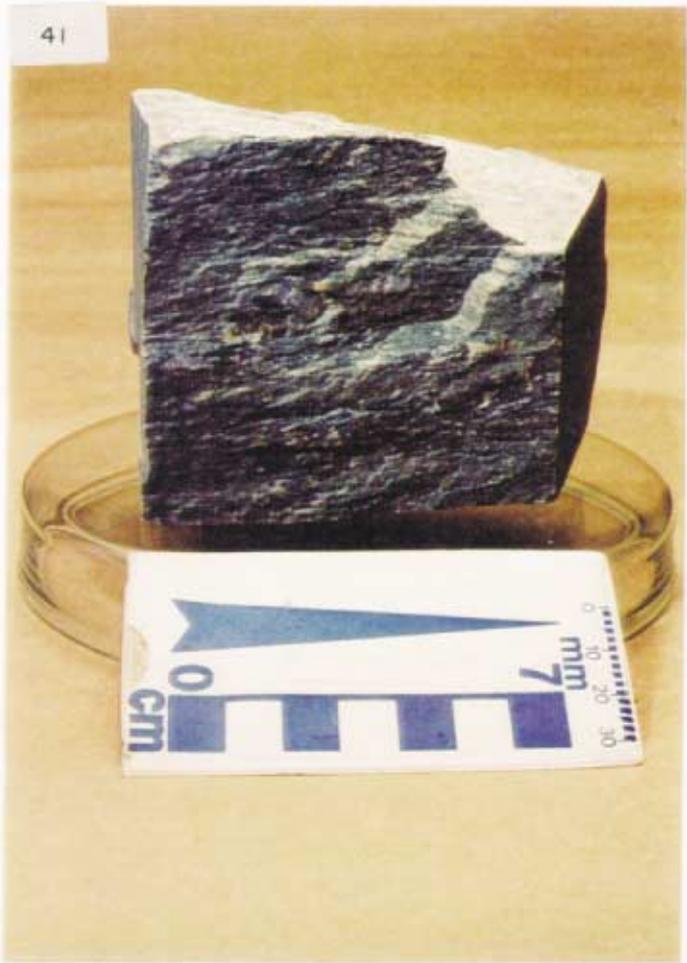
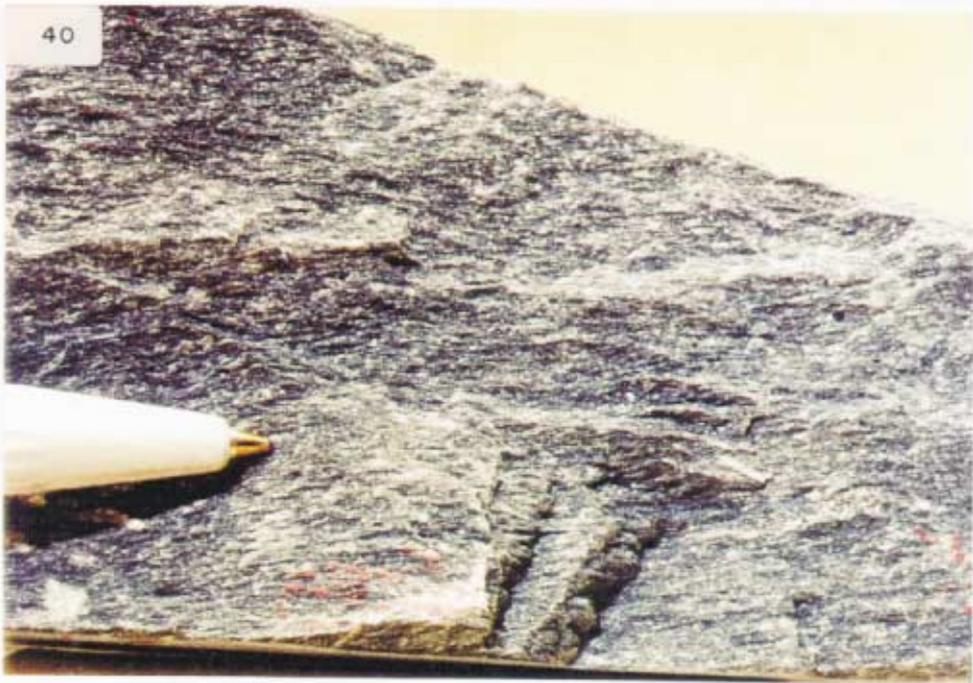
PRANCHA 9

Xs

Foto 40 - Detalhe de amostra-de-mão do albita-carbonato-quartzo-sericita xisto (Xs), onde se vê os grãos grosseiros de quartzo, escuros, típicos do Xs. Amostra EW S5-A, número 9 no mapa 02.

Foto 41 - Amostra de xisto verde-claro macroscopicamente, muito semelhante ao X2clo, e coletado do meio de pacote de X2. Apresenta, no entanto, as feições típicas do Xs: grãos grosseiros de quartzo, escuros; ao microscópio, bandamento gradacional e formato bipiramidal dos grãos de quartzo, além da mineralogia (carbonato-albita-quartzo-sericita xisto). Trata-se portanto, do Xs carbonatizado. Amostra ES-4, número 25 no mapa 02.

Foto 42 - Fotomicrografia do quartzo-sericita-carbonato-albita xisto (Xs) com “fenocristal” de quartzo (Qz) bipiramidal, com bandas de deformação e incipiente recristalização nas bordas. pla: plagioclásio. LT, NX, corte ~ XY. Amostra ES3-S13, número 20 no mapa 02.



O plagioclásio ocorre em cristais maiores, frequentemente carbonatizados, e com inúmeras inclusões de sericita, carbonato e ainda, em finos grãos provenientes da recristalização daqueles.

A textura da rocha é granolepidoblástica ocelar, e foi possível detectar um tênue acamamento, ao qual se paraleliza a foliação mais proeminente da rocha, a S_2 . Em uma lâmina segundo o corte XZ, observou-se acentuada recristalização, estando o carbonato e o quartzo orientados segundo S_2 .

Foram selecionadas para análise de microsonda duas lâminas do Xs, as quais refletem graus de alteração diferentes (QUAD. 7).

- **Xs com epidoto:** deve corresponder a uma rocha mais próxima do seu protólito, já que o carbonato é uma calcita, e o epidoto e a clorita ainda estão presentes. O epidoto é mais pobre em Fe, e a clorita, ligeiramente mais rica em Fe do que aquelas do metabasalto xistoso. A gersdorffita - sulfeto só detectado nas ultramáficas - encontra-se presente.
- **Xs sem epidoto:** é o Xs mais comumente observado. Seu carbonato é de ferro (ankerita) e a sericita tem algum percentual de sódio aproximando-se da paragonita (1,29% Na_2O); os sulfetos são pirrotita e pentlandita - $(Fe, Ni)_9S_8$ ou $(Fe, Ni)S$. Como acessórios tem-se titanita e rutilo.

Clorita xisto (Clx):

Rocha de coloração verde-escura (Foto 43), a qual ocorre como delgadas camadas em contato com a formação ferrífera - quase sempre na interface X2/BIF - ou, ainda, como níveis centimétricos intercalados na mesma. Tanto em observação mesoscópica quanto microscópica, o contato supracitado parece ser gradacional. Também o contato Clx/X2, possui, mesoscopicamente, um aspecto do tipo gradacional (Foto 18).

Trata-se de um carbonato-clorita-quartzo xisto com ilmenita, sulfetos e traços de turmalina. A sericita pode atingir grandes percentuais, chegando a superar a proporção de quartzo.

A textura da rocha, ao microscópio, é granolepidoblástica, com xistosidade homogênea. A clorita é fortemente pleocróica e possui birrefringência verde-acinzentado (Fotos 44 e 45).

Os dados de microsonda revelaram que quase todos os minerais do clorita xisto são minerais de ferro: Fe-clorita - as análises se assemelham muito às de turingitas apresentadas em Derr *et al.* (1966); ankerita ferroana (40,35% $FeCO_3$), siderita magnesiana e traços de calcita; pirrotita com traços de níquel; e ilmenita. A sericita mostra algum teor de sódio (vide QUAD. 7).

A foliação mais marcante da rocha é a xistosidade S_2 , e os sulfetos geralmente se orientam segundo a mesma (Foto 44). Uma lâmina do contato Clx/BIF mostra que os sulfetos da formação ferrífera se concentram, preferencialmente, próximo a esse contato.

PRANCHA 10

CLORITA XISTO

Foto 43 - Rocha de coloração verde escuro, correspondente a um clorita-quartzo-carbonato xisto (Clx); essa cor é conferida pela clorita rica em ferro. Amostra GP15-51, número 4 no mapa 02.

Foto 44 - Fotomicrografia do clorita-quartzo-carbonato xisto (Clx) onde se vê o forte pleocroísmo da clorita rica em ferro (turingita). Note-se os cristais de sulfetos dispostos segundo a foliação principal da rocha, S₂. LT, N//, aumento 25x. Amostra EW2-S1, número 5 no mapa 02.

Foto 45 - Idem à anterior, a NX, mostrando a birrefringência cinza-esverdeado da clorita de ferro.

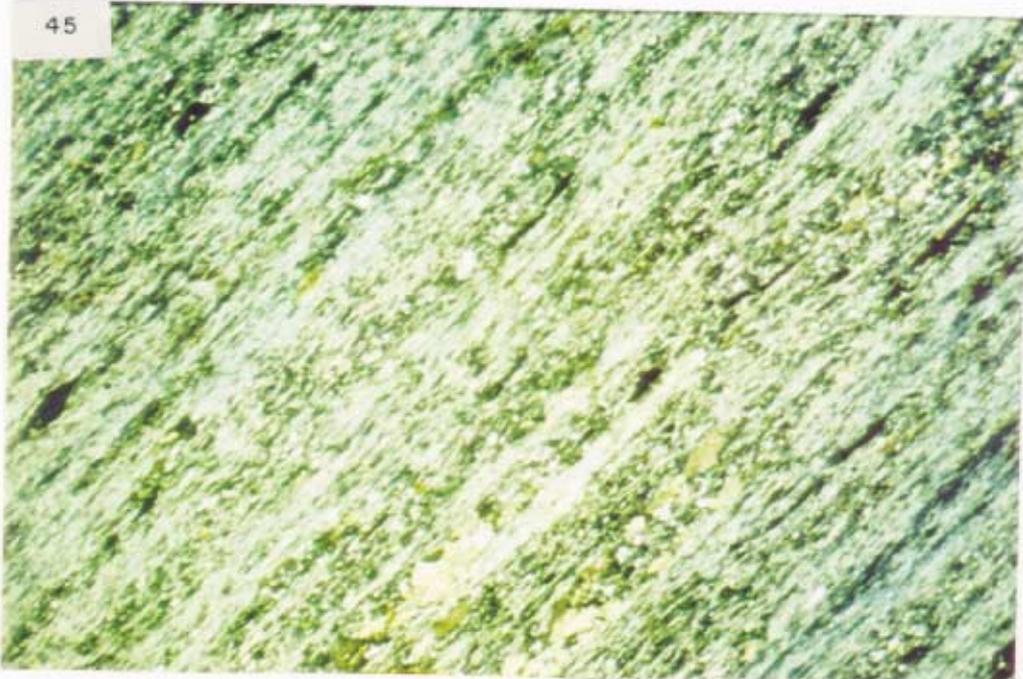
43



44



45



III.3 - GEOLOGIA ESTRUTURAL

Foram reconhecidas nas diversas rochas do nível mapeado, estruturas planares e lineares as quais foram relacionadas a quatro eventos deformativos, com base nos critérios de superposição (*overprinting*). Faz-se, no entanto, uma ressalva de que, as estruturas identificadas como pertencentes a um possível “quarto evento”, podem ser manifestações rúpteis (compreendem apenas clivagens espaçadas) geradas ainda no terceiro evento deformativo.

Junqueira & Ladeira (1990) adotaram o índice "n" para as estruturas mais marcantes, as quais serviram como referência para a seqüenciação das demais. O D_n identificado por estes autores corresponde ao segundo evento do Grupo Nova Lima, sendo aqui denominado D_2 (veja comparação com outros autores, no QUAD. 6).

O **primeiro evento** (D_1) caracteriza-se por: foliação plano-axial S_1 , paralela ao acamamento (mais nítida na BIF, X_1 e LS), com *trend* NNW-SSE, mergulhando para ENE (Fotos 46, 47 e 48); dobras (F_1) apertadas, com espessamento na zona apical, as quais são dificilmente observadas devido a forte interferência do 2^o evento; lineações L_1 - de interseção, eixos de dobras e, segundo Vieira & Simões (1992), também de estiramento; zona de cisalhamento (ZC_1) dúctil, a qual se constitui na mais importante estrutura do depósito por estar a ela estreitamente associada, a alteração hidrotermal.

A ZC_1 compreende faixas e lentes de portes variados, paralelas ou sub-paralelas ao acamamento da formação ferrífera, espessadas nas zonas de charneiras das dobras F_2 e adelgadas ou mesmo rompidas nos flancos. Nessas porções, a BIF apresenta os grãos de quartzo e carbonato *boudinados*, com filmes de pirrotita que se anastomosam ao redor destes minerais. São comuns as “ilhas”(pods) de BIF com o S_0 preservado em seu interior. As ZC_1 compreendem faixas e lentes de portes variados, atingindo potências de até 7m (leste do corpo Espírito Santo; Simões, com. verbal).

A associação desta zona de cisalhamento com a mineralização é tal, que a economicidade do depósito varia em proporção direta com o porte destas estruturas (Simões, com. verbal).

O mapa geológico do corpo de minério EW, no nível 30 da mina (FIG. 5), retrata bem uma dobra ainda “reliquiar” de D_1 na extremidade oeste deste corpo, com plano axial de direção NW, e a FIG. 6 mostra o estereograma com os pólos de S_0 , onde fica claro dois máximos distintos para essa foliação, devido ao dobramento superimposto: $N10^\circ W/26^\circ NE$ (para 28,6% dos pólos), e o outro em torno de $N30^\circ E$, e $\sim 40^\circ SE$.

Com base nas datações geocronológicas disponíveis para o Quadrilátero Ferrífero, em especial aquelas para a porção NE do mesmo, apresentadas por DeWitt *et al.* (1994) - em datações pelo método Pb-Pb em sulfetos da Mina de São Bento - e Noce (1995) - datações pelo método U-Pb em rutilos de zonas de cisalhamento nas máficas e ultramáficas do Grupo Nova Lima, na porção NE do QF - conclui-se que o evento D_1 aqui identificado equivale ao primeiro evento determinado também por estes autores, o qual teve lugar durante o **Arqueano**. Com base em dados compilados da literatura, este evento teria ocorrido a 2780-2700 Ma (Carneiro, 1992) e seu caráter tectônico seria do tipo compressional, predominantemente direcional (Chemale Jr. *et al.*, 1991).

PRANCHA 11

MICRO- E MESO-ESTRUTURAS OBSERVADAS NA MINA, RELACIONADAS AO PRIMEIRO, SEGUNDO E TERCEIRO EVENTO DEFORMATIVO.

Foto 46 - Amostra de dobra apertada na BIF, onde se vê uma foliação conferida pelos filmes de clorita dispostos paralelamente ao bandamento (acamamento) S_0 da BIF. Esta foliação é interpretada como sendo a xistosidade S_1 . Amostra do nível 28 da mina, sem número.

Foto 47 - Fotomicrografia em amostra de X2 clorítico, com detalhe de um *augen* com carbonatos dispostos segundo uma foliação mais antiga S_1 , truncada por S_2 . LT, NX, corte XZ. Amostra ES1-S10, número 13 no mapa 02.

Foto 48 - Amostra da BIF onde se vê a zona axial de uma dobra de D_2 . A caneta mostra uma foliação, a qual é interpretada como sendo, possivelmente, a xistosidade S_1 da rocha. Amostra GP9-S19, número 52 no mapa 02.

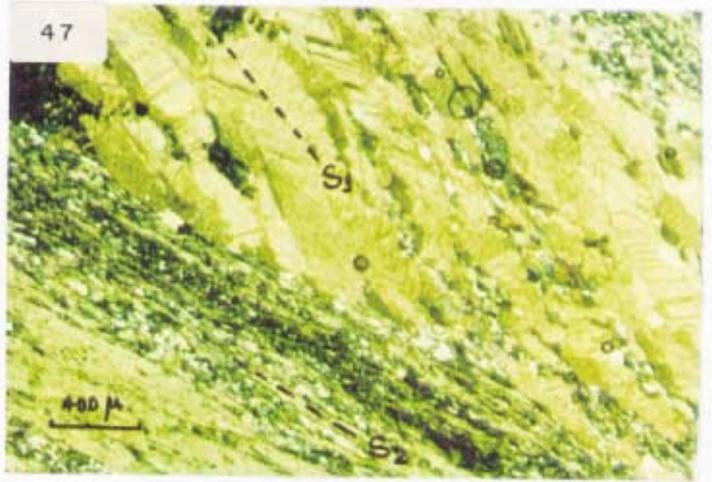
Foto 49 - Zona axial de dobra inclinada F_2 no X1, mostrando a xistosidade plano-axial S_2 convergente. Rampa para o corpo de minério EW, nível 32.

Foto 50 - *Boudin* de quartzo disposto segundo S_2 , intercalado em pacote de X1. Nível 32.

Foto 51 - Exposição na mina mostrando, em detalhe, grãos de pirita com sombras de pressão, orientados no plano da xistosidade S_2 , feição esta que se restringe ao X1. Nível 32.

Foto 52 - Exposição na rampa para o nível 31, corpo de minério E.W, onde se vê dobras F_2 deformando uma foliação pretérita S_1 , no X2; atitude do eixo $B_2 = S85^\circ E / 21^\circ$.

Foto 53 - Superfície S-C de zona de cisalhamento gerada no terceiro evento (D_3), sugerindo um sentido de movimento dextral. Essa zona de cisalhamento é responsável pela suavização de B_2 , em profundidade. Dique de metadiabásio, nível 24.



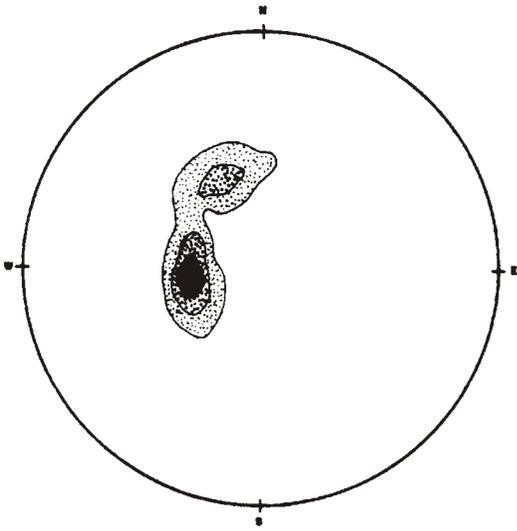


Figura 6

28 PÓLOS DE S_0
 MÁXIMO DE 28,6 %
 (N 10 W / 28 NE)

■	> 21,4 %
▣	14,3 - 21,4 %
▤	7,1 - 14,3 %
□	0 - 7,1 %

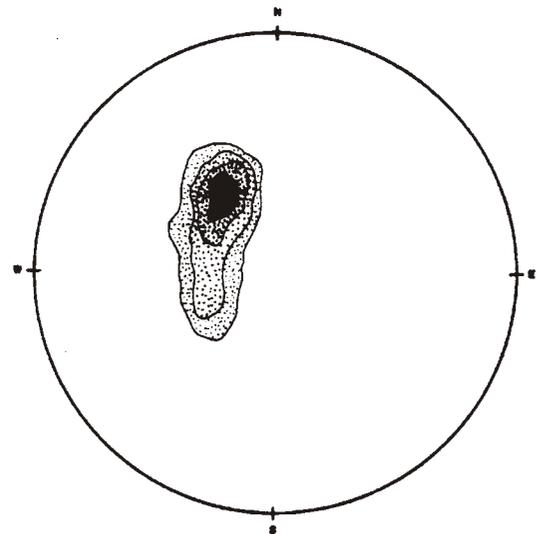


Figura 7

160 PÓLOS DE S_2
 MÁXIMO DE 24,4 %
 (N 88 E / 38 SE)

■	> 20 %
▣	15 - 20 %
▤	10 - 15 %
▥	5 - 10 %
□	0 - 5 %

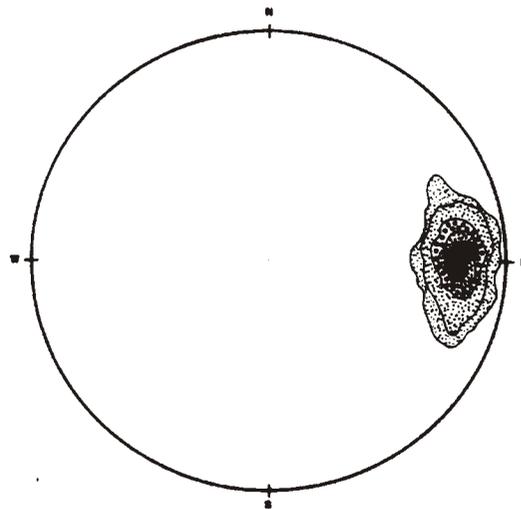


Figura 8

148 PÓLOS DE L_2
 MÁXIMO DE 44,6 %
 (E / 28°)

■	> 38,6 %
▣	27,7 - 38,6 %
▤	20,3 - 27,7 %
▥	10,1 - 20,3 %
▦	5,4 - 10,1 %
□	0 - 5,4 %

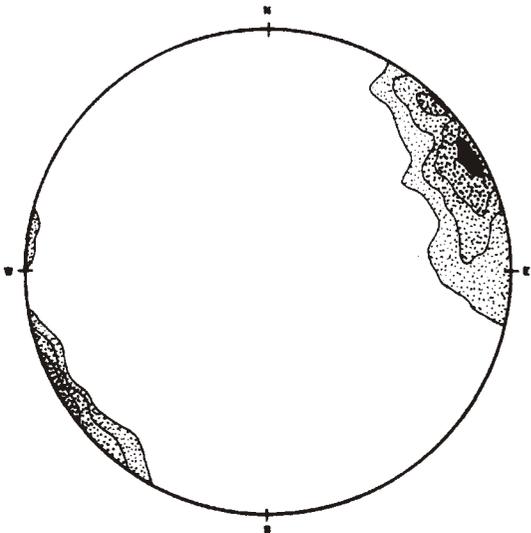


Figura 9

166 PÓLOS DE S_3
 MÁXIMO DE 18,1 %
 (N 30 W / 66 SW)

■	> 13,9 %
▣	9 - 13,9 %
▤	6 - 9 %
▥	3 - 6 %
□	0 - 3 %

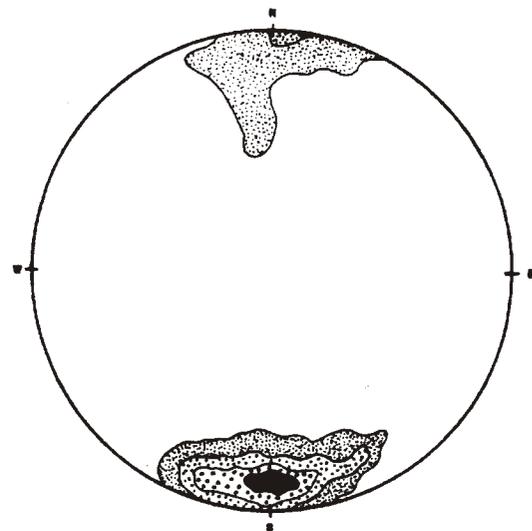


Figura 10

154 PÓLOS DE S_4
 MÁXIMO DE 16,9 %
 (E-W / 79 N)

■	> 13 %
▣	9,1 - 13 %
▤	6,5 - 9,1 %
▥	2,6 - 6,5 %
□	0 - 2,6 %

O **segundo evento** é reconhecido no nível mapeado, por estruturas tais como: dobras (F_2), foliações plano-axiais (S_2), lineações (L_2), *boudins*, e zonas de cisalhamento do domínio dúctil e dúctil-rúptil (ZC_2) - Fotos 49 a 52. As F_2 são dobras inclinadas, apertadas e anisópacas que devido à intensa transposição se mostram, freqüentemente, com os flancos rompidos.

A foliação plano-axial corresponde a uma xistosidade nas rochas menos competentes e se manifesta na BIF como uma clivagem espaçada em leque, nas zonas de charneira e, ao atravessar as zonas mineralizadas da BIF, nota-se que há remobilização de sulfetos segundo a mesma, gerando o minério tipo 2, na denominação de Vieira (1987b). A atitude de S_2 é N55°E/38°SE (FIG. 7). Da relação da orientação de S_2 com o elipsóide de deformação, pode-se deduzir que a tensão máxima ocorreu segundo a direção NW-SE, o que está em acordo com a movimentação de NW para SE sugerida por Chemale Jr. *et al.* (1991), para o Seguimento I da Serra do Curral.

A L_2 é uma lineação de interseção de S_2 com S_1 e S_0 , eixo de dobra (B_2 ; *plunge*) e, segundo Vieira & Simões (1992), também de estiramento. A L_2 é paralela a L_1 e tem como orientação E/18°-28° (FIG. 8), com atitude S85°E/12° no nível 44 (seg. Simões, com. verbal). Tal lineação é de suma importância em termos da mineração pois se presta à projeção dos corpos de minério para níveis mais profundos, determinando a escolha do *lay-out* da mina.

As ZC_2 são paralelas aos planos axiais das dobras F_2 e também ao *trend* dos diques de metadiabásio (mapa 01). Além dos diques terem a mesma atitude dos planos axiais de F_2 , nas suas bordas está impressa a xistosidade S_2 , o que sugere que estes diques sejam sintectônicos tardios ao segundo evento. Silva (1992), entretanto, propõe que os diques de Raposos sejam correlatos aos enxames de diques da região do QF de idade 906 ± 2 Ma (Machado *et al.*, 1989b); existe, portanto, uma incongruência entre as feições estruturais observadas no dique, neste trabalho, e a proposta de Silva (1992). A questão da idade do posicionamento destes diques permanece, então, em aberto, sendo necessários trabalhos futuros com maior número de dados radiométricos. As superfícies C possuem direção N45°-60°E, mergulhando para SE, e segundo Vieira & Simões (1992), suavizam em profundidade.

Foi coletada uma amostra da BIF da zona axial de uma dobra F_2 , onde se vê feições do cisalhamento de D_2 , como a ruptura de dobras intrafoliais, realçadas pelos níveis quartzo-carbonáticos (FIG. 11).

Comparando-se o evento acima caracterizado com aqueles identificados para a região do QF descritos na literatura, ele corresponderia ao Evento **Transamazônico**, com idades em torno de 2000 Ma (2.059-2.030 Ma - Machado *et al.*, 1989a e Noce, 1995), e teria características de uma tectônica de caráter extensional, com desenvolvimento, a nível de macro escala, de megazonas de cisalhamento extensionais, soerguimentos dos blocos arqueanos e formação de megassinclinais (Chemale Jr. *et al.*, 1991).

O **terceiro evento** deformativo (D_3) tem como estruturas características: foliações (S_3) e lineações (L_3). S_3 é uma clivagem espaçada, e às vezes de crenulação, cujo máximo no estereograma é N30°W/85°SW (FIG. 9). Conforme pode ser visto no QUAD. 6, as atitudes médias para S_3 segundo os trabalhos aí comparados, são diferentes.

São identificadas ainda, estruturas do tipo S-C, de zonas de cisalhamento aí geradas (Fotos 53 e 54). Essas ZC são responsáveis pela suavização de B_2 em profundidade. A intensa carbonatação identificada nos diques de metadiabásio se dá segundo as estruturas S-C das bandas de cisalhamento (Foto 54).



Figura 11 - Amostra de zona axial de dobra F_2 , na formação ferrífera, onde se vê a foliação S_2 transpondo uma foliação mais antiga $S_1//S_0$. Amostra GP9 - S19, número 52 no mapa 02.
(Desenho à mão-livre por Jorge A. da Cruz).

A L_3 é uma lineação de crenulação e de interseção de S_3 com as foliações dos eventos anteriores; é geralmente N-S, com caimento de, no máximo, 30° para S ou N.

Vieira (*in* Vieira & Simões, 1992), interpreta o 3^o evento como uma evolução progressiva do 2^o evento, o que estaria, segundo ele, caracterizado pela transição entre S_2 e S_3 em "leques imbricados", além da rotação e cristalização progressivas de sombras de pressão, durante D_2 e D_3 .

Apesar das estruturas caracterizadas neste evento não terem sido detalhadamente comparadas com aquelas descritas na literatura, relacionadas ao Evento Brasileiro, é aqui sugerido que o D_3 ora identificado seja correlacionável a este ciclo orogênico, que teria idades de 590 a 462 Ma - primeiro registro da orogênese brasileira no QF, obtidas por Schrank & Machado, 1996a - e 590 Ma (Schrank & Machado, 1996b). Segundo Chemale Jr. *et al.* (1991), este evento foi responsável por uma tectônica de caráter compressional, com a implantação de um cinturão de dobramento-cavalcamento (*fold-thrust belt*).

O **quarto evento** foi essencialmente rúptil, gerando clivagens espaçadas generalizadas S_4 subverticais, com direção E-W (FIG. 10, Foto 55). Simões (*in* Ladeira *et al.*, 1990) afirma que tais estruturas possuem direções bastante variadas (N-S, E-W, NNW e NNE), e faz uma ressalva de que "tais estruturas podem estar relacionadas a algum dos eventos anteriores mas que, se assim o for, estariam condicionadas aos eventos D_2 ou D_3 , uma vez que elas se encontram impressas nos diques de metadiabásio, reconhecidamente contemporâneos a D_2 ". Por outro lado, considerando a idade proposta por Silva (1992) para os diques - 906 ± 2 Ma - as estruturas aqui identificadas se restringiriam, no mínimo, ao 3^o evento.

A morfologia geral do depósito corresponde a uma grande dobra inclinada, gerada no 2^o evento deformativo, cujos principais corpos de minério (EW e Espírito Santo) situam-se no flanco norte - flanco invertido - em dobras de 2^a ordem. O *plunge* médio dessas dobras e dos corpos de minério é $S85^\circ E/22^\circ$ (nível 28).

Conforme já dito anteriormente, as feições observadas nestes corpos, tais como adelgaçamento e espessamento da BIF, foram geradas pelo cisalhamento de D_2 , o qual provocou descontinuidades no pacote de rochas como um todo, conforme pode ser visto no mapa 01 (anexo 2).

PRANCHA 12

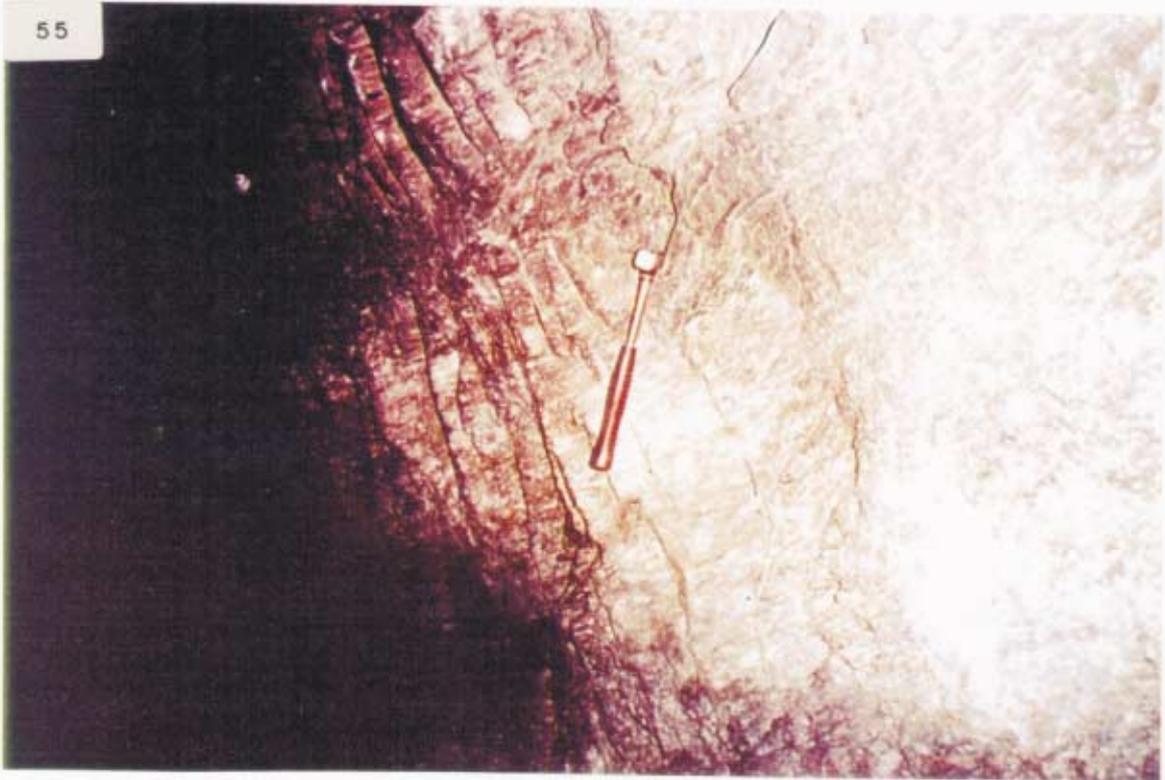
Foto 54 - Dique de metadiabásio com intensa carbonatação, feição esta característica do dique. A carbonatação se dá segundo as superfícies S-C das bandas de cisalhamento de D₃. Nível 32.

Foto 55 - Exposição do dique de metadiabásio, no nível 32 da mina, onde se vê as clivagens espaçadas S₄, com atitude N20°W/75°SW.

54



55



CAPÍTULO IV

ALTERAÇÃO HIDROTHERMAL

IV.1 - INTRODUÇÃO

Alteração pode ser definida como uma mudança na mineralogia, química ou textura de rochas para condições mais estáveis, em resposta às mudanças na temperatura, pressão e composição de fluido (Rose & Burt, 1979, *in* Colvine *et al.*, 1988). Deste modo, alteração hidrotermal pode ser considerada como um tipo de metamorfismo onde o movimento do fluido, principalmente resultante de gradientes de pressão hidrostática e termal, é o mais importante meio de transporte de matéria. Quando o equilíbrio é atingido, as composições do fluido e da rocha são tamponadas, uma pela outra. A composição final da rocha depende, grandemente, do grau de interação fluido/rocha.

Metassomatismo é uma forma de alteração onde há a substituição de um mineral por outro, através da adição e/ou remoção *in situ* de componentes resultantes de uma interação direta do fluido hidrotermal com a rocha. A hidratação ou carbonatação de rochas são um bom exemplo de metassomatismo.

A geração de “caminhos” para o acesso de fluidos durante a deformação é fundamental para a alteração, uma vez que eles controlam a taxa e o volume do transporte de fluido.

Zonas de cisalhamento têm sido apontadas como importantes locais para a precipitação de minerais-minério. São elas canais privilegiados de circulação de fluidos, uma vez que a deformação e a reorganização da trama cristalina geram um aumento de permeabilidade.

No caso do depósito de Raposos, nota-se claramente que houve uma focalização de fluidos nas zonas de cisalhamento que cortam toda a seqüência, e que, dada a grande reatividade da BIF ao fluido hidrotermal infiltrante, isto teria levado, ainda, a uma focalização preferencial na mesma, de tal modo que as rochas mais próximas da BIF sofreram maior alteração que aquelas mais distantes.

Diversos trabalhos têm sido publicados, versando sobre alteração hidrotermal x mineralização de ouro e caracterização de fluidos hidrotermais (Guimarães, 1970; Skinner, 1979; Vieira (1987b, 1991b); Phillips & Groves, 1983; Colvine *et al.*, 1988; Powell *et al.*, 1991; Guha *et al.*, 1991; Phillips & Powell, 1992; Groves & Foster, 1993; Phillips, 1993; Godoy, 1994; Groves *et al.*, 1995; Pereira, 1995; Alves, 1995; Pereira, 1996).

Neste capítulo pretende-se apresentar a caracterização da alteração hidrotermal das metavulcânicas e formação ferrífera, bem como a proposta de agrupamento dos diversos tipos litológicos em 4 zonas de alteração.

IV.2 - CARACTERIZAÇÃO DOS ESTÁGIOS DA ALTERAÇÃO

O estudo detalhado de cerca de 80 lâminas delgadas, a geoquímica de elementos maiores e traços em rocha total (que serão tratados no capítulo V) e dados de química mineral, permitem concluir que a grande maioria dos tipos litológicos identificados quando do mapeamento do nível 28 da mina, representam um produto da alteração hidrotermal que se superimpôs à assembléia metamórfica original dos mesmos, correspondendo a estágios de alteração diferentes. Isto pode ser notado pela simples observação da grande variabilidade na proporção relativa dos constituintes minerais, de uma amostra para outra, de um mesmo tipo litológico.

Embora os xistos hoje observados caracterizem possíveis ultramilonitos, é difícil se afirmar a que grau de deformação chegaram estas rochas, uma vez que as zonas mais deformadas são também zonas onde ocorreu maior alteração e recristalização, obliterando os possíveis indicadores do estágio de deformação das mesmas.

Podem ser identificados, dois grandes grupos de rochas - as metamáficas e as metaultramáficas - as quais se apresentam hidrotermalizadas. Estes dois grupos serão tratados, daqui por diante, de máficas e ultramáficas, **sem o prefixo meta**, para simplificação da descrição. Ainda para efeito de simplificação na descrição das assembléias minerais ligadas à alteração, as várias associações minerais foram agrupadas em : a) assembléias metamórficas; b) estágio incipiente de alteração; e c) estágio avançado de alteração. Estes estágios, por sua vez, são divididos em “zonas de alteração”, discriminadas com base nas associações minerais diagnósticas de cada uma delas; apesar de bem definidos nos estudos das lâminas delgadas, não foi possível individualizar no mapa do nível estudado, os diversos litótipos correspondentes a cada uma dessas zonas.

Embora tenha sido reconhecido neste trabalho que os xistos mais próximos da formação ferrífera correspondam a zonas mais alteradas e que, à medida que se afasta dela, a alteração tenha um caráter mais incipiente, o modelo esquemático de um zoneamento concêntrico e simétrico à partir da BIF, proposto por Vieira (1988) não pôde ser comprovado pois, conforme acima mencionado, a discriminação das diferentes zonas de alteração foi feita com base em estudos petrográficos de amostras coletadas, na sua grande maioria, ao longo dos distritos. Acredita-se, entretanto, que dificilmente seja possível “mapear” essas zonas, dada a grande variabilidade na distribuição espacial das amostras de rochas com maior ou menor alteração, em função da existência de porções que foram poupadas da deformação (*pods*), e por conseguinte, também da alteração.

As zonas de alteração são paralelas a S_0 e S_1 e, mais raramente, discordantes segundo S_2 .

A denominação das diferentes zonas de alteração hidrotermal foi modificada com relação àquela proposta por Vieira (1988), a fim de se evidenciar os minerais característicos em cada zona. Os estágios e zonas de alteração são, então, assim descritos:

1. **Estágio incipiente** → subdividido em duas zonas de alteração, as quais são distintas nas máficas e ultramáficas : zonas da **clorita-albita** e **clorita-sericita**, nas **máficas**, e zonas do **talco-clorita** e **clorita-carbonato**, nas **ultramáficas**.
2. **Estágio avançado** → subdividido em duas zonas de alteração, semelhantes nas máficas e ultramáficas : zonas do **carbonato-albita** e **carbonato-sericita**.

O QUAD. 10 apresenta uma síntese dessas subdivisões.

Quadro 10 - Resumo dos estágios e zonas de alteração das máficas e ultramáficas, da Mina de Raposos.

	Estágio de alteração	Zona de alteração	Associação Mineral (% > 5)	Denominação simplificada	Denominação de mina	CO ₂ /(CaO+FeO+MgO)
MÁFICAS	pré-alteração	metamorfismo regional	epi+alb+act+clo(+cal)	epidoto- anfibólio xisto	Mba(metabasalto)	0,24
	estágio incipiente	clorita-albita	clo+alb+cbt	clorita-albita xisto	Mbax(metabasalto xistoso)	0,3
		clorita-sericita	ser+clo+cal/ank	clorita-sericita xisto	X2 clo (X2 clorítico)	0,43
	estágio avançado	carbonato-albita	ank/ank ferr/sid magn+alb+ser	carbonato-albita xisto	X2 alb (X2 albitico)	0,7
carbonato-sericita		cbt+ser	carbonato-sericita xisto	X2	0,82	
ULTRAMÁFICAS	pré-alteração	metamorfismo regional	clo+act+tc+cal*	anfibiólio- talco xisto	X3 c/ act	0,14
	estágio incipiente	talco-clorita	tc+clo+dol ferr/cal	talco xisto	X3	0,24
		clorita-carbonato	clo+dol ferr	clorita-carbonato xisto	X3 s/ tc	0,57
	estágio avançado	carbonato-albita	ank+alb(+clo/fuc)	carbonato-albita-clo/fuc xisto	X3 s/ tc ou Fx, albiticos	0,71
carbonato-sericita		ank/ank ferr+fuc(+alb)	carbonato-fuchsita xisto	Fx (fuchsita xisto)	0,77	

Obs. : 1) Em todas as zonas de alteração o quartzo está presente como um dos constituintes principais da rocha, exceto para as assembléias metamórficas, onde ele aparece como um mineral acessório;

2) * amostra de metaultramáfica menos alterada encontrada dentro da mina. São descritas nos arredores de Nova Lima assembléias mais típicas deste estágio pré-alteração das meta-ultramáficas contendo ainda serpentina, traços de clino- e ortopiroxênio e pseudomorfos de olivina;

3) CO₂/(CaO+FeO+MgO): representa um dos índices de saturação descritos na literatura (p.ex.Kishida, 1984), usados para monitorar os vários estágios de alteração;

4) () indica mineral nem sempre presente nas amostras estudadas.

Abreviações: epi:epidoto, act:actinolita, alb:albita, clo:clorita, cal:calcita, cbt:carbonato, ser:sericita, ank:ankerita, ferr:ferroana, sid:siderita, magn:magnésiana, tc:talco, dol:dolomita, fuc:fuchsita .

Comparando com a denominação adotada por Vieira (1988), pode-se fazer a seguinte correlação, ainda que aproximada:

- Zona de cloritização (de Vieira,1988) \approx zona da clorita-albita (máficas) e talco-clorita (ultramáficas);
- Zona de carbonatação \approx zona da clorita-sericita (máficas) e clorita-carbonato (ultramáficas);
- Zona de sericitização \approx zona do carbonato-sericita.

A diferença básica entre estas propostas é a caracterização, no presente trabalho, da zona do carbonato-albita, embora Vieira (1992) reconheça que a albitização ocorra nestas rochas, segundo ele, em graus limitados.

Reações balanceadas, características de cada zona de alteração, são expostas de modo simplificado, a seguir, quando da caracterização dessas zonas, e ao final deste capítulo, nos quadros 11 e 12, apresenta-se as mesmas de modo mais detalhado, utilizando-se da fórmula química dos minerais identificados nas análises de microsonda. Tais reações expressam as transformações mineralógicas observadas em lâminas de amostras onde houve o tamponamento das reações, ou seja, onde se pode observar ainda, os minerais “reagentes” e os “produtos”. Foi feita, posteriormente, uma comparação com a literatura que versa sobre alteração hidrotermal neste e noutros depósitos de ouro – Fyfe & Kerrich (1982), Kishida (1984), Vieira (1987) e Colvine *et al.* (1988) – onde se observou uma extrema semelhança com as reações aí propostas.

As reações que ocorrem nas diversas zonas sempre contêm o componente CO₂ no fluido, além da água, não se tratando, portanto de simples reações de hidrólise.

IV.2.1 - Assembléias metamórficas

A identificação da rocha precursora metamórfica dos xistos estudados se verifica, na área da mina, apenas para as metamáficas, e somente em testemunhos de sondagem, sendo que, no caso das metaultramáficas, uma única amostra foi coletada contendo ainda minerais mais típicos da assembléia metamórfica. A composição mineralógica das máficas e ultramáficas, pré-alteração hidrotermal, é assumida como sendo similar àquela das metavulcânicas basais do cinturão de rochas verdes Rio das Velhas, descritas na literatura para outras partes do Quadrilátero Ferrífero (por exemplo, nas minas de Cuiabá, Faria, Morro da Glória e Juca Vieira).

A assembléia metamórfica das rochas **máficas**, determinada no nível mapeado, compreende: albita, epidoto s.s., actinolita e, subordinadamente, Mg-clorita, calcita e quartzo, correspondendo ao tipo litológico Mba.

As **ultramáficas** expostas na mina já se encontram mais alteradas e nas zonas de menor alteração, são compostas por Mg-clorita e actinolita, com talco e calcita subordinados; é o denominado X3 com actinolita. Vieira (1991a) descreve para outras áreas do distrito aurífero de Nova Lima, assembléias a olivina, serpentina e magnetita.

A grande quantidade de plagioclásio identificada nas máficas com alteração hidrotermal incipiente, todos de **composição albitica**, é considerada como fruto de alteração hidrotermal de fundo oceânico – espilitização - fenômeno este freqüentemente observado em basaltos modernos.

As albitas nessas rochas são, via de regra, finamente recristalizadas e constituem-se do mineral mais abundante (30 a 40% da rocha).

IV.2.2 - Estágio incipiente da alteração

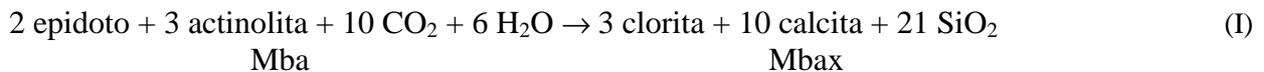
As assembléias de alteração das máficas podem ser distinguidas de suas respectivas assembléias metamórficas pela ausência de epidoto e actinolita, e as ultramáficas se caracterizam, como assembléia de alteração, pelo desaparecimento do anfibólio, aumento significativo na proporção de talco e pelo aparecimento de carbonato de magnésio e cálcio (dolomita).

Conforme citado anteriormente, foi possível caracterizar duas zonas de alteração, no estágio incipiente das máficas, sendo elas, a da clorita-albita e da clorita-sericita, e outras duas diferentes zonas para as ultramáficas, quais sejam, zonas do talco-clorita e da clorita-carbonato.

PARA AS MÁFICAS:

1) Zona da clorita-albita

A máfica é convertida nesta zona no clorita-albita-carbonato-quartzo xisto, Mbax, e essa passagem pode ser expressa na seguinte reação:



A reação balanceada, gerada a partir das associações identificadas em lâmina, é apresentada no QUAD. 11. É feita aqui uma simplificação da real composição do epidoto, considerado como sendo a clinosoizita, para efeito de balanceamento da reação. Esta reação está em acordo com aquela proposta por Colvine *et al.* (1988), para rochas máficas, durante a introdução de ouro.

Corresponde a uma reação de quebra dos minerais ferromagnesianos hidratados.

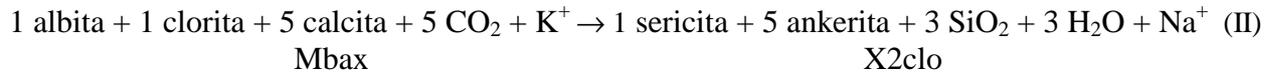
O índice de saturação (IS) escolhido para representar a evolução da alteração foi o $\text{CO}_2/(\text{CaO}+\text{FeO}+\text{MgO})$, o qual mostra nesta zona, valor baixo (0,3), compatível com zonas de menor alteração (QUAD. 10).

2) Zona da clorita-sericita

A máfica é convertida nesta zona no sericita-clorita-carbonato-quartzo xisto, X2clo.

O plagioclásio é freqüentemente visto com feições de alteração para carbonato e para clorita. É comum a observação de “massas” de carbonato com relictos de plagioclásio, com grande quantidade de inclusões fluidas. Em uma das lâminas podem ser vistas ainda, palhetas de clorita no interior do carbonato; isso sugere que a cloritização do plagioclásio é anterior à sua carbonatação. Tal afirmativa é coerente com a seqüência de alteração dos mesmos, levando em conta as condições de pH que um e o outro se forma e o fato de que ao menos parte do ferro para formar este carbonato teria sido proveniente da transformação de uma clorita 1 (mais rica em Fe) em uma clorita 2 (relativamente empobrecida em Fe).

A transformação do Mbax no X2clo, poderia ser então, simplificadamente expressa pela seguinte reação:



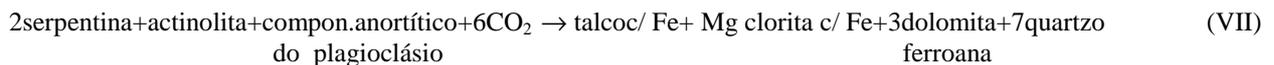
Esta reação corresponde à reação de hidrólise da albita, e é apresentada também por Colvine *et al.* (1988), para rochas máficas.

O IS mostra valor de 0,43, registrando bem o aumento da alteração.

PARA AS METAULTRAMÁFICAS

1) Zona do talco-clorita

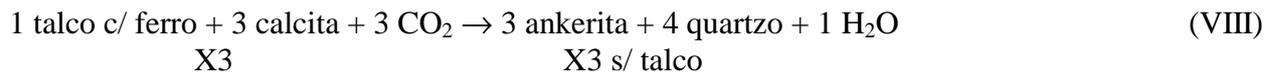
A metaultramáfica é convertida nesta zona no talco-clorita-carbonato-quartzo xisto, X3, e essa passagem é representada pela seguinte reação:



O QUAD. 12 mostra outras reações independentes de formação de clorita e talco, à partir da actinolita. Mantém-se, aqui, a mesma numeração das reações apresentadas no quadro.

2) Zona da clorita-carbonato

É caracterizada pela transformação do X3 no X3 sem talco (clorita-carbonato-quartzo xisto), pela carbonatação do talco, como pode ser visto na reação:



O índice de saturação mostra, nessa zona, um valor de 0,57. É mostrado na reação IX (QUAD. 12), a possível formação da biotita (flogopita), à partir de talco e plagioclásio representando, portanto, a formação do Bix à partir do X3.

Outra reação típica desta zona é a formação de rutilo à partir da titanita, mostrada no QUAD. 12, reação X.

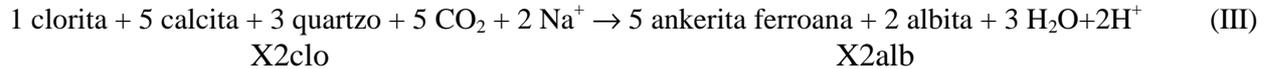
IV.2.3 - Estágio avançado da alteração

O estágio avançado produz nas máficas e ultramáficas tipos litológicos diferentes, porém com zonas de alteração nominalmente semelhantes.

1) Zona do carbonato-albita

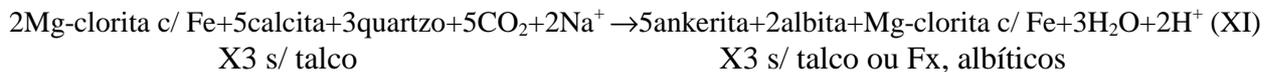
PARA AS MÁFICAS

O reaparecimento de albita, associada à ankerita, é diagnóstico desta zona. O tipo litológico representativo da mesma é o carbonato-albita-sericita-quartzo xisto (X2 albítico), e a reação simplificada proposta para a formação do mesmo é vista a seguir:



PARA AS ULTRAMÁFICAS

Caracterizada pelos mesmos minerais diagnósticos que as máficas, estando representada por carbonato-albita-quartzo xisto, com ou sem fuchsita e clorita (X3 s/ talco ou Fx, albíticos). A possível reação de formação dessas assembléias seria:

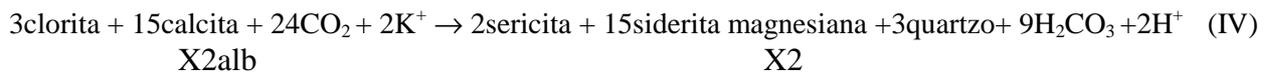


A diferença fundamental entre os produtos gerados pelas máficas ou pelas ultramáficas, consiste na presença de clorita como um subproduto na reação das últimas.

2) Zona do carbonato-sericita

PARA AS MÁFICAS

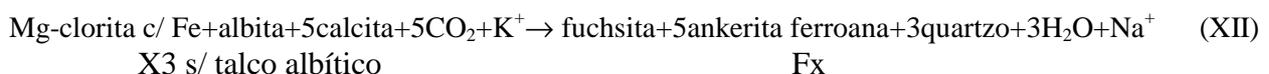
As rochas máficas nesta zona são representadas pelo carbonato-sericita-quartzo xisto, o X2, e as texturas em lâmina mostram que a sericita advém da alteração da clorita. O carbonato aí gerado é mais rico em ferro do que o da zona anterior. A reação a qual é típica dessa zona é:



PARA AS ULTRAMÁFICAS

O carbonato-fuchsita-quartzo xisto (Fx) corresponde à metaultramáfica na zona do carbonato-sericita, e a principal diferença entre estas rochas e o X2 reside na coloração da mica aqui gerada, a qual é rica em cromo, emprestando à esse mineral uma característica cor verde .

A seguinte reação é proposta para demonstrar a formação dos minerais diagnósticos desta zona:

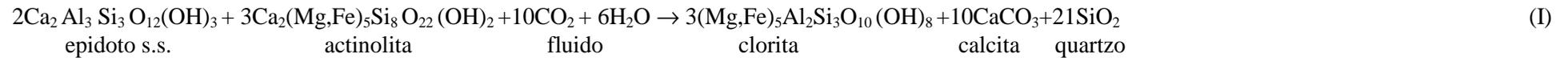


Uma síntese das zonas de alteração com os respectivos tipos litológicos que as caracterizam pode ser vista no FLUXOGRAMA 1, para a máfica, e no FLUXOGRAMA 2, para a ultramáfica.

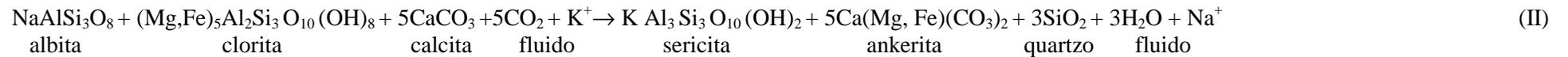
Quadro 11 - REAÇÕES NAS ROCHAS MÁFICAS

1. Estágio Incipiente:

1.1. Zona da **clorita-albita**: epidoto-actinolita xisto (Mba) → clorita-albita xisto (Mbax)

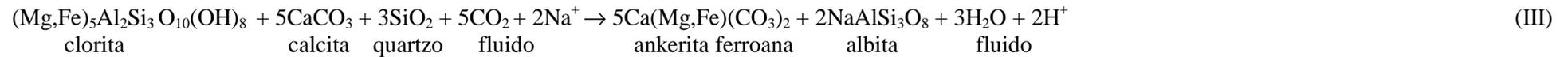


1.2. Zona da **clorita-sericita**: clorita-albita xisto (Mbax) → clorita-sericita xisto (X2 clo)

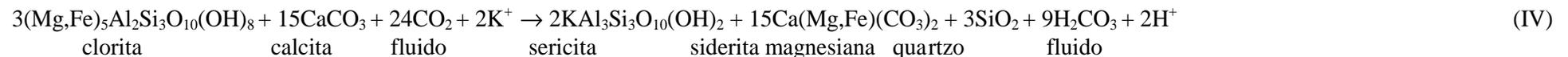


2. Estágio Avançado:

2.1. Zona do **carbonato-albita**: clorita-sericita xisto (X2clo) → carbonato-albita-sericita xisto (X2alb)



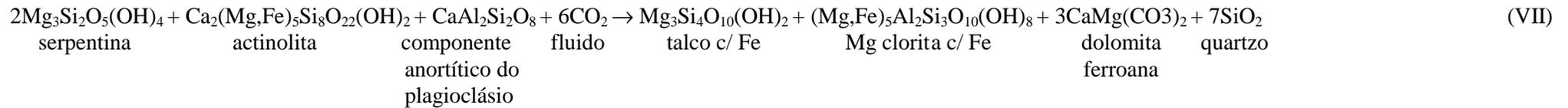
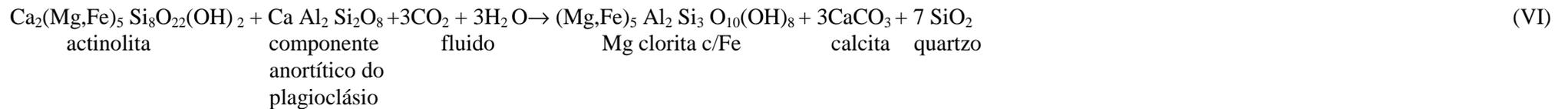
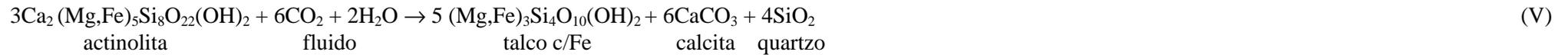
2.2. Zona do **carbonato-sericita**: carbonato-albita-sericita xisto (X2albítico) → carbonato-sericita xisto (X2)



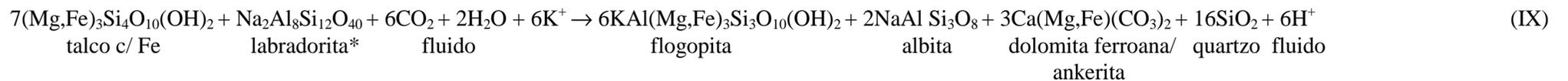
Quadro 12 - REAÇÕES NAS ROCHAS ULTRAMÁFICAS

1. Estágio Incipiente:

1.1. Zona do **talco-clorita**: anfibólio-talco xisto (X3 c/ act) → talco xisto (X3)



1.2. Zona da **clorita-carbonato**: talco xisto (X3) → clorita-carbonato xisto (X3 s/ talco)



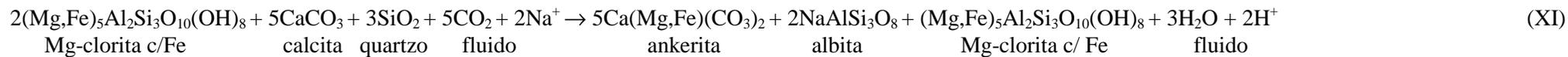
Nota: O plagioclásio envolvido nessa reação é considerado como tendo uma composição de labradorita por questões de balanceamento da reação. Esta reação representa a formação do biotita xisto ou do clorita-carbonato xisto com biotita, o qual ocorre intercalado no talco xisto.



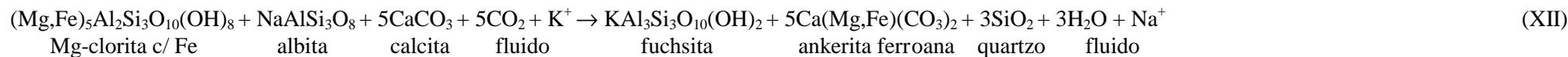
Quadro 12 - REAÇÕES NAS ROCHAS ULTRAMÁFICAS (continuação)

2. Estágio Avançado:

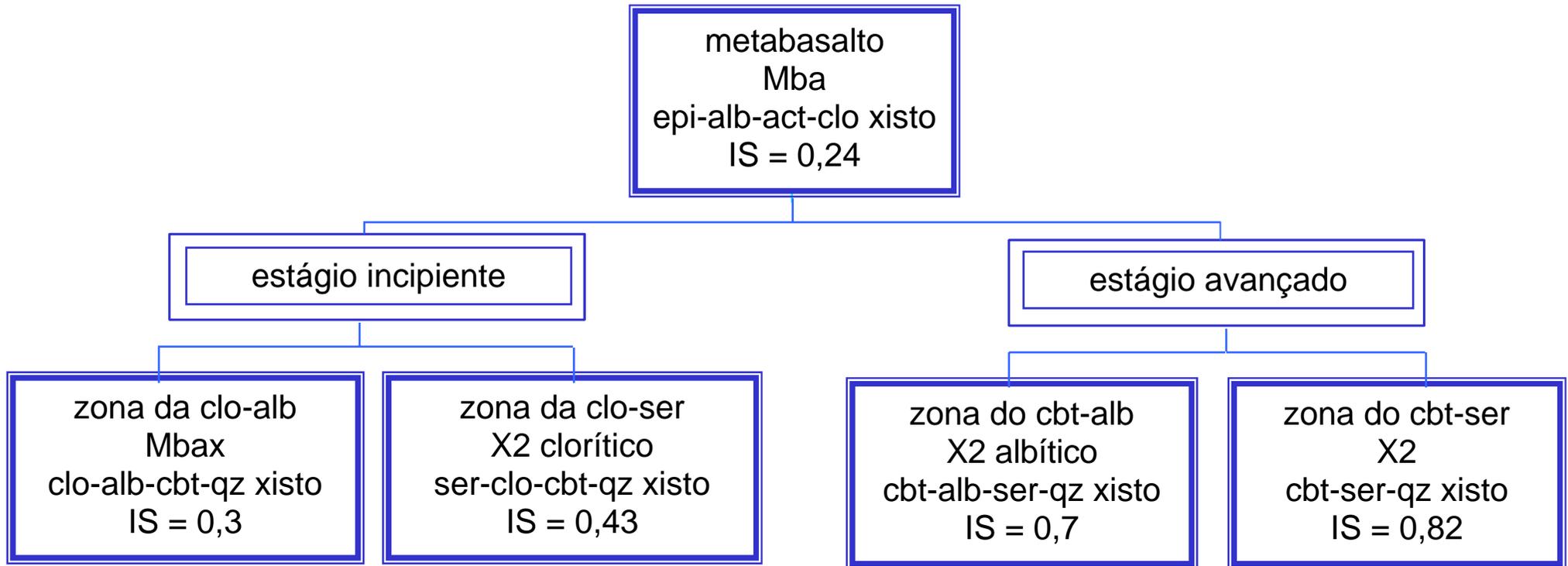
2.1. Zona do **carbonato-albita**: clorita-carbonato xisto (X3 s/ talco) → carbonato-albita xisto (**X3 s/talco ou fuchcita xisto, albíticos**)



2.2. Zona do **carbonato-sericita**: carbonato-albita xisto (X3 s/ talco ou fuchcita xisto, albíticos) → carbonato-fuchcita xisto (**fuchcita xisto**)

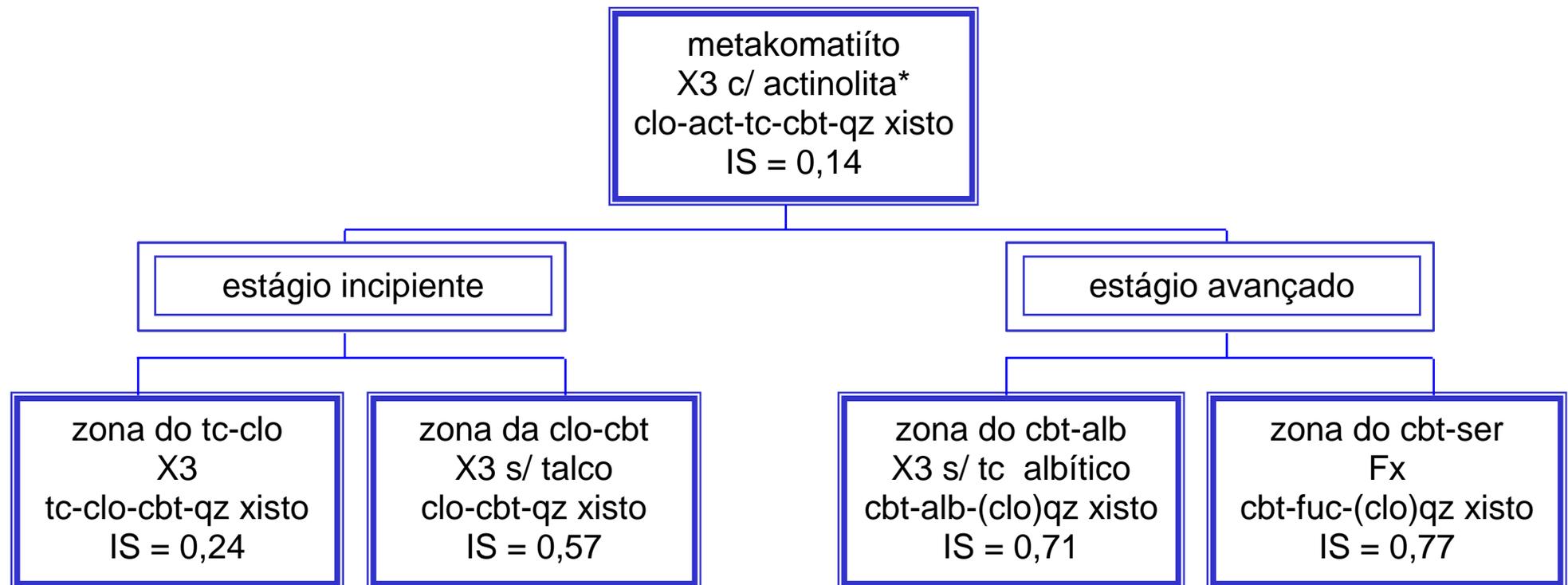


Fluxograma 1 - Metamáfica e seus produtos de alteração



$IS = CO_2 / (CaO + FeO + MgO)$: representa um dos índices de saturação descritos na literatura, utilizados para monitorar os vários estágios da alteração.

Fluxograma 2 - Metaultramáfica e seus produtos de alteração



*amostra da metaultramáfica menos alterada encontrada na mina; descreve-se nos arredores de Nova Lima, assembléias mais típicas do metakomatiíto pouco alterado, contendo ainda serpentina, clino e ortopiroxênio, e pseudomorfos de olivina.

CAPÍTULO V

GEOQUÍMICA

V.1 - INTRODUÇÃO

O estudo geoquímico das rochas, ora apresentado, é feito com base nas análises químicas em rocha total de 53 amostras dos diversos xistos e da formação ferrífera, coletadas no nível 28 da mina. Estas análises compreendem elementos maiores, menores e traços, incluindo as de elementos terras raras (ETR). As técnicas analíticas utilizadas são apresentadas no Anexo 5.

Conforme descrito no Capítulo IV, todo o pacote de rochas se apresenta intensamente deformado e alterado hidrotermalmente. Isto torna difícil, muitas vezes, a identificação, com segurança, das rochas precursoras destes xistos hoje observados.

Pretende-se, neste capítulo, discutir a assinatura geoquímica de todas as rochas estudadas a fim de se investigar os protólitos das mesmas.

Particularmente para as máficas e ultramáficas, serão abordadas, também, as modificações no comportamento geoquímico nas diferentes zonas de alteração - conforme caracterização mostrada no capítulo IV - quando comparadas às respectivas assembléias menos alteradas.

A FIG. 12 mostra a representação gráfica da classificação tectônica de basaltos, segundo Bailes *et al.* (1996). Em termos dos três grandes membros finais, os tipos de basaltos podem ser tectonicamente definidos como: basaltos de cadeia meso-oceânica (**MORB**), extrudidos em margens de placas divergentes; basaltos de arco vulcânico (**VAB**), extrudidos em margens de placa convergentes; e basaltos intra-placa (**WPB**), extrudidos longe de qualquer margem de placa. Estes três grandes grupos podem ser divididos, por sua vez, em vários tipos petrológicos, a saber: MORB e WPB em toleióitos e álcali-basaltos, e VAB principalmente em toleióitos, basaltos cálcio-alcálicos e shoshonitos. Tanto VAB como WPB podem ser subdivididos em sub-tipos oceânico e continental.

São apresentadas na literatura mundial, inúmeras críticas à reconstrução de ambientes paleotectônicos utilizando-se somente dados geoquímicos e, conforme salientado por Wang & Glover III (1992), a análise tectono-estratigráfica baseada no conhecimento de relações de campo, estrutura e petrologia de protólitos ígneos, é uma ferramenta essencial para a Geoquímica, na determinação de ambientes tectônicos antigos. Segundo De Wit & Ashwall (1995), *greenstone belts* podem, individualmente, ser dominados por um tipo de “família” máfica (isto é, cálcio-alcálica, tipo **MORB**) ou, como tem sido reconhecido cada vez mais, diversos campos vulcano-tectônicos podem ser encontrados dentro do mesmo *greenstone belt*. As relações originais entre estes diferentes pacotes de rochas vulcano-tectônicas, assim como aquelas relações das seqüências sedimentares, são raramente descritas com segurança. Estes autores salientam ainda, que *greenstone belts* tipicamente contêm misturas de componentes de mais do que um único ambiente tectônico.

Serão apresentados e discutidos alguns dos diversos diagramas geoquímicos tectonomagmáticos de discriminação de basaltos, tentativamente utilizados para se investigar o provável ambiente de

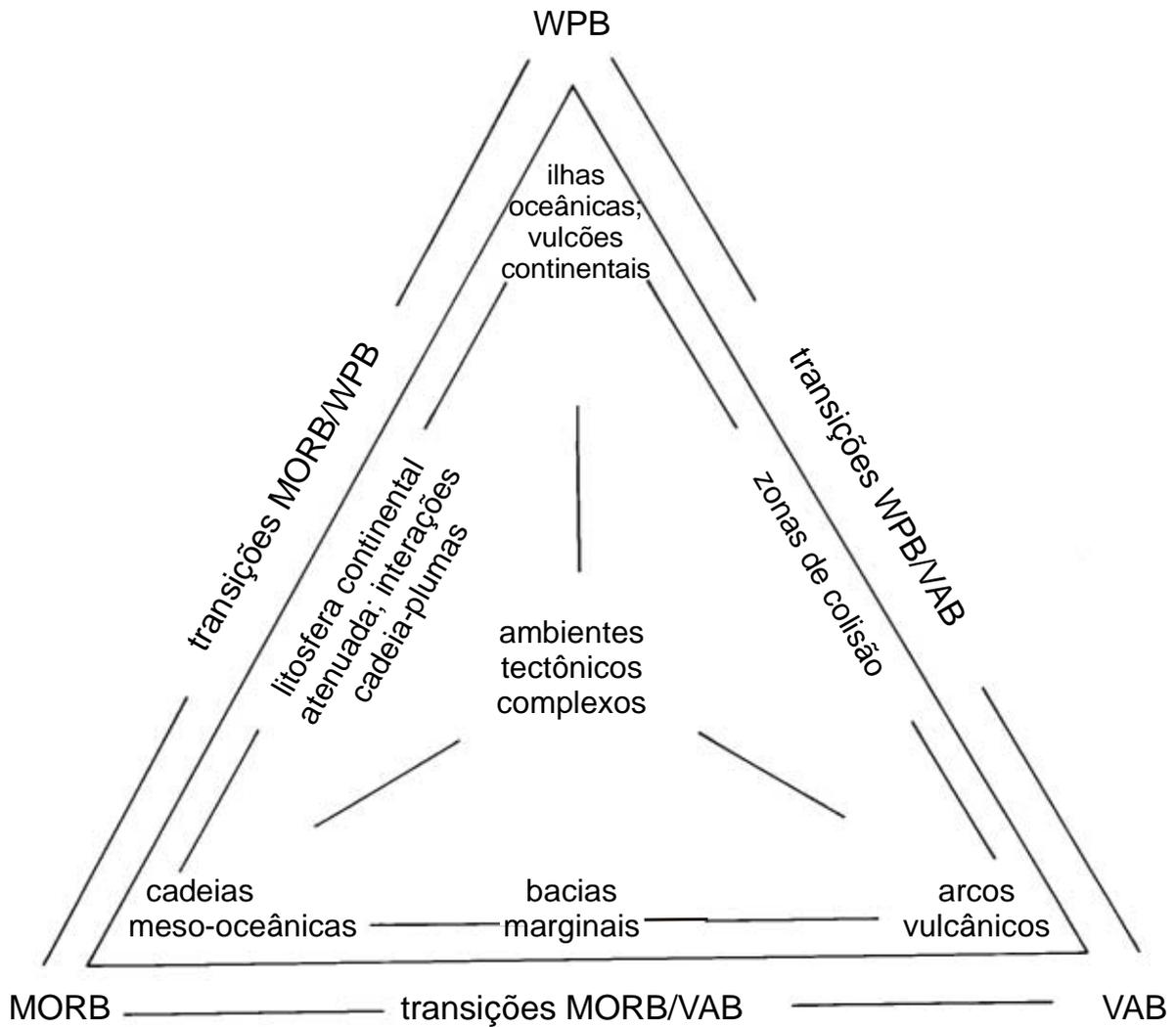


Figura 12 - Representação gráfica da classificação tectônica de basaltos (fonte: Bailes *et al.*, 1996). MORB: basaltos de cadeia meso-oceânica; extrudidos em margens de placas convergentes. VAB: basaltos de arco vulcânico; extrudidos em margens de placas convergentes. WPB: basaltos intra-placa; extrudidos fora de qualquer margem de placa.

formação dessas rochas, tendo sempre em mente as ressalvas acima mencionadas. Alguns desses diagramas geram resultados conflitantes entre si. Tal fato já seria de se esperar, uma vez que estas rochas sofreram múltiplos episódios de transformação geoquímica, ou seja: alteração hidrotermal de fundo oceânico, dois eventos tectono-metamórficos regionais, além da alteração hidrotermal descrita no capítulo IV, associada ao primeiro evento deformativo; isto sem considerar as prováveis contaminações experimentadas quando da extrusão dos basaltos.

V.2 - GEOQUÍMICA DA ALTERAÇÃO NAS METAMÁFICAS E METAULTRAMÁFICAS

A maioria dos depósitos de ouro registram uma maciça introdução de CO₂, K₂O, S e H₂O, em adição ao Au (Kerrich, 1983; Groves & Phillips, 1987). Aumentos em As, Sb, W, Mo, B, Ag, Li, Ba, Rb e Cr ocorrem em diversos depósitos, mas não parecem ser consistentes para todos eles. O local enriquecimento em Cu, Zn e Pb é descrito em muitos depósitos (Colvine *et al.*, 1988). A redução do ferro (aumento das razões Fe²⁺/Fe³⁺) em direção às zonas mais alteradas - próximo da zona mineralizada - é indicada em vários depósitos (Kerrich *et al.*, 1978; Fryer *et al.*, 1979; in Colvine *et al.*, 1988).

O uso de elementos traço como indicadores petrogenéticos de rochas vulcânicas alteradas deve ser feito levando em conta apenas alguns elementos selecionados, considerados como “imóveis”, tais como: Al, Ti, Sc, V, Zr, Nb, Ni, Cr e ETR. Diversos autores, entretanto, têm verificado que mesmo tais elementos, como também os ETR, não parecem ser consistentemente imóveis durante alteração relacionada à mineralização de ouro (Fryer *et al.* 1979, Kerrich & Fryer 1979, Hynes 1980, Kerrich 1983, Phillips & Groves 1984, entre outros – in Colvine *et al.*, 1988). Exceções disso, seriam o Zr e o Ti, os quais têm se mostrado como dois dos mais imóveis elementos em muitos dos principais sistemas de ouro arqueanos, tanto que são utilizados como base nos estudos de alteração (Kerrich 1986, Leshner *et al.* 1991, in Phillips & Powell, 1992). Elementos como: Na, K, Ca, Ba, Rb e Sr, e ETR leves (ETRL) são reconhecidamente móveis, não sendo útil, portanto, para discriminações tectonomagmáticas.

Embora a introdução desses elementos seja comum, não tem sido fácil reconhecer halos de alteração em torno dos depósitos de ouro. Isso pode, em parte, ser atribuído a heterogeneidades do protólito: composições originais influenciam fortemente a abundância absoluta de elementos em rochas alteradas. Os estudos geoquímicos devem, portanto, usar da normalização de dados, a fim de produzir resultados significativos (Colvine *et al.*, 1988).

V.2.1 - METAMÁFICAS

Os dados químicos das metamáficas são agrupados segundo uma ordem crescente de alteração, e identificados para as respectivas zonas de alteração (anexo 4.1).

O conteúdo de SiO₂ verificado para as amostras de metamáficas sujeitas apenas ao metamorfismo regional (amostras Mba, anexo 4.1) varia de 49,50 a 56,40% (média de 53,33%), se enquadrando perfeitamente dentro dos limites definidos para rochas magmáticas da **série toleítica** – conteúdo entre 48 e 63%, com média de 53% – na classificação proposta por Bogatkov *et al.* (1987).

Utilizando-se de diagramas de classificação de rochas segundo diversos autores, conforme pode ser visto no GRAF. 1, essas rochas caem no campo de basaltos (GRAF. 1A: $\text{SiO}_2 \times \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$); no limite dos campos de basaltos toleííticos e cálcio-alcálicos (GRAF. 1B: $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} \times \text{MgO} \times \text{FeOt}$); no campo de toleíítos de baixo potássio (GRAF. 1C : $\text{Ti} \times \text{Cr}$); e no campo dos toleíítos de alto ferro (GRAF. 1D: $\text{Al}_2\text{O}_3 \times \text{MgO} \times \text{FeOt} + \text{TiO}_2$). Embora os diagramas de Cox *et al*, 1979 e Irvine & Baragar, 1971 (*in* Minpet , 1995) utilizem de elementos móveis, conforme exposto anteriormente, eles foram aqui apresentados por mostrarem resultados coerentes com a classificação sugerida pela análise da química global dessas rochas e pelos demais diagramas pesquisados.

No diagrama do GRAF. 1B, são lançadas todas as amostras das metamáficas analisadas, e o fato de algumas amostras do Mba (epidoto-anfibólio xisto, praticamente isento de alteração hidrotermal) tenderem ao campo dos basaltos cálcio-alcálicos pode ser explicado pelo aumento de Na_2O verificado nessas rochas, interpretado como fruto da espilitização dos basaltos. Para as demais amostras, já hidrotermalizadas, os processos de sericitização e albitização fazem com que elas se adentrem ainda mais no campo das cálcio-alcálicas, como seria de se esperar.

No GRAF. 1C são lançadas as médias das amostras analisadas, por zona de alteração, e a maioria dos pontos caem no campo dos toleíítos de baixo potássio, ainda que muito próximo ao seu limite com os basaltos de fundo oceânico. A comparação do percentual de K_2O destes basaltos com os toleíítos apresentados por Condie (1981), mostra realmente que eles seriam bastante empobrecidos em potássio, assemelhando-se apenas um pouco mais aos valores de K_2O apresentados para os basaltos modernos do tipo MORB - K_2O médio de 0,06 *versus*: 0,22 e 0,69 para toleíítos arqueanos (TH1 e TH2), 0,14 para o MORB, 0,30 para toleíítos de arco, 0,9 para cálcio-alcálicas, e 0,8 no caso dos toleíítos de *rift* continental.

No diagrama de Jensen (1976), GRAF. 1D, todas as amostras, com maior ou menor alteração, caem no campo dos toleíítos de alto ferro.

A química global dos elementos maiores indica que o processo de alteração hidrotermal progressivamente diminui o teor de Na_2O e Fe_2O_3 do sistema (GRAF. 2 e anexo 4.1). Aumento significativo ocorre principalmente no conteúdo de K_2O e, subordinadamente, de CO_2 ; o H_2O^+ mostra enriquecimento no estágio incipiente da alteração, e diminuição no estágio avançado.

Para os elementos traço e ETR, as mudanças significativas referem-se aos aumentos de As e Ba e, subordinadamente de Lu, e diminuição de todo o conjunto dos ETR, com exceção apenas para o Lu.

Os diagramas apresentados no GRAF. 3, mostram a evolução na variação dos diversos elementos, para as respectivas zonas de alteração, por meio da normalização destes elementos a cada zona, comparadas à zona imediatamente anterior, menos alterada. Fica claro nestes diagramas, a mudança na composição química das rochas que caracterizam cada uma destas zonas, em função do aparecimento ou consumo de minerais. Em outras palavras, traçando-se um paralelo entre as reações apresentadas no capítulo IV para as diversas zonas, e estes diagramas, nota-se claramente que: o desaparecimento de epidoto na zona da clorita-albita (GRAF. 3A), se reflete na diminuição do conteúdo de Fe_2O_3 , bem como a formação de uma mineralogia mais hidratada (clorita), e de carbonatos, são aí evidenciados pelo aumento nos conteúdos de H_2O^+ e CO_2 (reação I). O grande enriquecimento em K_2O e depleção em Na_2O , verificado na zona da clorita-sericita (GRAF. 3B), marca exatamente a formação da sericita e consumo de albita (reação II), e assim por diante, para as demais zonas.

METAMÁFICAS

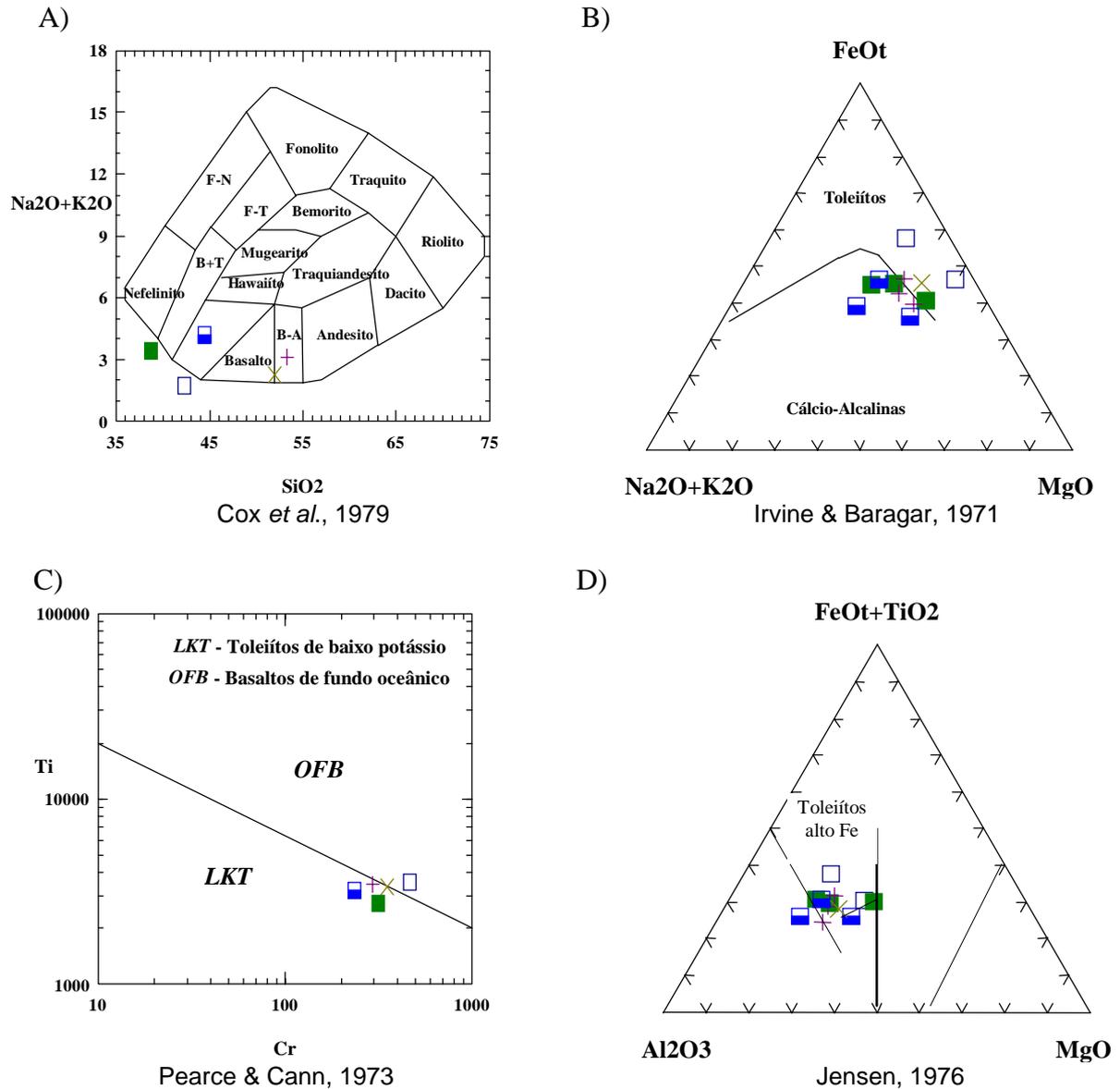


Gráfico 1 - Classificação das metamáficas de Raposos. A legenda abaixo é válida para todos os diagramas das máficas. Fonte dos diagramas: *software Minpet* (1995) - idem para os diagramas de ambientes tectônicos a seguir, salvo quando especificado.

LEGENDA (GRAF. 1, 4 e 5)	
+	Mba (epidoto-anfibólio xisto)
×	Mbax (clorita-albita xisto)
□	X2 clo (clorita-sericita xisto)
■	X2 alb (carbonato-albita xisto)
■	X2 (carbonato-sericita xisto)
◆	TH2 (toleiíto, seg. Condie, 1981)

METABASALTOS

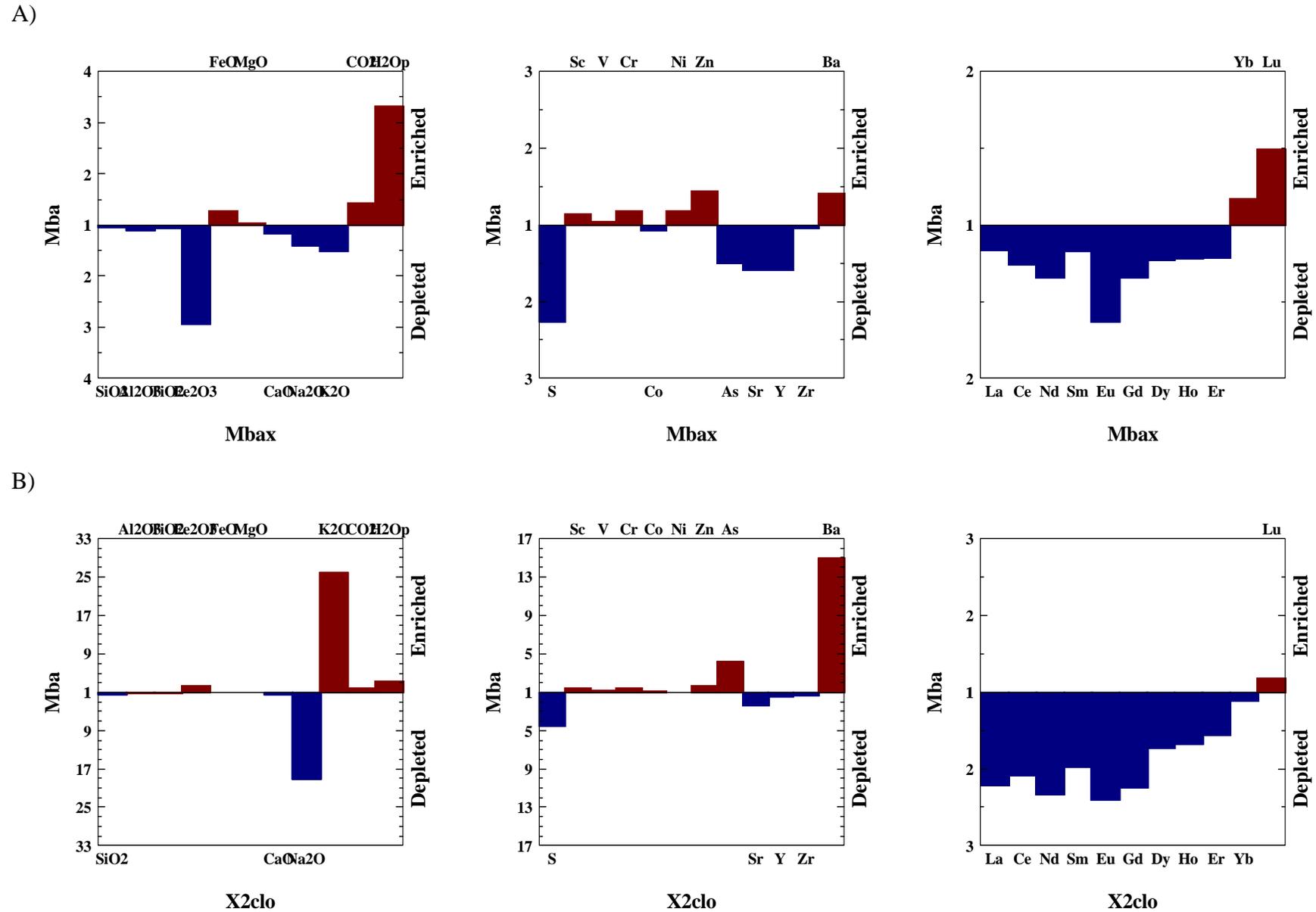
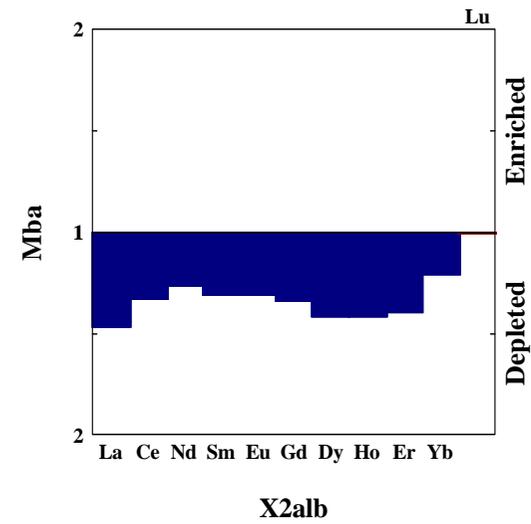
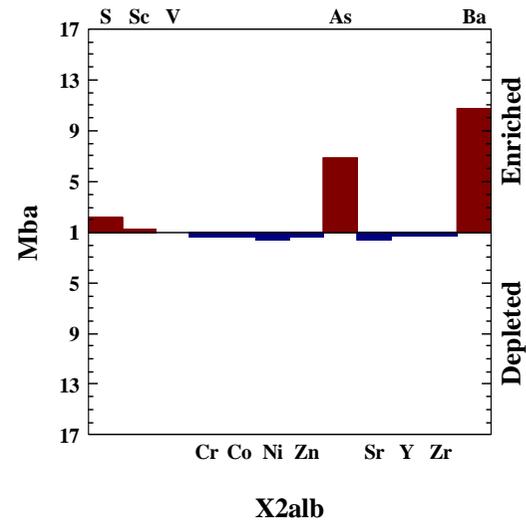
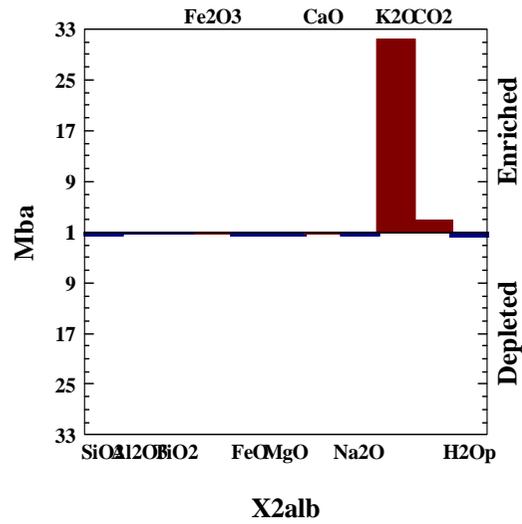


GRÁFICO 2 - Normalização de elementos maiores, traços e ETR das médias das amostras representativas das diferentes zonas de alteração, com relação à assembléia metamórfica (Mba): A) Zona da clorita-albita (Mba); B) Zona da clorita-sericita (X2clo).

C)



D)

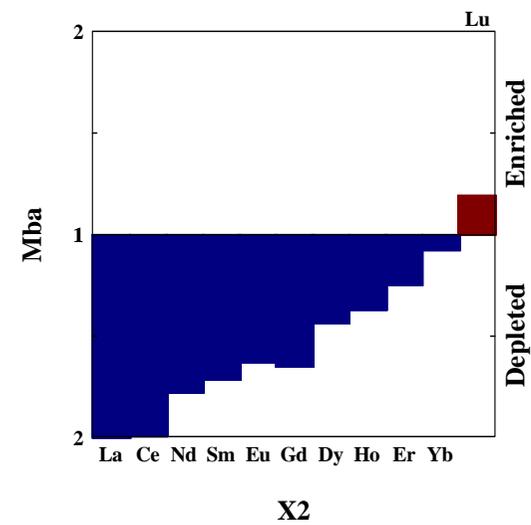
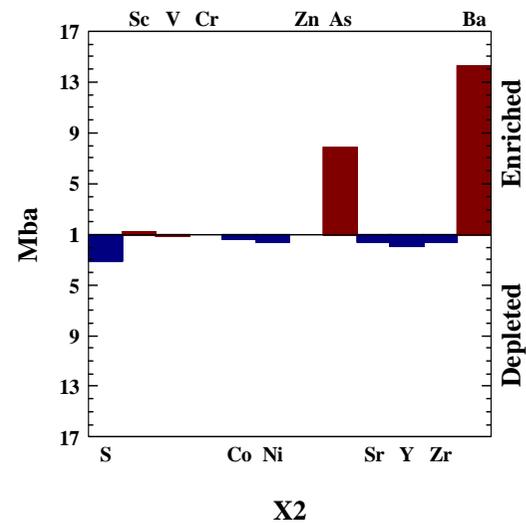
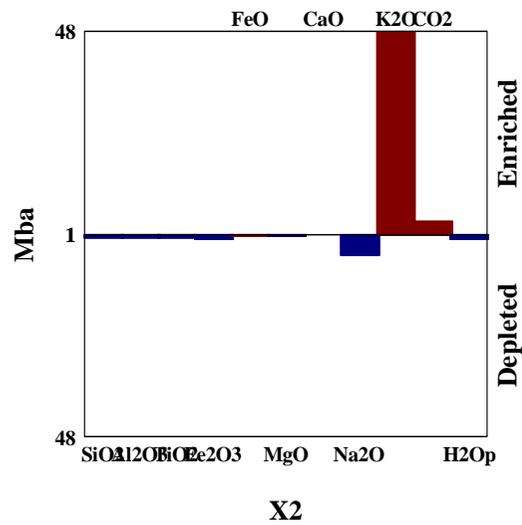
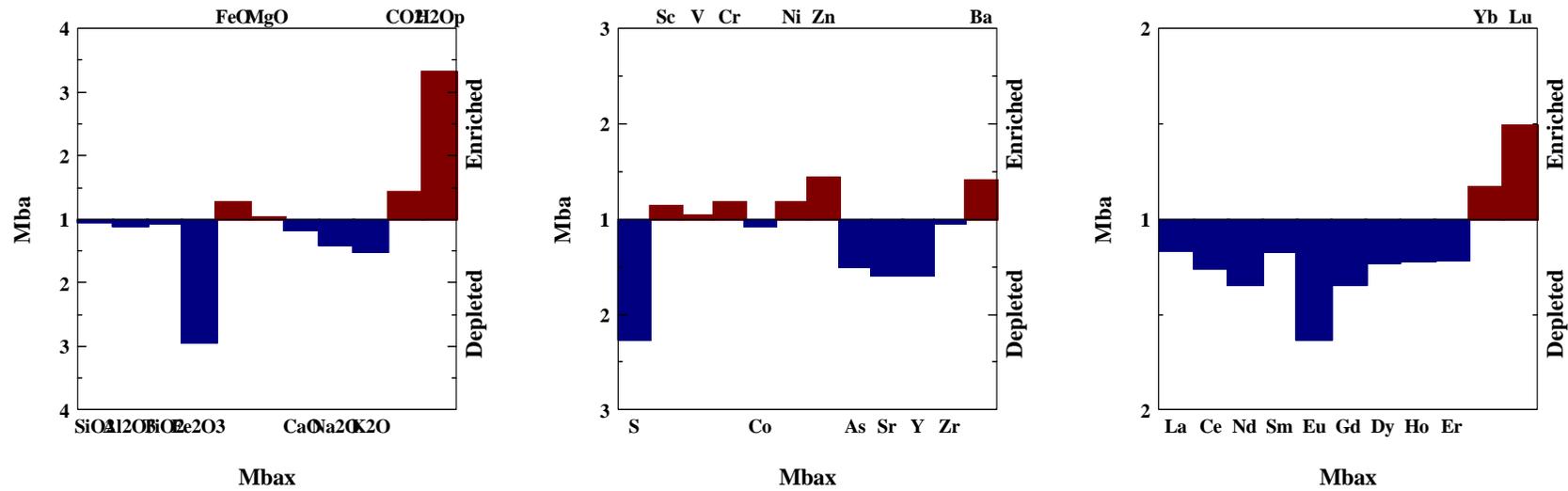


GRÁFICO 2 – Continuação: C) Zona do carbonato-albita (X2alb); D) Zona do carbonato-sericita (X2).

METABASALTOS - ESTÁGIO INCIPIENTE

A) Clorita-albita x metamorfismo regional



B) Clorita-sericita x clorita-albita

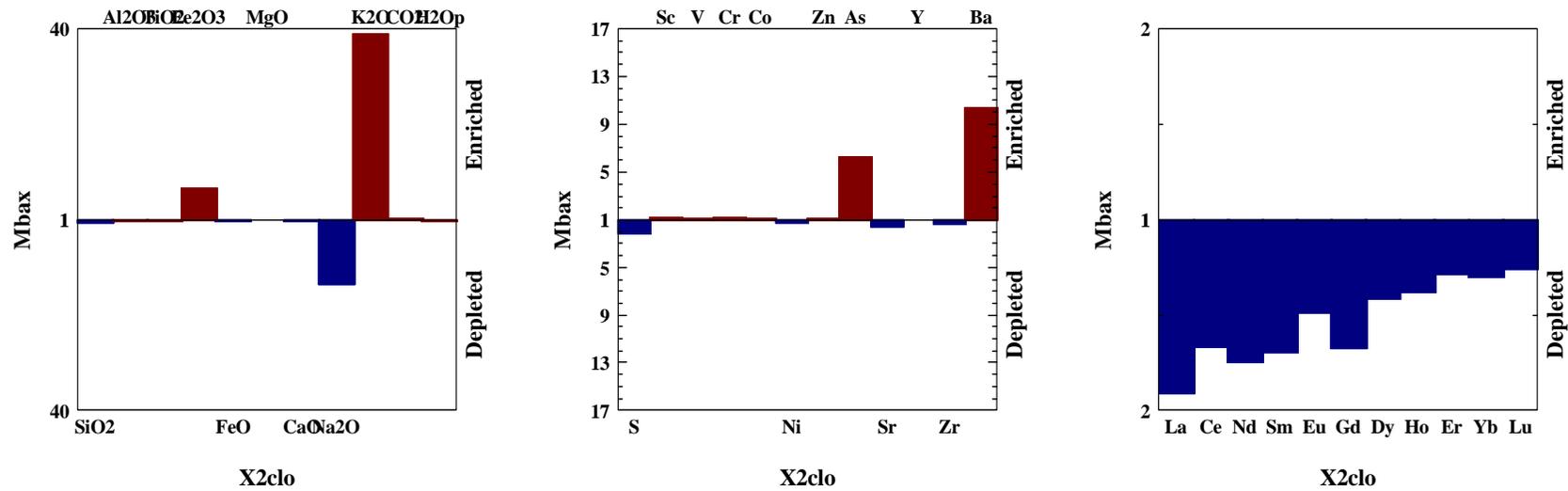
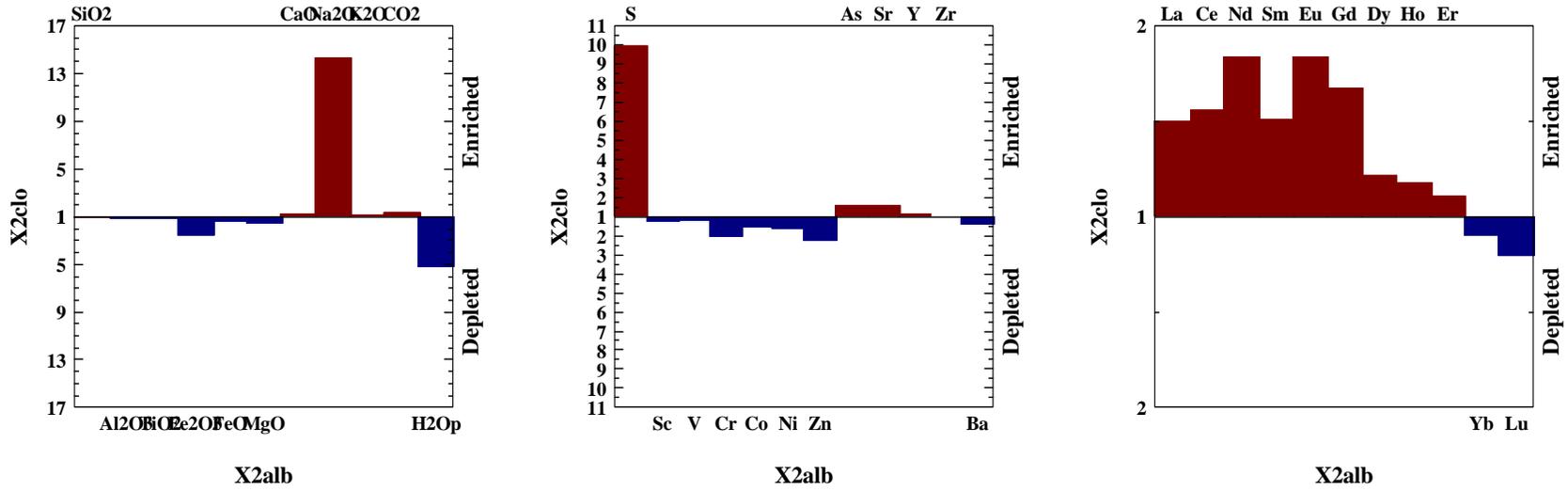


Gráfico 3 - Normalização das médias de análises dos metabasaltos de zonas mais alteradas, com relação às zonas imediatamente anteriores, menos alteradas, para elementos maiores, traços e ETR.

METABASALTOS - ESTÁGIO AVANÇADO

C) Carbonato-albita x clorita-sericita



D) Carbonato-sericita x carbonato-albita

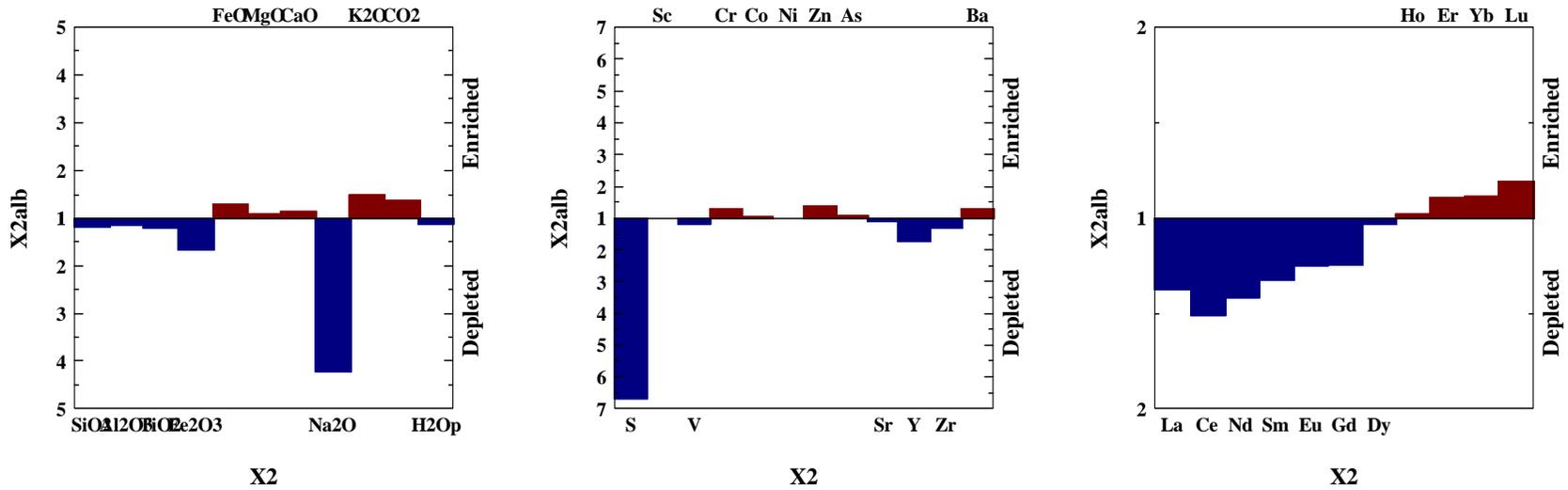


Gráfico 3 - Continuação.

Comparando-se estes resultados com as mudanças verificadas para outros depósitos a nível mundial, conforme citado acima, as maiores semelhanças estão na introdução de CO₂, K₂O, As e Ba e, a discrepância, na diminuição no conteúdo de S ora verificada. A redução do ferro (aumento das razões Fe²⁺/Fe³⁺) em direção às zonas mais alteradas postulada para outros depósitos é aqui notada, ainda que de forma discreta. Dentre os elementos considerados na literatura como imóveis, nos diagramas apresentados (GRAF. 2 e 3), pode-se notar que apenas Al, Ti, V e Zr mostram tal comportamento.

Com relação aos ETR, o fato notável é que, tendo em vista a organização das amostras segundo uma ordem crescente de alteração, este arranjo não contempla a separação dos perfis de fracionamento em duas famílias de basaltos, com relação Gd/Lu_{NC} > 2 e próximo de 1 (GRAF. 4A). O padrão das curvas mostra como principal diferença o fracionamento contínuo para as amostras do primeiro grupo (denominado Família A), enquanto que, para o segundo grupo (Família B), os ETRP (elementos terras raras pesados), exibem uma curva com padrão plano.

Entre as demais relações não há diferenças significativas, a menos do fato do ΣETR no primeiro grupo ser maior do que no segundo (43,21 e 33,38). A Família A (Gd/Lu_{NC} > 2) tem anomalia Eu/Eu* menos pronunciada (média de 0,88), enquanto que a outra (Gd/Lu_{NC} ~ 1), mostra que a relação Eu/Eu* é menor (média de 0,74), e portanto, a anomalia é um pouco mais acentuada. A TAB. 3 mostra a separação destas duas famílias, com algumas relações utilizadas para a separação e comparação entre elas e, como pode ser visto nesta tabela, amostras menos alteradas e amostras mais alteradas pertencem a uma mesma família.

Tabela 3 - Relações entre alguns ETR, utilizados na discriminação das duas famílias de basaltos ora identificadas.

FAMÍLIA A						
Amostra	Gq R 901	R 1014	R 1011	Gq17 S1	Gq 4 S18	EW 3 - S1
Litologia	Mba	Mba	Mba	X2 alb	X2 alb	X2
Z. de alteração	metam. regional	idem	idem	cbt - alb	idem	cbt - ser
ΣETR	76,540	49,440	33,037	35,990	39,350	24,900
ΣETRL	66,670	43,394	27,692	30,100	34,700	21,098
ΣETRP	9,870	6,046	5,345	5,890	4,650	3,802
ETRL / ETRP	6,755	7,177	5,181	5,110	7,462	5,549
Lan / Lun	12,193	9,377	7,829	5,202	7,065	5,854
Lan / Smn	3,078	3,002	1,987	1,956	2,279	2,247
Gdn / Lun	3,073	2,033	2,913	2,102	2,281	1,779
Eun / Eu*	0,624	0,938	1,067	0,783	0,838	1,043

Tabela 3 - Continuação.

FAMÍLIA B						
Amostra	R 1013 - 3	ES 1 - S10	EW 4 - S1	EW 3 - S5	Gq16 - S1	ES 1 - S12
Litologia	Mbax	X2 clo	X2 clo	X2 alb	X2	X2
Z. de alteração	clo - alb	clo - ser	idem	cbt - alb	cbt - ser	cbt - ser
ΣETR	42,849	18,855	32,310	43,802	39,600	22,901
ΣETRL	36,812	16,341	26,283	38,524	32,570	18,307
ΣETRP	6,037	2,514	6,027	5,278	7,030	4,594
ETRL / ETRP	6,098	6,500	4,361	7,299	4,633	3,985
Lan / Lun	6,062	4,953	3,336	7,666	4,704	3,036
Lan / Smn	2,797	3,154	2,142	3,033	2,576	2,255
Gdn / Lun	1,375	1,045	0,979	1,562	1,485	1,030
Eun / Eu*	0,627	0,566	0,793	0,868	0,773	0,824

As médias das amostras, separadas por zona de alteração (anexo 4.1), são normalizadas para condrito, e apresentadas no GRAF. 4B. Essas curvas quando comparadas com metabasaltos

descritos na literatura, assemelham-se fortemente àquelas apresentadas por Condie (1981) para os basaltos toleíticos tipo TH2.

Esta distinção dos toleítos arqueanos em toleítos TH1 e TH2 foi apresentada por Condie (1976c, *in* Condie 1981), e baseia-se no padrão de ETR destes basaltos. Assim, o basalto tipo TH1 (originalmente referido como *DAT*), é caracterizado por um padrão plano da curva de fracionamento de ETR ($\approx 10\times$ os valores de condritos), com ou sem pequenas anomalias de Eu. Os toleítos tipo TH2, por sua vez (originalmente referidos como *EAT*), são caracterizados por enriquecimento em ETR leves (ETRL), mostrando um padrão inclinado da curva de fracionamento.

Uma outra distinção mostrada por Condie (1981), entre toleítos TH e komatiítos basálticos BK, envolve a maior ou menor abundância de óxidos, elementos-traço e relações entre eles, e dentre estas assinaturas apresentadas, as seguintes características são aqui verificadas, semelhantemente aos THs: conteúdos mais elevados de Na_2O , Ba, Sr, Zr, Zr/Y e Ti/V, e mais baixos de Cr, Ni, Co e Ni/Co.

Alguns dos conteúdos e razões entre elementos utilizadas para a caracterização dos basaltos toleíticos TH2, em oposição aqueles tipo TH1, de Condie (1981), as quais correspondem a mais alto Zr, Sr e Zr/Y, e mais baixo CaO, $\text{FeO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$, Cr, e Ti/Zr, são também verificadas para essas rochas. As maiores discrepâncias estão nos percentuais de TiO_2 , K_2O , V e Y, mais elevados no TH2, e que aqui são verificados serem ainda mais baixos do que no toleíto TH1. Os diagramas apresentados no GRAF. 4C e D mostram a normalização das amostras do epidoto-anfibólio xisto - metabasaltos “sem” alteração hidrotermal (Mba) - pelo TH2, em termos de elementos maiores, traço e ETR. Nota-se que, além dos elementos acima mencionados que se mostram empobrecidos nas amostras ora analisadas, outras maiores divergências são os baixos conteúdos em Yb, Lu e Ba.

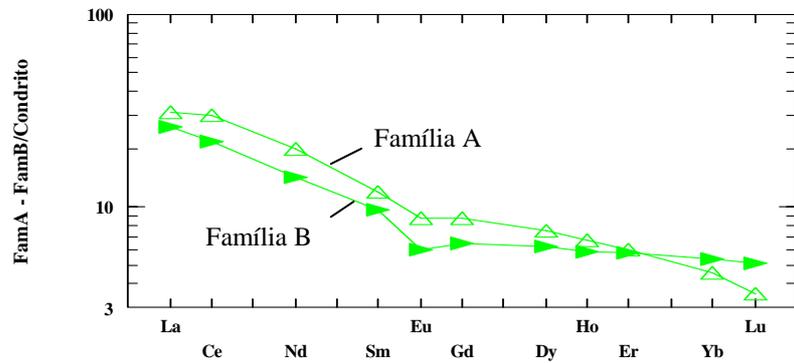
Anteriormente, Ladeira *et al.* (1991), com base na análise de 2 amostras do carbonato-sericita xisto (X2) sugeriram que o estilo de fracionamento dos ETR seria característico e mostraria similaridade com o BK1 de Condie (1981). Contudo, a amostragem ora realizada contempla um maior número de amostras (14) e a comparação com o TH2 aqui proposta é mais evidente, conforme exposto acima.

Diversos diagramas para discriminação de ambientes tectônicos de basaltos foram investigados, e uma seleção dos mesmos é apresentado no GRAF. 5. No diagrama de Pearce *et al.*, 1977 (GRAF. 5A), as amostras do epidoto-anfibólio xisto (Mba) e do clorita-albita xisto (Mbax) se situam no campo dos basaltos de cadeia oceânica.

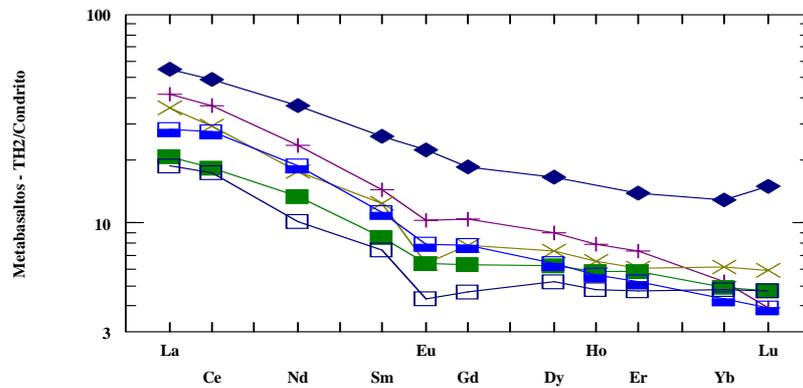
No diagrama proposto por Pearce & Cann (1973), GRAF. 5B, que utiliza da relação de elementos tidos como imóveis, as quatro amostras lançadas (três do Mba e uma do Mbax), caem no limite dos campos de basaltos de arco vulcânico (*VAB*) e o de basaltos intra-placa (*WPB*), parecendo mostrar uma tendência à concentração no tipo *VAB*. Pearce (*in* Bailes *et al.*, 1996), discute as várias possibilidades da “plotagem” das amostras inteiramente em cada um dos campos, ou na transição dos mesmos, e para a situação apresentada para as amostras estudadas (transição *VAB/WPB*), esse autor afirma que basaltos desse tipo foram provavelmente extrudidos em algum ambiente pós-colisão - aquele acima de zonas de subducção mais antigas, ou associado com extensiva interação magma-crosta -, ou em algum ambiente continental atenuado.

METABASALTO

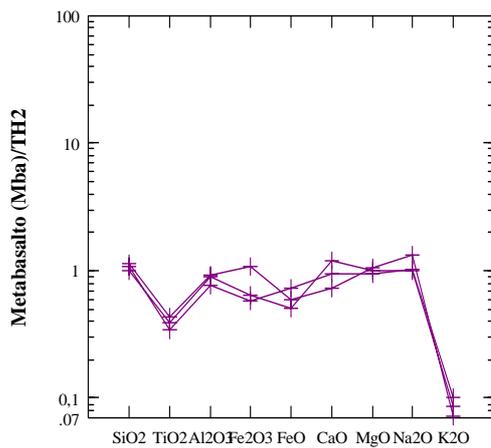
A)



B)



C)



D)

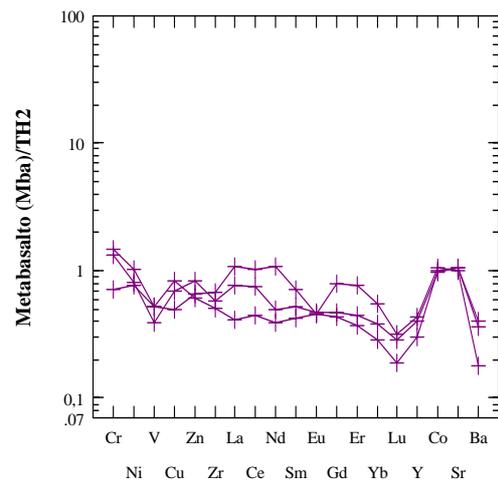


Gráfico 4 - Variogramas de fracionamento de ETR para os metabasaltos. A) Média das amostras das duas famílias de basaltos ora discriminadas, normalizadas para condritos, salientando-se o padrão inclinado dos ETRP de uma delas e o padrão plano da outra; B) Média das amostras nas diferentes zonas de alteração, normalizadas para o condrito (valores de condrito segundo Sun & McDonough, 1989; *in* Minpet 1995). C e D: metabasalto normalizado para o TH2; C) Elementos maiores; D) Elementos-traço e ETR.

Os critérios geológicos apresentados por este autor para se distinguir entre estas duas opções - litosfera continental atenuada x terrenos pós-colisão - incluem: terrenos pós-colisão normalmente pós-datam grandes eventos orogênicos em até 50 Ma; estão sempre associados com sedimentação continental; mostram maiores evidências de interação magma-crosta; e têm uma distribuição unimodal dos tipos de rocha, preferencialmente do que bimodal (basalto-riolito). Apesar de não se ter levantado no presente trabalho dados que possam ser conclusivos quanto a uma ou outra hipótese, o ambiente de arco vulcânico, com zonas de colisão, é considerado como a hipótese mais factível, uma vez que outros diagramas, como será visto adiante, favorecem tal ambiente.

O GRAF. 5C mostra que estes basaltos são oceânicos, e quando se utiliza da discriminação entre toleíitos de fundo oceânico e de arcos de ilha (Beccaluva *et al.* 1979, GRAF. 5D; *in* Vieira 1987), as amostras caem no campo de toleíitos de arcos de ilha embora, novamente, elas se concentrem próximo ao limite entre os campos. No diagrama de Pearce & Cann, 1973 (GRAF. 5E), as amostras caem inteiramente no campo de basaltos cálcio-alcálicos, diferindo portanto, dos demais.

Finalizando, o diagrama proposto por Shervais (1982) para discriminação de basaltos do tipo toleíitos de arco vulcânico, MORB e álcali-basaltos, com base na razão Ti/V, é particularmente útil para a discriminação do ambiente tectônico dos metabasaltos ora estudado, uma vez que “Ti e V são elementos imóveis sob condições de alteração hidrotermal e de metamorfismo de graus intermediário a elevado” (Rollinson, 1993). Conforme pode ser visto no GRAF. 6, as amostras dos metabasaltos menos alterados, mostram uma razão Ti/V < 20, caracterizando a ambiência de toleíitos de arco, o que está em acordo com as evidências mostradas nos diagramas anteriores.

Com base no exposto acima, pode-se concluir que o protólito das metamáficas de Raposos é um **basalto toleítico**, bastante semelhante ao basalto tipo **TH2** de Condie (1981) extrudido, provavelmente, num ambiente de **arco vulcânico** com zonas de colisão.

V.2.2 – METAULTRAMÁFICAS

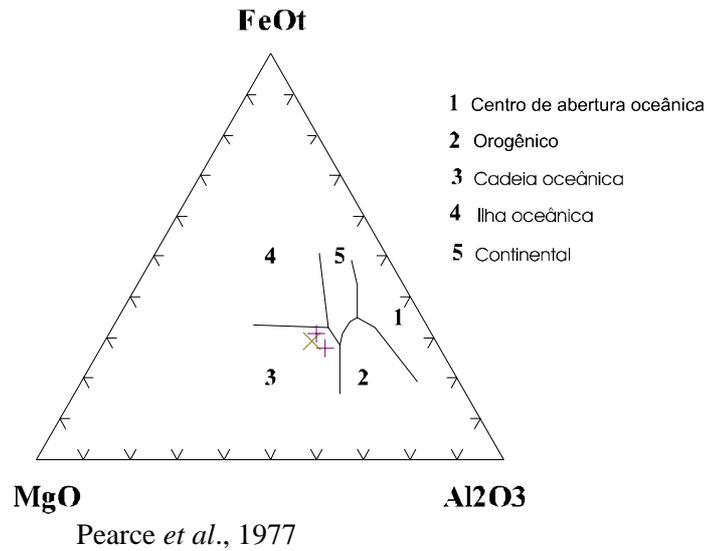
Os dados químicos das amostras de metaultramáficas são agrupados segundo uma ordem crescente de alteração, e identificados para as respectivas zonas de alteração (anexo 4.2).

Hallberg (1985, *in* Minpet 1995) apresenta uma série de diagramas de discriminação e classificação de rochas vulcânicas máficas-ultramáficas antigas, alteradas, e alguns deles são apresentados no GRAF. 7.

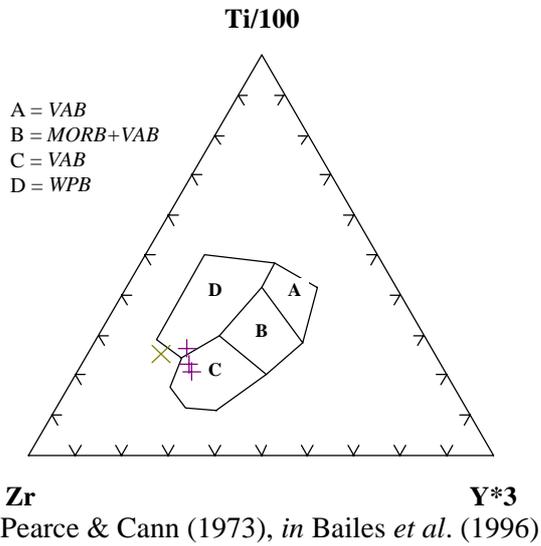
As médias das análises de cada tipo petográfico, representativo das diferentes zonas de alteração, quando lançados nesses diagramas, apresentam uma dispersão muito pequena, pelo fato de serem usados nos mesmos, elementos “imóveis”. No GRAF. 7A, todas as amostras caem no campo das máficas-ultramáficas; no GRAF. 7B, elas se concentram entre o limite dos campos toleíito/komatiíto. Nos GRAF. 7C e D, apesar das amostras caírem numa região onde há superposição de vários campos, fazendo “uma interseção” entre os mesmos, num e noutro diagrama, pode-se dizer que as amostras caem nos campos dos komatiíto e dos *sills* acamadados com alto-Mg.

O conteúdo de elementos maiores das ultramáficas nas diversas zonas de alteração, normalizado ao actinolita-talco xisto (X_3 c/ act) - amostra menos alterada hidrotermalmente, considerada

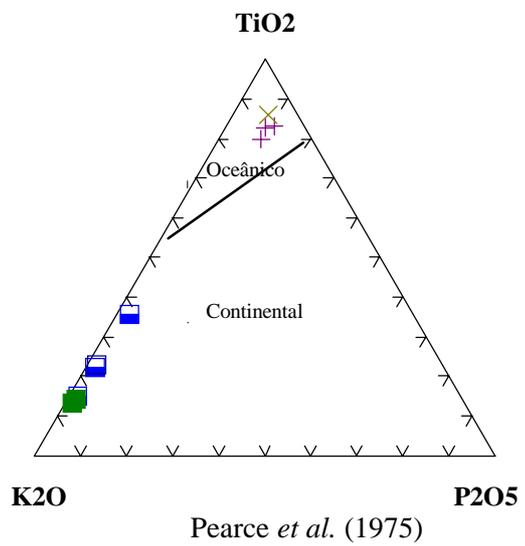
A)



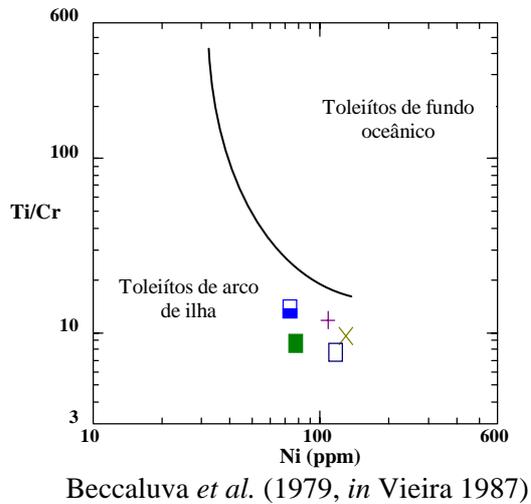
B)



C)



D)



E)

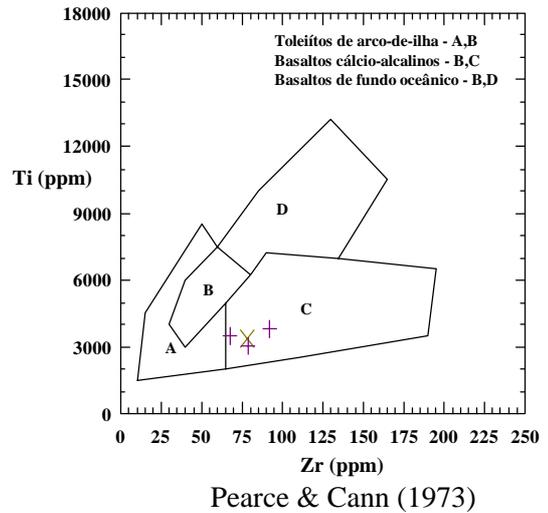


Gráfico 5 - Diagramas de discriminação de ambientes tectônicos para basaltos. VAB: basaltos de arco vulcânico; MORB: basaltos de cadeia meso-oceânica; e WPB: basaltos intra-placa.

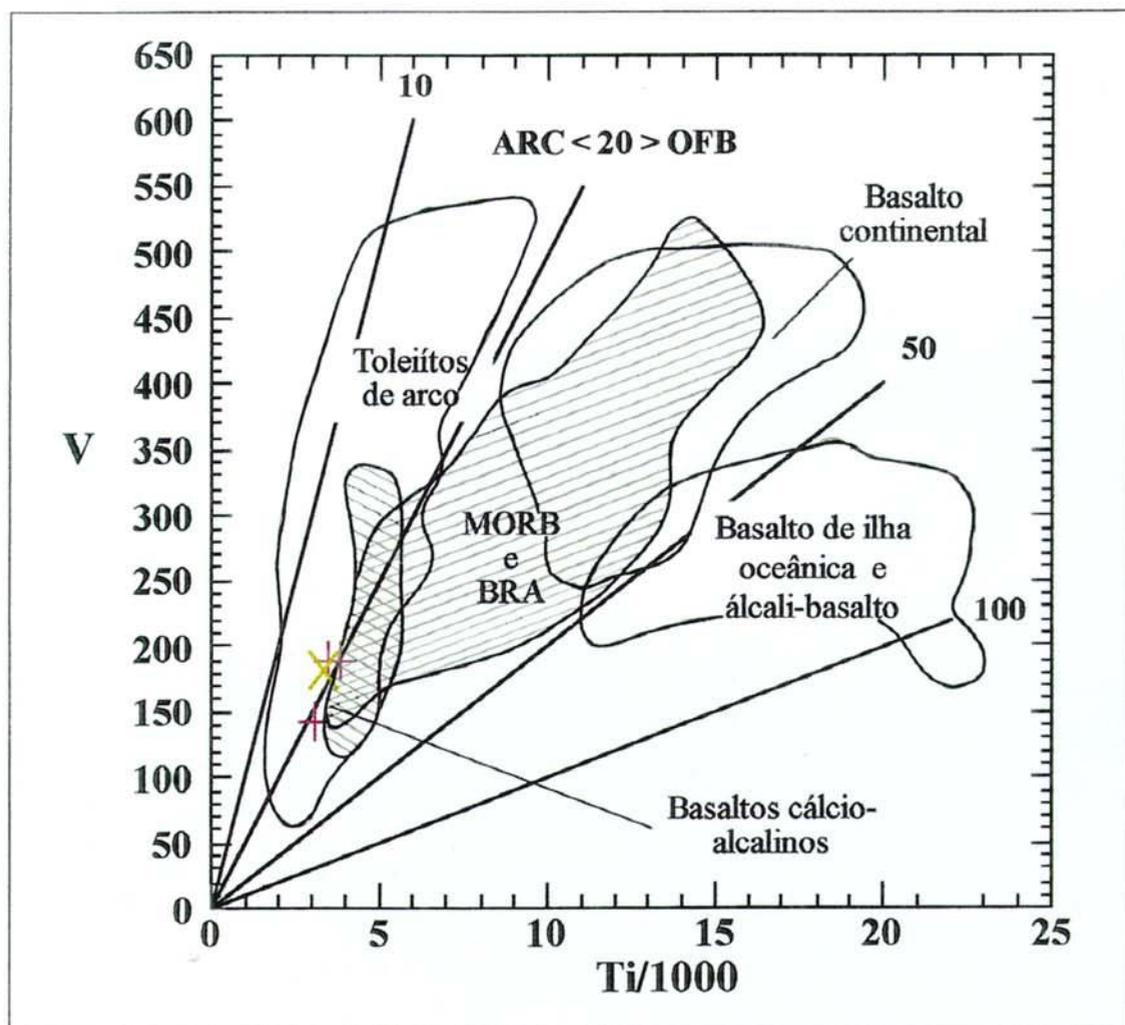
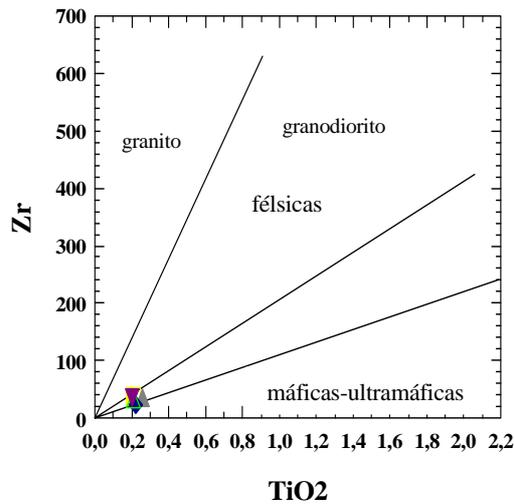
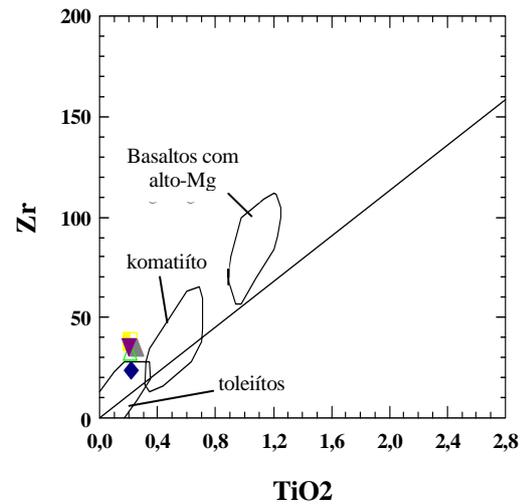


Gráfico 6 - Diagrama de discriminação de ambientes tectônicos para basaltos, segundo Shervais (1982), lançadas as amostras do epidoto-anfibólio xisto (Mba), e a amostra do clorita-albita xisto (Mbax), sugerindo o ambiente de toleiítos de arco para estes basaltos. Campos segundo Rollinson (1993). MORB: basaltos de cadeia meso-oceânica; BRA: basaltos de bacia retro-arco.

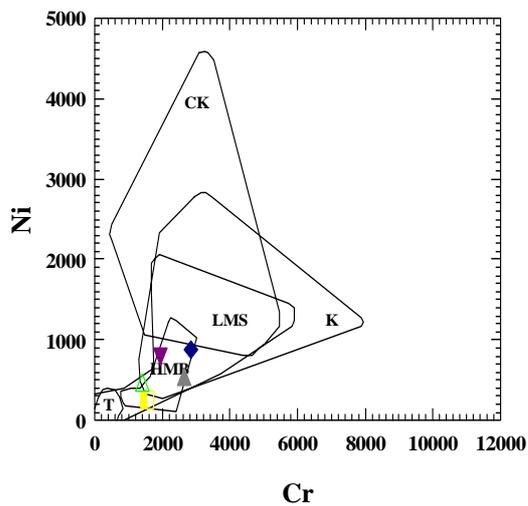
A)



B)



C)



D)

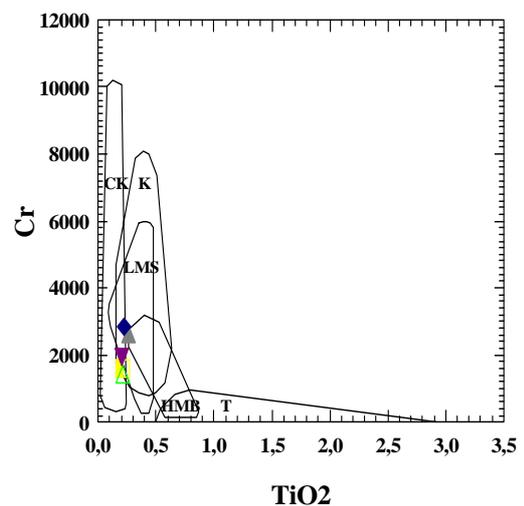


Gráfico 7 – Classificação das metaultramáficas de Raposos, (diagramas segundo Hallberg, 1985). Campos: CK: komatiitos cumuláticos; K: komatiitos; LMS: *sills* acamadados com alto-Mg; HMB: Basaltos com alto-Mg; T: toleióitos. Dados lançados segundo a média das análises dos tipos petrográficos de cada zona de alteração (anexo 4.2).

LEGENDA (para GRAF. 7, 11 e 12)

- ◆ actinolita-talco xisto (X3 c/ act)
- ▲ talco xisto (X3)
- △ clorita-carbonato xisto (X3 s/ talco)
- ▼ carbonato-albita-clorita xisto (X3 s/ talco albitico)
- carbonato-fuchsite xisto (Fx)

como a mais próxima da assembléia metamórfica – é apresentado no GRAF. 8. Nota-se nestes diagramas as seguintes variações: enriquecimento em Na_2O nas zonas do talco-clorita e do carbonato-albita, bastante pronunciado nesta última – formação de albita; enriquecimento em K_2O nas zonas da clorita-carbonato e do carbonato-sericita – aparecimento de sericita. Discretas diminuições em FeO , CaO , K_2O ou MgO , são notadas no estágio incipiente da alteração, e de Fe_2O_3 na zona do carbonato-albita.

O GRAF. 9 mostra a normalização das amostras nas diversas zonas ao X3 c/ act (amostra menos alterada), em termos de elementos-traço. Nota-se aí, uma maior variação quando comparado à variação de elementos maiores. Aumentos mais pronunciados são verificados para o Ba (em todas as zonas), e, subordinadamente, para o Sr; o Zr mostra enriquecimento na zona do talco-clorita (GRAF. 9A). Maiores diminuições ocorrem no conteúdo de S e Zn – zonas do talco-clorita e carbonato-albita – e, subordinadamente, de Ni, nessas mesmas zonas.

Os diagramas apresentados no GRAF. 10, mostram a normalização de elementos maiores, traços e ETR, de cada zona por aquela imediatamente anterior, menos alterada. Verifica-se aqui os mesmos padrões supra citados, salientando-se a forte diminuição em ETRP na zona do clorita-carbonato. É importante ressaltar o comportamento móvel do Y.

O GRAF. 11 mostra a normalização ao manto superior das amostras de metaultramáficas menos alteradas, em termos de elementos incompatíveis (GRAF. 11A), e aos komatiítos peridotíticos com textura *spinifex* (STPK, segundo Condie, 1981; GRAF. 11B), apresentando bons padrões de correlação em ambos os casos – padrão das curvas aproximadamente plano, próximo da unidade. Observa-se que a amostra 2,3-11 (metamorfismo regional) bem como a média das amostras de X3 (zona do talco-clorita) têm conteúdos semelhantes ao STPK, no tocante aos ETRP. Maiores divergências são observadas para os ETRL e Cu, em ambos diagramas.

A normalização ao STPK das médias das amostras de metaultramáficas, no tocante apenas aos ETR é mostrado no GRAF. 12, onde observa-se claramente o padrão aproximadamente plano, próximo de 1, da curva de fracionamento dos ETRP, e o enriquecimento em ETRL

As razões entre elementos e conteúdos de alguns elementos-traço são mostrados na TAB. 4, para fins comparativos com o STPK e com peridotitos. Fica bem evidenciada a tendência a razões crescentes de $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$, Zr/Y e Ti/V , e razões decrescentes de $\text{FeO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$, MgO/FeO , Ni/Co e Ti/Zr . Essas variações apresentam algumas irregularidades mas, em geral, ocorrem conforme mencionado.

Como regra geral, o conteúdo de ETR de todas as amostras é muito baixo, variando entre 8,40 e 15,91 ppm. A razão $\text{La}/\text{Lu}_{\text{NC}}$ varia de 2,24 até 4,52. Nota-se que o ΣETR e a razão $\text{La}/\text{Lu}_{\text{NC}}$ cresceu com a diminuição do conteúdo de MgO , fato este esperado. As anomalias negativas para Eu são consideradas resultantes de alteração hidrotermal. O valor $\text{La}/\text{Yb}_{\text{NC}}$ é elevado em todas as amostras, exatamente contrário ao que ocorre nos komatiítos, que são empobrecidos em ETRL em relação a ETRP, e novamente atribui-se à alteração hidrotermal o fenômeno. Como a razão La/Yb é alta, pode-se também sugerir que ocorreu contaminação do material durante a jornada manto-crosta.

Com base no exposto acima, conclui-se que as metaultramáficas de Raposos tenham como protólito um komatiíto peridotítico.

METAULTRAMÁFICAS

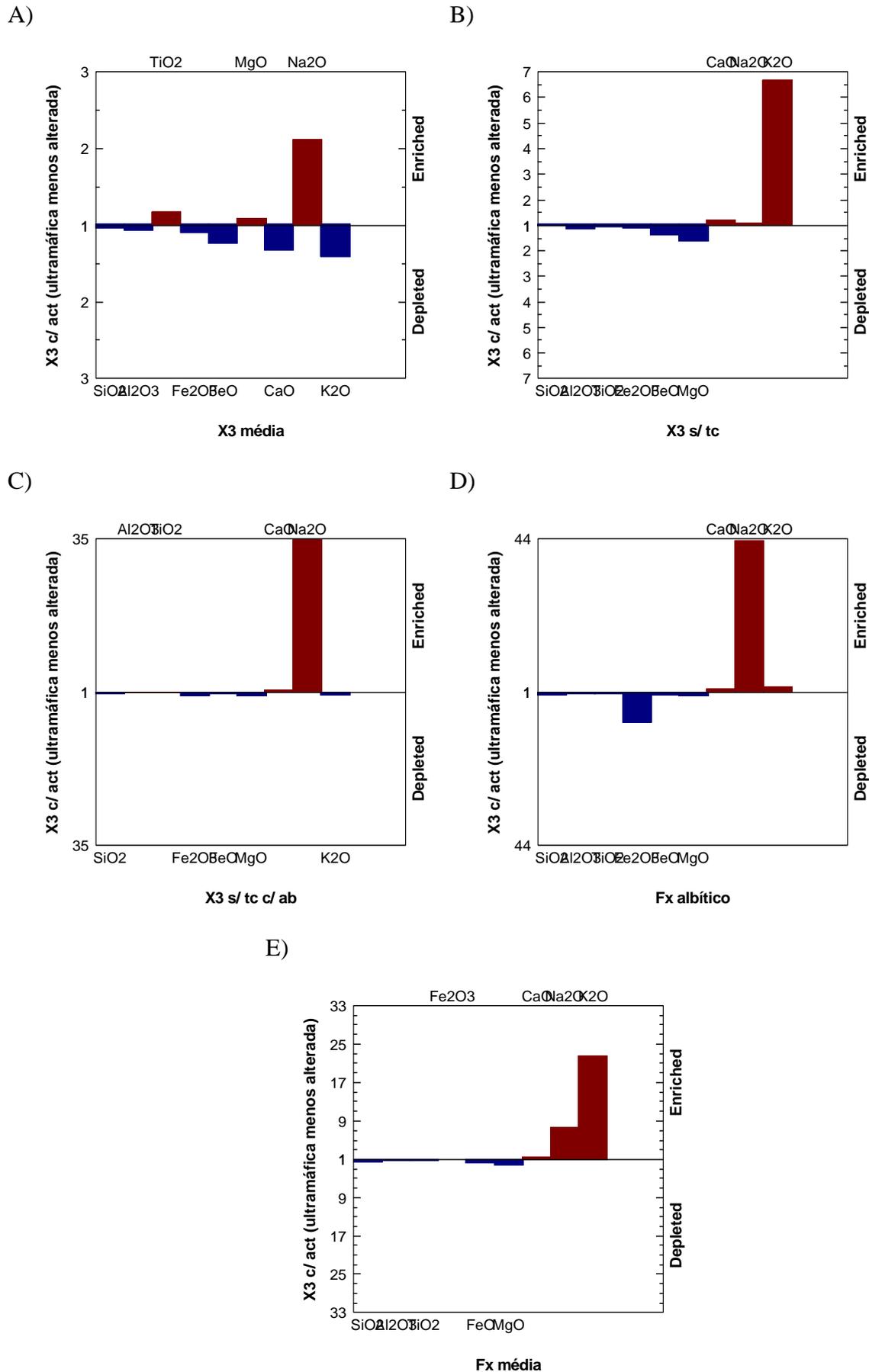
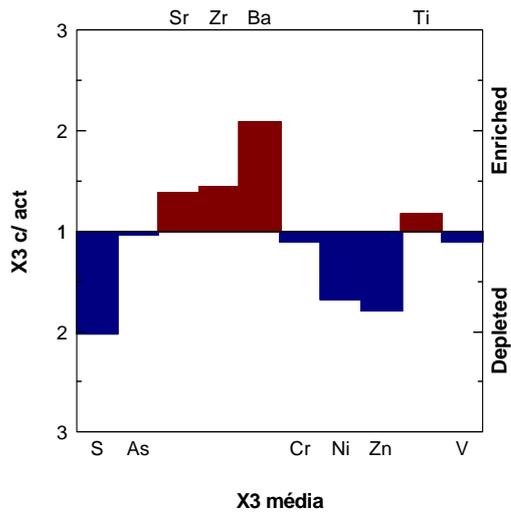


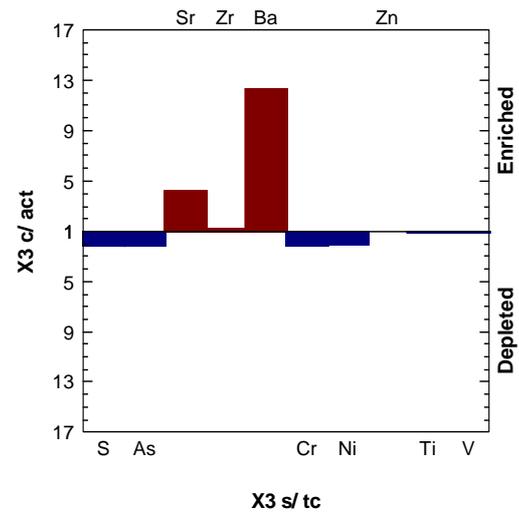
GRÁFICO 8 - Normalização de elementos maiores para amostras representativas das diferentes zonas de alteração, com relação à rocha menos alterada (X3 c/ act): A) Zona do talco-clorita; B) Zona da clorita-carbonato; C e D) Zona do carbonato-albita; E) Zona do carbonato-sericita.

METAULTRAMÁFICAS

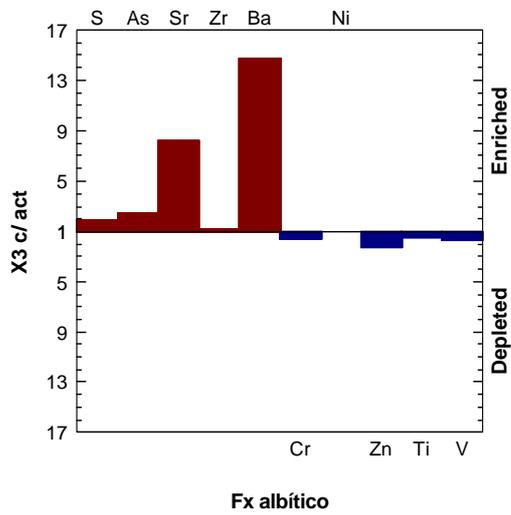
A)



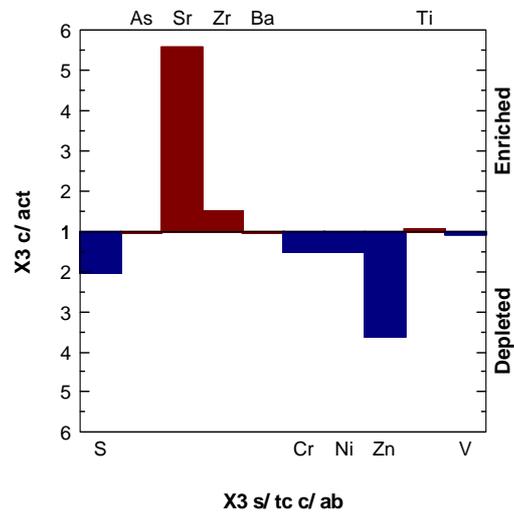
B)



C)



D)



E)

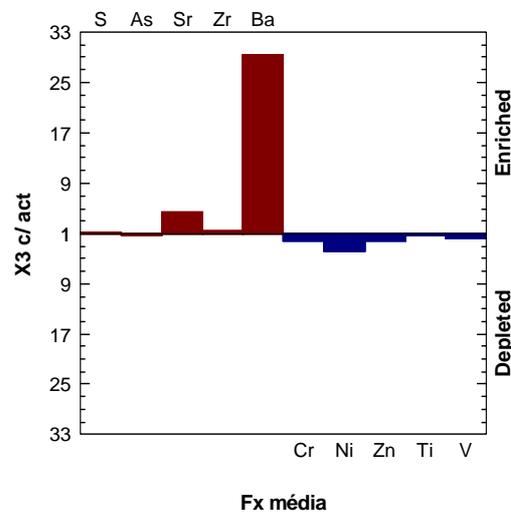
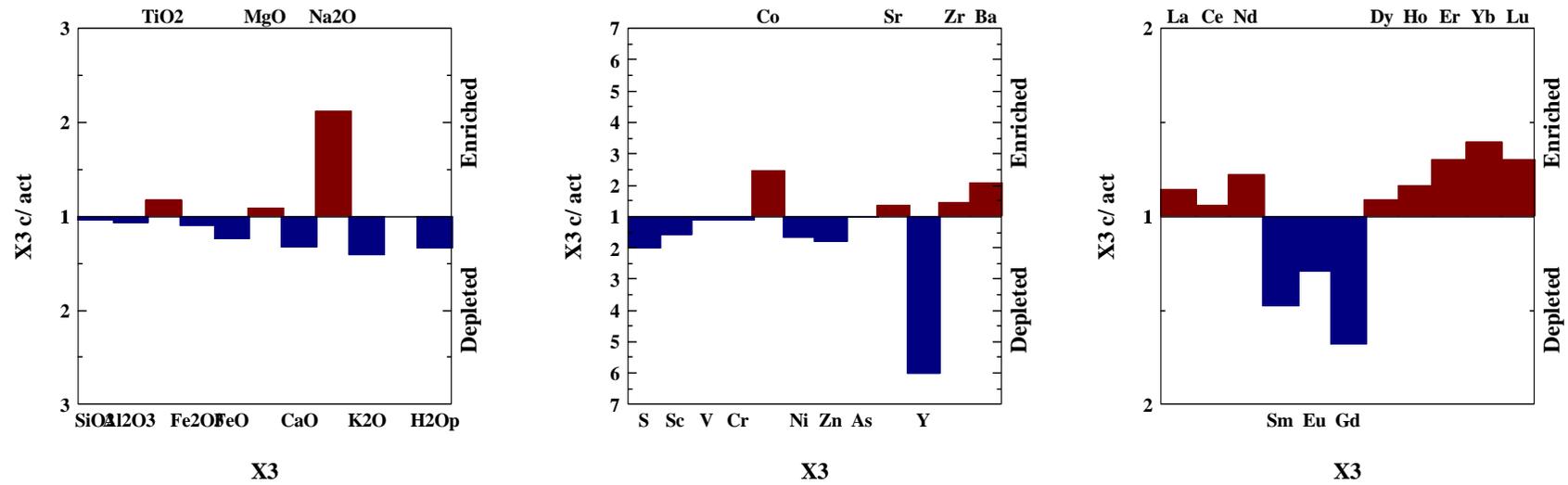


GRÁFICO 9 - Normalização de elementos traço para amostras representativas das diferentes zonas de alteração, com relação à rocha menos alterada ($X3\ c/act$): A) Zona do talco-clorita; B) Zona da clorita-carbonato; C e D) Zona do carbonato-albita; E) Zona do carbonato-sericita.

METAKOMATIÍTOS - ESTÁGIO INCIPIENTE

A) Talco-clorita x metamorfismo regional



B) Clorita-carbonato x talco-clorita

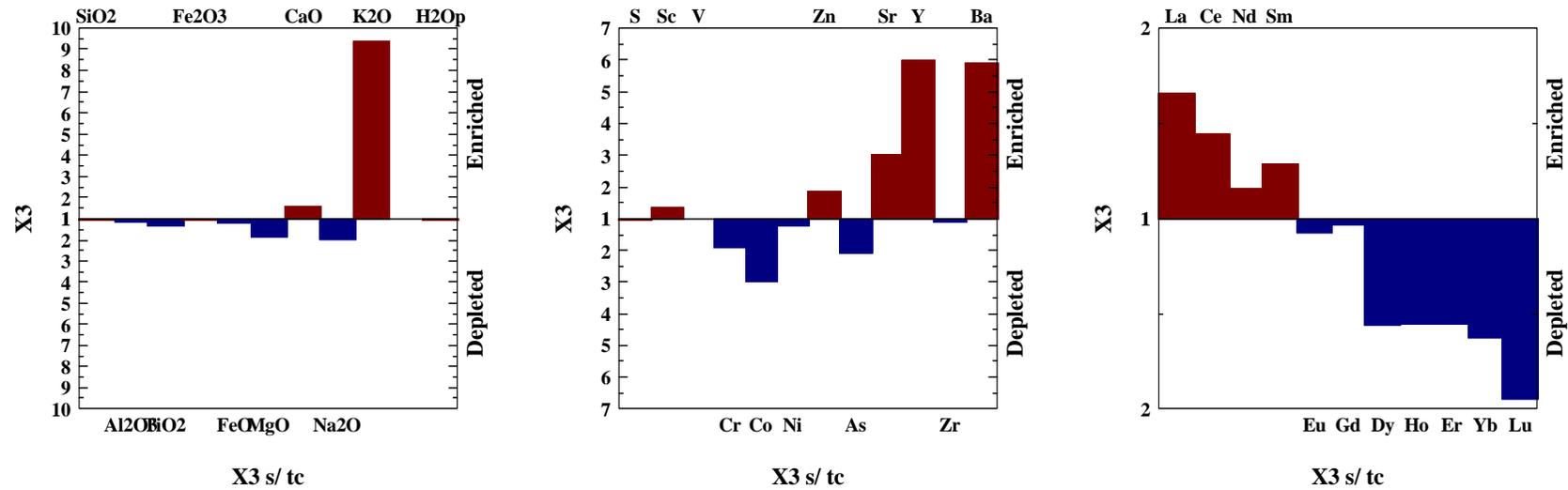
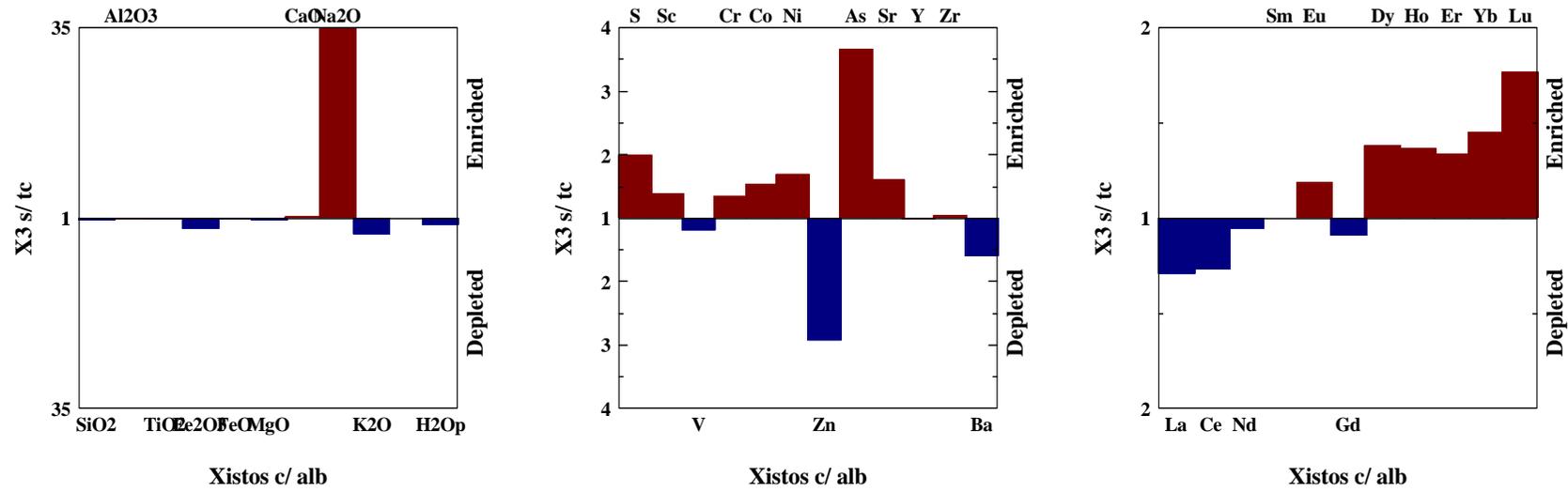


Gráfico 10 - Normalização das médias de análises dos metakomatiitos de zonas mais alteradas, com relação às zonas imediatamente anteriores, menos alteradas, para elementos maiores, traços e ETR.

METAKOMATIÍTOS - ESTÁGIO AVANÇADO

C) Carbonato-albita x clorita-carbonato



D) Carbonato-sericita x carbonato-albita

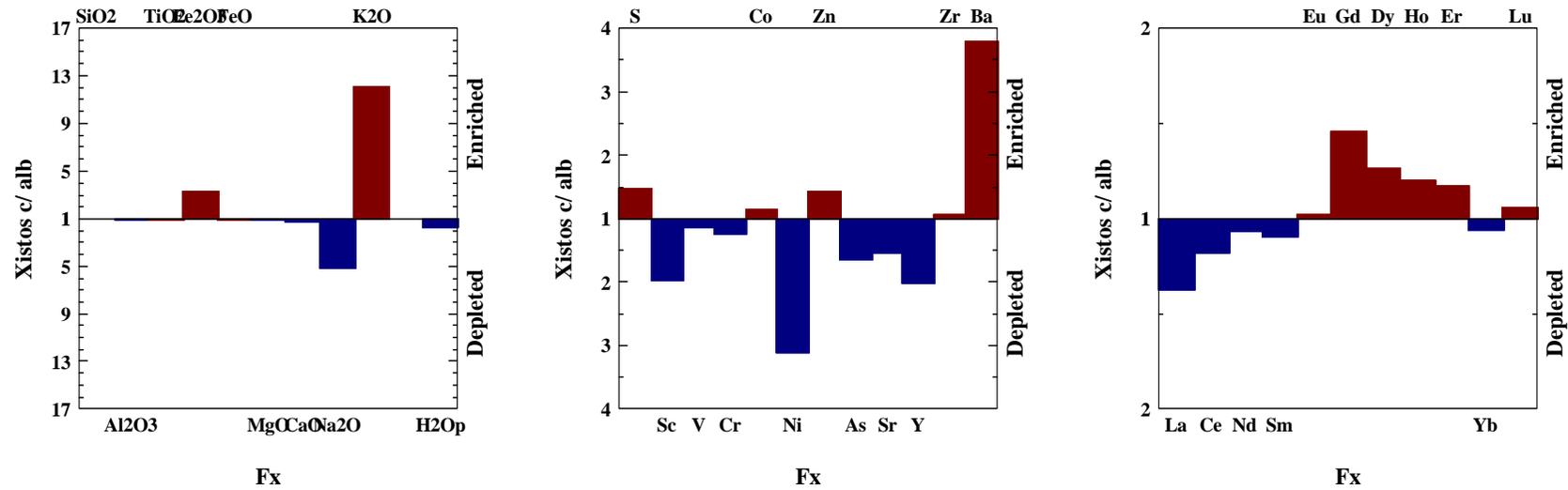


Gráfico 10 - Continuação.

METAULTRAMÁFICA

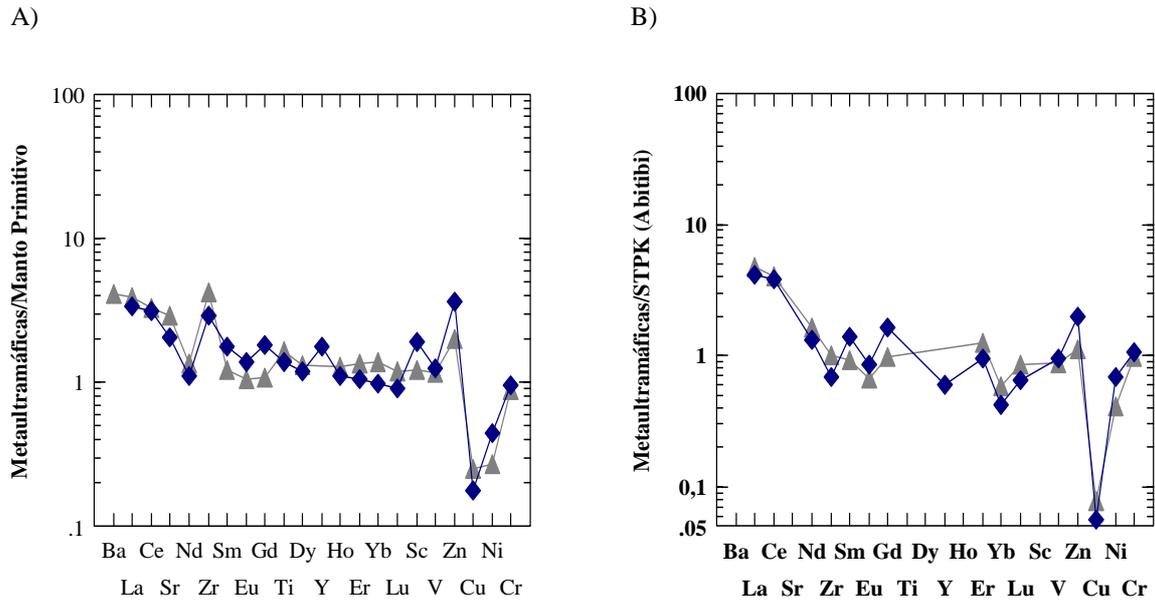


Gráfico 11 – Concentrações de elementos-traço das metaultramáficas normalizados à composição: A) do manto primitivo (dados de Taylor & McLennan, 1985); B) do komatiito peridotítico com textura *spinifex* (STPK) (Condie, 1981). A disposição dos elementos, da esquerda para a direita, é segundo a ordem crescente de compatibilidade, em uma pequena fração de fusão do manto (Rollinson, 1993). Símbolos de acordo com a legenda do gráfico 7.

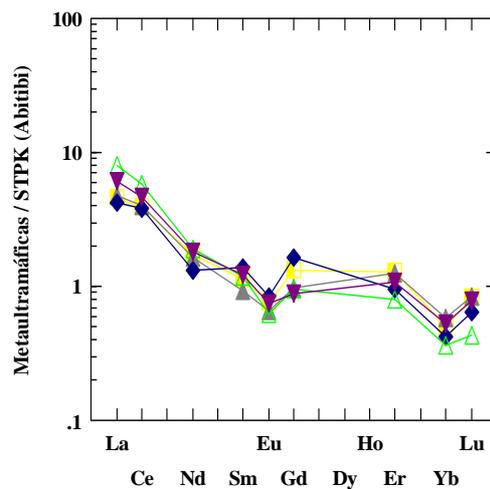


Gráfico 12 - Média dos valores de ETR das metaultramáficas de Raposos, nas diferentes zonas de alteração, normalizadas ao STPK. Note-se o padrão da curva de fracionamento para os ETRP aproximadamente plano e próximo de 1, havendo um enriquecimento em ETRL. Símbolos utilizados segundo a legenda do gráfico 7.

Tabela 4 - Relações entre elementos para a média das metaultramáficas de Raposos, por zona de alteração, e conteúdo de alguns elementos traços. Valores de *STPK* e peridotito segundo Condie (1981), para fins comparativos.

	1	2	3	4	5	STPK	Peridotito
CaO/Al ₂ O ₃	0,88	0,71	1,24	1,78	1,65	1,40	0,74
FeO/Fe ₂ O ₃	5,27	4,62	4,14	10,28	3,10	1,20	4,60
MgO/FeO	2,53	3,43	2,17	2,03	1,86	5,20	5,20
Al ₂ O ₃ /TiO ₂	38,18	30,5	35,71	39,02	36,90	19,00	16,00
Cr	2846	2638	1410	1928	1582	2200	250
Ni	888	530	464	792	256	2000	2500
V	162	150	156	132	120	90	50
Co	27	68	23	36	42	60	100
Cu	5	7	45	46	56	45	30
Zn	180	101	192	66	96	102	33
Zr	24	35	33	35	39	34	40
Y	6	<1	6	5,5	3	3	1
Ni/Co	32,89	7,85	20,17	21,99	6,09	33	25
Ti/Zr	55,00	44,57	38,18	35,65	33,16	31	30
Zr/Y	4	35	5,5	6,27	12,67	11	40
Ti/V	8,15	10,40	8,08	9,35	10,5	12	24
La/Sm _{NC}	1,90	3,34	4,16	3,20	2,55	0,86	22
Eu/Eu*	0,77	1,02	0,77	0,93	0,87	1,00	1,00
Yb/Gd	0,55	1,30	0,82	1,28	0,83	0,90	0,30

Nota: 1 ≡ Metamorfismo regional - X3 c/ actinolita;

2 ≡ Zona do talco-clorita (4 amostras) - X3;

3 ≡ Zona da clorita-carbonato - X3 s/ talco;

4 ≡ Zona do carbonato-albita (2 amostras) - X3 s/ talco ou Fx, albíticos;

5 ≡ Zona do carbonato-sericita (2 amostras) - Fx.

V.2.3 - FORMAÇÃO FERRÍFERA

O aspecto químico mais interessante da formação ferrífera é a distribuição regular dos ETR nas amostras estudadas, a despeito da taxa crescente de sulfetação (GRAF. 13A, B e C), ou do aumento do teor de ouro (GRAF. 13D, E e F), o que era de se esperar, uma vez que sulfetos não são retentores de ETR.

As amostras estudadas, quando normalizadas pelo NASC (North American Shale Composite) mostram um arranjo de fracionamento “clássico” para as BIFs arqueanas. O estudo ora realizado confirma as conclusões de Ladeira *et al.* (1991), em seu estudo da BIF de Raposos, e os variogramas aqui obtidos se assemelham aqueles do “padrão a” descrito por Raposo (1996), para formações ferríferas do Grupo Nova Lima, cujas características são: anomalias mais fortes de Eu e fracionamento de ETRL e ETRP sem grandes distinções. As amostras pertencentes a este padrão foram interpretadas por aquele autor como aparentemente mais proximais em relação às fontes exalativas, sendo também as que melhor teriam preservado as assinaturas originais de ETR.

As abundâncias médias para Sc, Cr, Co e Zn são compatíveis com o tipo Algoma de BIF, exceto no que diz respeito ao empobrecimento em V e enriquecimento em Ni e Cu (provocado pela sulfetação?).

Uma primeira avaliação da possível contribuição hidrotermal marinha para o desenvolvimento da BIF de Raposos pode ser obtido quando se examinam as relações entre SiO_2 e Al_2O_3 (valores ao redor de 50% e 0,5%, respectivamente), características de sedimentos hidrotermais.

Segundo Dymek & Klein (1988) os conteúdos de ETR nos materiais marinhos hidrotermais variam de 1 a 50 ppm para conteúdos correspondentes de $\Sigma\text{Co-Cu-Ni}$ de 20-1000 ppm, exatamente o que é verificado para a BIF de Raposos.

Outro aspecto da BIF examinada que se assemelha à BIF de Isua, na Groenlândia (Dymek & Klein, 1988) é o aparecimento de anomalia negativa de Ce e positiva de Eu. Soluções hidrotermais submarinas foram analisadas por Michard *et al.* (1983, *in* Dymek & Klein, 1988) e acusaram extremas anomalias positivas de Eu. As anomalias negativas de Ce são ditas serem características das águas do mar, devido à retenção deste elemento no fundo do mar, pela ação catalisadora dos nódulos de Mn, quando no seu estado oxidado Ce^{4+} (Fryer, 1977). Isso indica, então, que as BIFs se depositaram em ambiente marinho, onde soluções quentes que atravessavam o piso retiravam Fe, sílica e ETR (especialmente Eu), misturando-as com a água do mar e se resfriando, para assim, deposita-las. Deste modo, as anomalias negativas de Ce refletem o componente água do mar e as positivas de Eu, o componente hidrotermal.

V.2.4 - Tufito félsico (Xs)

A composição química das rochas indica a presença de rochas originalmente ígneas (ainda que tufáceas), evidenciadas por: conteúdos de Na e K, e suas relações; razão entre os conteúdos $\text{FeO}/\text{Fe}_2\text{O}_3 > 1$, $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3 \sim 0,5$ e o conteúdo geral de elementos-traço, especialmente o arranjo das curvas de fracionamento dos ETR, onde se destaca a ausência de anomalias de Eu (GRAF. 14). No Anexo 4.4 apresenta-se os resultados químicos dos 2 grupos rochosos, discerníveis a partir das análises. Estes grupos mostram conteúdos ao redor de 56% de SiO_2 para um grupo (grupo “andesítico”), e cerca de 64% para outro (grupo “dacítico”).

FORMAÇÃO FERRÍFERA

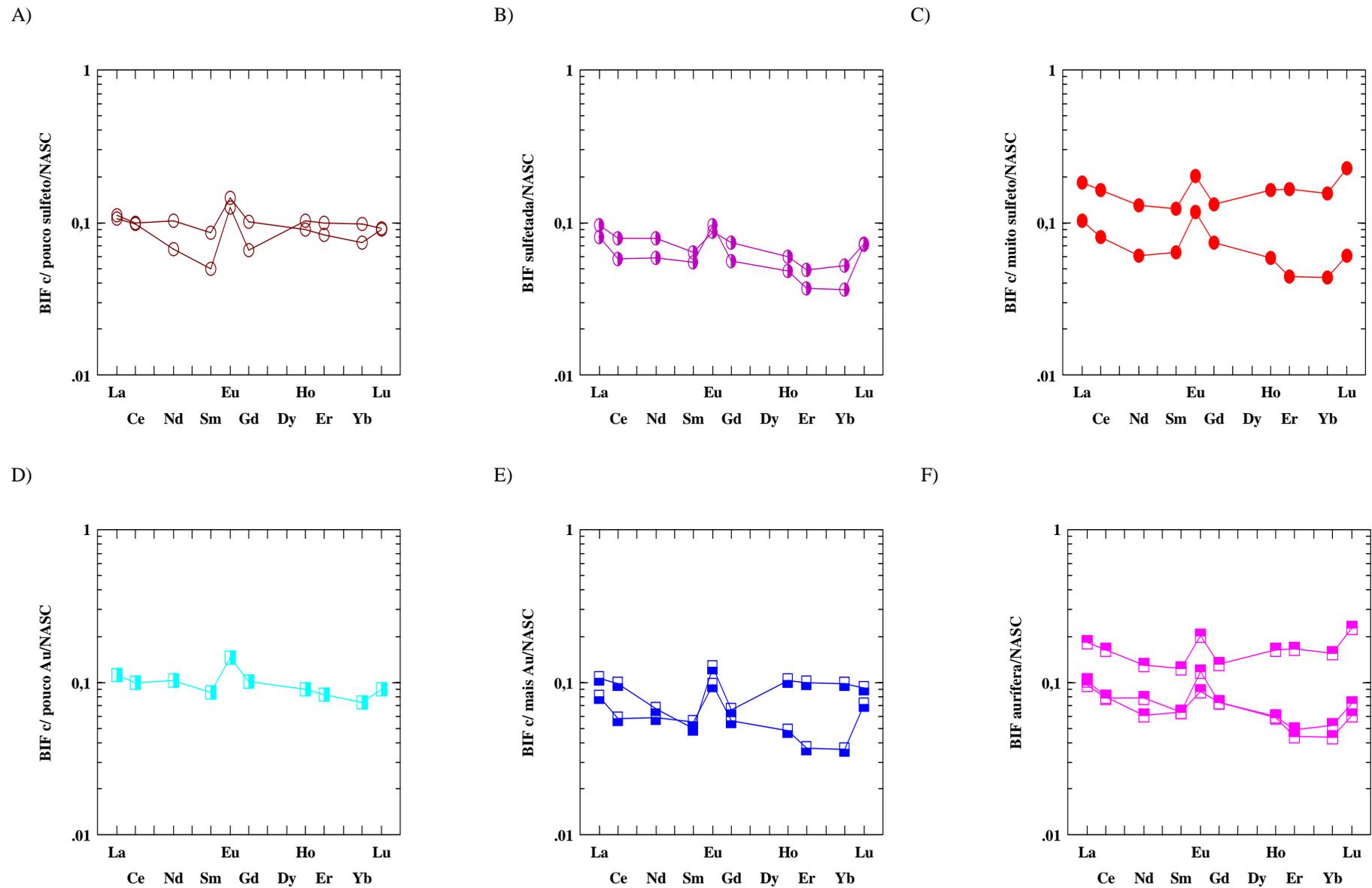


Gráfico 13 - Variogramas de ETR da BIF de Raposo, normalizada ao NASC – valores segundo Haskin *et al.* (1968). Em A, B e C, apresenta-se a normalização de amostras com percentual crescente em sulfetos, e em D, E e F, a normalização para amostras com diferentes teores de ouro, com teores médios de: D) 0,41ppm; E) 1,54ppm; F) 4,55ppm. Observa-se que não há mudança significativa do comportamento dos ETR, em função da sulfetação/mineralização.

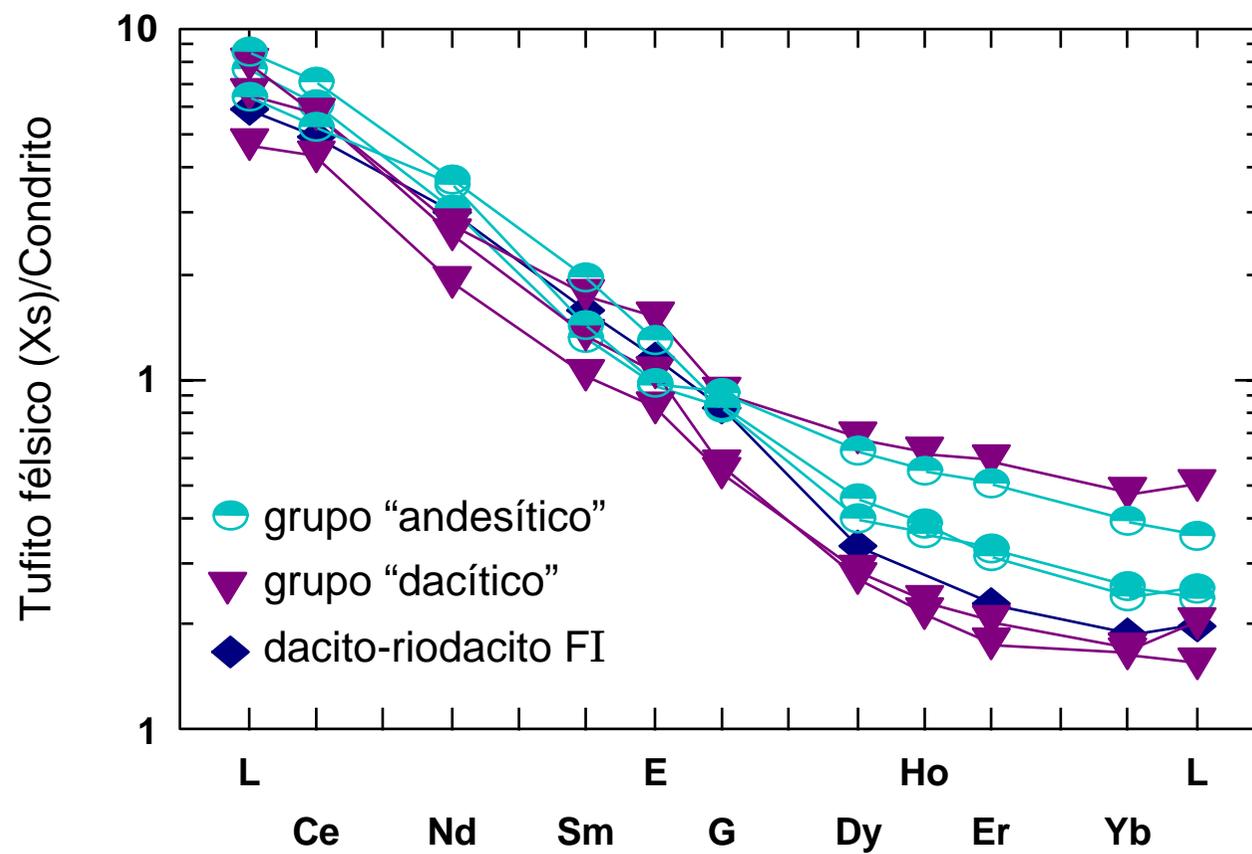


Gráfico 14 - Variograma de normalização das análises de ETR do Xs para condrito - separados os dois grupos de composição química distintas - e do dacito-riodacito FI de Condie (1981). Valores para condrito segundo Sun & McDonough (1989).

Sob o ponto de vista mineralógico os 2 grupos também se distinguem. O grupo “andesítico” tem, em média, maior conteúdo em carbonato, menor conteúdo em quartzo, menor conteúdo em moscovita, maior em albita.

A química do grupo “dacítico” apresenta uma anomalia no conteúdo de CaO de 6,10% em uma das amostras (carbonatação).

Os conteúdos de elementos-traço indicam que as rochas andesíticas (mais básicas) são mais ricas em V, Cr, Co, Ni, Zn e Sr, como seria de se esperar.

A consangüinidade dos 2 grupos é comprovada pelo idêntico arranjo das curvas de fracionamento dos ETR (GRAF. 14).

A comparação da composição química e dos perfis de ETR com dados da literatura mostram que as rochas do grupo “andesítico” se assemelham às rochas do tipo alto K de Condie (1981), enquanto as dacíticas se assemelham aos dacitos FI do mesmo autor.

V.2.5 - LAPA SECA

O exame da composição química da Lapa Seca indica conteúdos moderados de SiO₂, exceto para uma amostra, baixos conteúdos de TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, conteúdos moderados a baixos de álcalis, alto conteúdo de CO₂ (expresso pela P.F) e altos conteúdos de CaO e MgO; no caso do MgO apenas uma amostra não segue esta tendência. O percentual de FeO é moderado (anexo 4.5).

No que se refere aos ETR há que se observar:

- conteúdo total de ETR baixo, com predominância de ETRL em relação aos ETRP (razão próxima de 12);
- anomalia positiva de Eu/Eu*_{NASC} e ausência de anomalia para Ce/Ce_{NASC} (1,50 e 0,99, respectivamente);
- discreto fracionamento das ETRL (La/Sm_{NASC} ~ 1,4 e Gd/Lu_{NASC} ~ 1,4).

A composição química, como um todo, indica tratar-se de rocha originalmente sedimentar, de origem química, semelhante ao queluzito do Distrito de Lafaiete (dados para queluzito segundo informação escrita de J. H. Grossi Sad, 1997). Ambas são rochas carbonáticas, uma delas rica em CaO, MgO e FeO, e a outra rica em MnO (CaO moderado, MgO desprezível) e FeO. Em relação aos outros componentes (SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, CO₂, álcalis) é grande a semelhança.

A comparação quando se trata de ETR é ainda mais acentuada (valores em ppm):

	Lapa Seca	Queluzito
ETR	28	31
ETRL	26	27
ETRP	2	3
ETRL/ETRP	13	13,5
Ce/Ce* _{NASC}	1,19	0,99
Eu/Eu* _{NASC}	1,65	1,50

As abundâncias de ETR em ambas as rochas são estritamente semelhantes à de rochas carbonáticas, bem como a razão ETRL/ETRP.

As curvas tendem para a horizontalidade, em ambos os tipos rochosos, como no caso do calcário. A única diferença em relação ao mesmo é a anomalia positiva de $\text{Eu}/\text{Eu}^*_{\text{NASC}}$, possivelmente refletindo um componente hidrotermal marinho, como no caso da formação ferrífera (GRAF. 15).

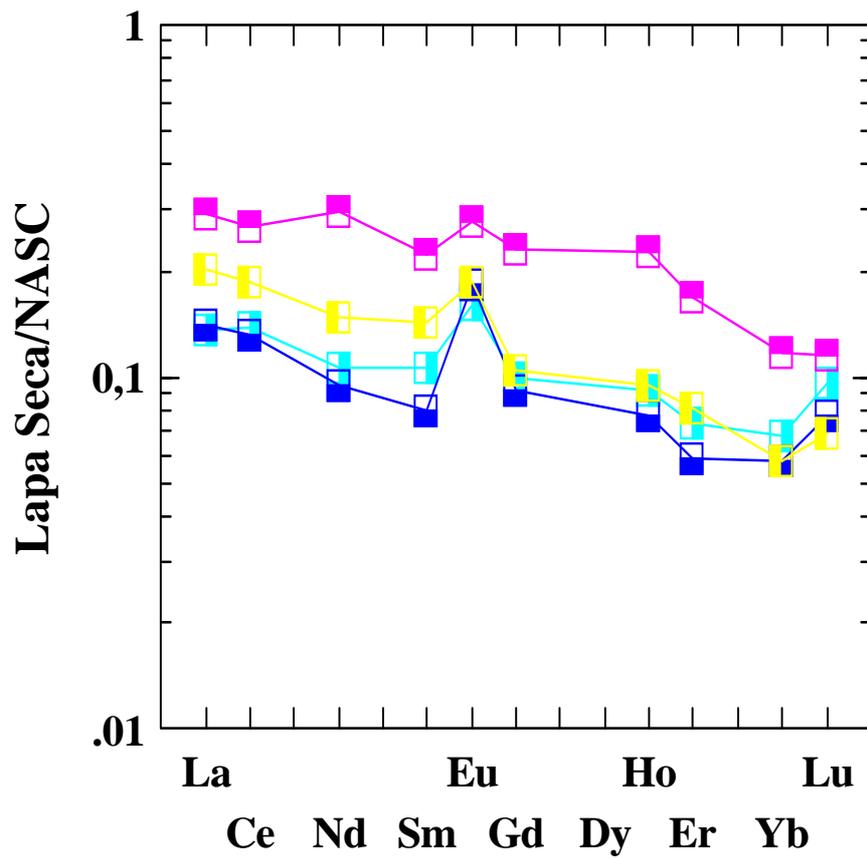


Gráfico 15 - Variograma de normalização ao *NASC* das análises de ETR da Lapa Seca de Raposos (valores para o *NASC* segundo Haskin *et al.*, 1968).

CAPÍTULO VI

GÊNESE DO DEPÓSITO

VI.1 - INTRODUÇÃO

É amplamente difundida na literatura a associação de depósitos auríferos a terrenos granito-*greenstone* arqueanos (e.g. Canadá, Colvine 1989; Austrália, Ho *et al.* 1990; Zimbabwe, Foster 1989; *in Groves et al.*, 1995; Brasil, Ladeira 1991). Estes tipos de depósitos são agrupados, na literatura internacional, sob o nome *lode gold deposits* (depósitos de ouro tipo filão), sendo o termo *lode* preferido por incluir um grande espectro de características morfológicas que os depósitos de ouro do Arqueano encerram.

Tais depósitos se situam em diferentes níveis estratigráficos e possuem uma grande diversidade de rochas hospedeiras - rochas sedimentares clásticas e químicas, rochas vulcânicas e intrusivas de composição alcalina, félsica, máfica ou ultramáfica (Latulippe, 1982; Goldie, 1982; Karvinen, 1978, 1981; Hodgson & MacGeehan, 1982; Colvine, 1983; *in Kishida*, 1984). Tendo em vista tamanha diversidade, uma classificação simples em **xistos sulfetados** (*sulphidic*) e **depósitos de veios** diminui a margem de controvérsias (Card *et al.*, 1989; Colvine, 1989; *in Herrington et al.*, 1997). Isto efetivamente divide os depósitos de veios que mostram inequívocas relações *crosscutting* com as rochas hospedeiras, dos depósitos sulfetados, os quais muitas vezes mostram relações variáveis, geralmente concordantes com as rochas hospedeiras.

Apesar dessa diversidade na associação da mineralização, as litologias ricas em ferro (formações ferríferas e máficas ricas em ferro) são observadas serem as hospedeiras dominantes em muitos dos depósitos dos cinturões de rochas verdes. Além disso, estes depósitos possuem em comum algumas características, como por exemplo: sua associação a zonas de cisalhamento (ZC) dúctil-rúptil, em domínios de grau metamórfico mais baixo - sob condições da facies xisto-verde e transição xisto-verde/anfibolito (razão pela qual eles são referidos como depósitos de ouro mesotermiais); e alteração hidrotermal das rochas encaixantes, as quais mostram, tipicamente, abundância de carbonato, moscovita e albita. Tais características sugerem que há uma estreita relação entre deformação, alteração hidrotermal e concentração de ouro, preferivelmente do que controles estratigráfico ou litológico.

Ainda neste sentido, existe um amplo consenso de opinião, baseado em dados de diversos *greenstone belts*, que a origem dos depósitos de ouro relacionados a *greenstones* está estreitamente ligado com o pico do metamorfismo regional, deformação e posicionamento de intrusões graníticas e lamprofíricas (Powell *et al.*, 1991). Colvine *et al.* (1988) apresentam um modelo deposicional e um modelo genético para os depósitos do tipo *lode* arqueanos, da Província Superior - o maior cráton Arqueano exposto no mundo - em Ontário, no Canadá. Estes autores salientam que são inúmeras as evidências que suportam a premissa que o ouro foi introduzido, naquela região, em condições de temperatura (T) e pressão (P) próximas ao pico metamórfico nos terrenos *greenstone*; a maior evidência que a mineralização não ocorreu significativamente antes do pico do metamorfismo advém da superposição (*overprinting*) por assembléias minerais “retrógradas” em zonas de deformação, alteração e deposição de ouro, mais intensas.

A devolatilização metamórfica tem sido apontada por vários pesquisadores como o principal processo responsável pela geração de fluidos mineralizantes (Groves & Phillips, 1987; Groves *et al.*, 1987; Powell *et al.*, 1991; Phillips, 1993, entre outros), sendo capaz de gerar grandes volumes de fluidos que teriam transportado o ouro através da crosta e, sob condições favoráveis, precipitado-o como significante depósito.

VI.2 - APRESENTAÇÃO DAS HIPÓTESES GENÉTICAS PARA O DEPÓSITO

Vial (1980) e Ladeira (1980, 1991) propõem para o depósito de Raposos um modelo singenético exalativo, tendo em vista que, num ambiente vulcano-sedimentar arqueano, é freqüente a formação de sulfetos singenéticos, com teores anômalos de ouro e outros metais, próximos às fumarolas submarinas.

Vieira (1987b) advoga que as zonas de cisalhamento do primeiro evento teriam servido como importantes condutos para a focalização de fluidos hidrotermais - armadilhas estruturais - e, por ser uma rocha bastante reativa, a BIF se comportaria como uma armadilha química para a precipitação do ouro. O ouro teria sido transportado sob a forma de complexo $Au(HS)_2$ (Vieira, 1988). "O principal processo de precipitação do ouro teria sido a sulfetação da magnetita e carbonato de ferro e, de importância subordinada, seria o aumento da fugacidade de oxigênio (fO_2) e diminuição do pH" (Vieira & Simões, 1992). Próximo ao minério é dito ocorrer, segundo aquele autor, um aumento na proporção de carbonatos pobres ou com nenhum ferro.

Godoy (1994), propõe um modelo epigenético para o depósito, sendo que "a mineralização estaria associada a processos de substituição e preenchimento na BIF, num estágio anterior ou inicial ao desenvolvimento da foliação S_n " (segundo evento deformativo). O estudo de inclusões fluidas permitiram-no concluir que o fluido mineralizante pertencia a um sistema complexo de água, metano, nitrogênio, gás carbônico e sais dissolvidos, e que as condições de pressão e temperatura de formação do depósito foram da ordem de 3,5 Kbar e 400°C. A precipitação do ouro teria ocorrido, segundo este autor, devido a mudanças na fO_2 , associada à separação entre as fases líquida e gasosa do fluido homogêneo original.

VI.3 - GÊNESE DO DEPÓSITO COM BASE NOS DADOS DISPONÍVEIS

O ouro no depósito de Raposos ocorre sempre associado a sulfetos na BIF, havendo um pronunciado enriquecimento em ambos - ouro e sulfeto - nas zonas de cisalhamento, cujo *trend* é sub-paralelo ao acamamento da formação ferrífera e, embora toda a seqüência se mostre afetada por tal cisalhamento, a mineralização tem a BIF como sua única hospedeira.

Os corpos de minério são grosseiramente estratiformes, e nos dois maiores corpos da mina - Espírito *West* (EW) e Espírito Santo (ES) - a formação ferrífera possui espessura que varia de 2 a 20m, e a extensão desses dois corpos, juntos, é de cerca de 300m no nível mapeado.

É bastante nítido nas paredes dos realces - áreas de lavra - que as áreas muito sulfetadas estão localizadas nas porções da BIF altamente cisalhadas (ZC do 1º evento), onde o bandamento está totalmente destruído (Fotos 3, 4, 13 e 14). As texturas sugestivas de sulfetação do carbonato de ferro são freqüentemente observadas nas lâminas descritas (Foto 15). Tanto na micro como na meso escala, observa-se níveis de sulfetos dobrados por D_2 , o que nos leva a concluir que, a menos que tais sulfetos não fossem da mesma geração daqueles aos quais o ouro se associa - o

que se considera como pouco provável -, tal fato se apresenta como mais uma evidência de que o processo mineralizante se deu pré- segundo evento.

É aqui verificada, corroborando o que é dito por vários dos autores acima citados, entre outros, a estreita relação entre **deformação, alteração hidrotermal e concentração de ouro**: porções mais deformadas equivalem a porções onde a rocha se encontra mais alterada e, no que diz respeito à BIF, isto reflete em intensa sulfetação, com elevados teores de ouro no minério.

A focalização preferencial de fluidos na BIF é plausível uma vez que, conforme salientado por Casey (1980, *in Groves et al.*, 1995), em seqüências acamadadas compreendendo rochas com contraste de competência, há sistemáticas diferenças no campo de *stress*, dependendo da orientação do acamamento com relação à direção do *paleostress* principal máximo. Ridley (1993, *in Groves et al.*, 1995) mostra que, onde o campo de *stress* é tal que há uma compressão perpendicular ao acamamento - e deste modo, extensão paralela ao mesmo - o **stress médio** será **menor** nas **camadas competentes**, e vice-versa (compressão paralela ao acamamento \Rightarrow menor *stress* nas camadas incompetentes).

Esta variação no campo de *stress* relacionada, por exemplo, à diferença de competência das rochas da seqüência *greenstone*, e a reconhecida tendência à focalização de fluidos em sítios de pressões efetivas relativamente baixas, é aqui considerada, portanto, como uma possibilidade para se explicar o porque da “restrição” da mineralização à formação ferrífera.

Por outro lado, mesmo que não tivesse havido um caminho preferencial para a percolação de fluidos, isto é, uma focalização dos mesmos, em termos químicos, é sabido que a BIF é uma rocha muito mais reativa do que as demais rochas da seqüência.

Tendo em vista os fatos observados na mina, à luz do atual estado de conhecimento sobre a geração de depósitos auríferos em seqüências tipo *greenstone belt* no Brasil e no mundo, simplificada e sintetizada acima, sugere-se que o depósito de ouro de Raposos é de origem epigenética, relacionado às zonas de cisalhamento do 1º evento.

Considera-se, entretanto, que não pode ser descartada a hipótese de que o ouro e parte dos sulfetos tenham sido gerados penecontemporaneamente à formação ferrífera, e posteriormente, concentrados durante o 1º evento.

CAPÍTULO VII

CONCLUSÕES

VII.1 - DE CARÁTER PETROLÓGICO

- Os xistos encaixantes da BIF na mina de Raposos são rochas hidrotermalmente alteradas, alteração esta que ocorreu durante o 1º evento deformativo. Os xistos estudados, seus protólitos e respectivas zonas de alteração, foram assim caracterizados:

Para as metamáficas:

Mbax: basalto toleítico na zona da clorita-albita;

X2 clorítico: idem, na zona da clorita-sericita;

X2 albítico: idem, na zona do carbonato-albita;

X2: idem, zona do carbonato-sericita;

Para as metaultramáficas:

X3 com actinolita: komatiíto peridotítico de composição mais próxima do metamorfismo regional, isto é, com alteração hidrotermal relativamente incipiente;

X3: komatiíto peridotítico na zona do talco- clorita;

X3 sem talco: idem, na zona da clorita-carbonato;

X3 sem talco ou fuchsita xisto, albíticos: idem, na zona do carbonato-albita;

Fx: idem, zona do carbonato-sericita;

- A rocha informalmente denominada Xs e interpretada por Vieira (1991a) como um tufito félsico de composição dacítica/riodacítica, foi identificada neste trabalho, com base no estudo petrográfico e nos dados de ETR, tratar-se realmente de uma rocha de protólito ígneo, tufácea, tendo sido discriminados dois grupos composicionalmente distintos: um grupo “andesítico” e outro grupo “dacítico”.
- A Lapa Seca de Raposos possui uma assinatura geoquímica global de rocha originalmente sedimentar, de origem química, notavelmente semelhante ao queluzito do Distrito de Lafaiete, sendo os conteúdos de ETR de ambas semelhantes aos de calcários.
- Os diagramas de discriminação de ambientes tectônicos para basaltos embora apontem, por vezes, resultados conflitantes, permitem supor para os mesmos, um ambiente de arco vulcânico, como já sugerido anteriormente por Ladeira (1988) e Machado *et al.* (1996a e b).

- Os dados de microsonda revelaram que o suposto enriquecimento em ferro do carbonato à partir do ferro das cloritas, rumo às zonas mais alteradas, não se verifica; há na verdade, um pronunciado aumento de ferro nos carbonatos, porém acompanhado de um aumento, ainda que pouco significativo, de ferro, nas cloritas, com o avançar da alteração.
- A grande quantidade de plagioclásio de composição albítica perfazendo cerca de 30 a 40% nos metabasaltos com alteração hidrotermal incipiente, são aqui interpretadas como fruto de espilitização dos basaltos, no piso oceânico.

VII.2 - SOBRE A ESTRUTURAÇÃO E GÊNESE DO DEPÓSITO

- Comparando-se os eventos deformativos identificados nas rochas estudadas, pertencentes ao Grupo Nova Lima, com os ciclos orogênicos descritos na literatura, tem-se a seguinte correlação:

Eventos Ciclos Orogênicos

D ₁	Jequié (~ 2,7 ba)
D ₂	Transamazônico (2060 - 2035 Ma)
D ₃	Brasiliano (~ 600 Ma)
D ₄	Transamazônico ou Brasiliano (?)

- Todo o pacote de rochas encontra-se intensamente deformado e alterado hidrotermalmente. A alteração hidrotermal está relacionada a zonas de cisalhamento geradas durante o primeiro evento deformacional registrado nas rochas.
- A morfologia geral do depósito corresponde a uma grande dobra inclinada, gerada no 2º evento deformativo, cujos principais corpos de minério (*EW* e Espírito Santo) situam-se no flanco norte - flanco invertido -, em dobras de 2ª ordem. O *plunge* médio das dobras e dos corpos de minério é S85°E/22° (nível 28).
- Os corpos de minério - ocorrem em zonas de cisalhamento sub-paralelas ao acamamento das *BIFs*. O ouro está associado a sulfetos formados quando da alteração hidrotermal dessas rochas. As feições mais marcantes na *BIF* nas zonas mineralizadas são: a completa destruição do bandamento, a intensa sulfetação - com pirrotita sendo a fase sulfetada principal, seguida pela arsenopirita - e um característico crescimento dos cristais de carbonato.
- A alteração hidrotermal e conseqüente mineralização teria ocorrido no Arqueano, tendo os fluidos sido gerados possivelmente pela desidratação da pilha de rochas da seqüência *greenstone*, ao final do evento tectono-metamórfico que afetou estas rochas em condições de T e P da facies xisto-verde, ou no limiar das facies xisto-verde/anfibolito.
- O caráter notadamente restrito da remobilização da mineralização segundo estruturas de D₂ e a ausência de alteração hidrotermal relacionada a este evento, sugerem que o mesmo tenha tido um caráter mais “seco”, sem a presença de grandes volumes de fluido, como foi o caso do evento D₁.
- Com relação à gênese do depósito, portanto, as evidências levantadas sugerem que o depósito seja **epigenético**, relacionado às **zonas de cisalhamento do 1º evento**, de idade **arqueana**.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F. F. M. O Cráton do São Francisco. *Rev. Bras. Geoc.*, São Paulo, v.7, p.349-363, 1977.
- ALVES, J. V. 1995. *Estudo das inclusões fluidas em veios de quartzo da Mina de São Bento, Santa Bárbara, MG*. Belo Horizonte, 1995. 99p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais.
- _____; FUZIKAWA, K.; PIMENTA, M. A. *et al.* Microtermometria e espectroscopia Microraman de inclusões fluidas em quartzo de veio aurífero da Mina de São Bento (Quadrilátero Ferrífero), MG: resultados preliminares. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 37, 1992, São Paulo. *Resumos...* São Paulo: SBG, 1992. v. 2, p. 9-10.
- BABINSKI, M.; CHEMALE Jr., F.; VAN SCHMUS, W. R. Geocronologia Pb/Pb em rochas carbonáticas do Supergrupo Minas, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 3, 1991, São Paulo. *Anais...* s.l., 1991.
- _____;_____;_____, Pb/Pb age of the carbonate rocks of the Minas Supergroup, Quadrilátero Ferrífero, Brazil. *Precambrian Research*, v.72, p. 235-245, 1995.
- BAILES, A. H.; CHRISTIANSEN, E. H.; GALLEY, A. G. *et al.* Trace element geochemistry of volcanic rocks: applications for massive sulphide exploration. In: WYMAN, D. A. (Org./Ed.). *Geological Association of Canada: short course note.*, v. 12. Winnipeg: Manitoba, 1996. 402p.
- BOGATIKOV, G. A.; KOVALENKO, V. I.; TSVETKOV, A. A. *et al.* Magmatic rock series: problems and solutions. *International Geology Review*, 1987. V. H. Winston & Sons. Inc. p. 395-403.
- CALLAGHAM, E. *Outside gold exploration program: private report to St. John del Rey Mining Company Ltd. Mineração Morro Velho S.A. Nova Lima*, 1958. 14p.
- CARNEIRO, M. A. *O complexo metamórfico Bonfim setentrional (Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais): litoestratigrafia e evolução geológica de um segmento de crosta continental do Arqueano*. São Paulo, 1992. 233 p. Tese (Doutoramento) - Universidade de São Paulo.
- CHEMALE Jr., F.; ROSIÈRE, C. A.; ENDO, I. Evolução tectônica do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais: um modelo. *Pesquisas*, v.18, n. 2, p.104-127, 1991.
- COLVINE, A. C.; FYON, J. A.; HEATHER, K. B. *et al.* *Archean Lode Gold Deposits in Ontario*. S.l.: Ontario Geological Survey, 1988. 136 p. (Miscellaneous Paper 139).
- CONDIE, K. C., *Archean Greenstone Belts*. Amsterdam: Elsevier, 1981. 434 p.. (Developments in Precambrian Geology, v. 3).
- CORDANI, U. G.; KAWASHITA, K.; MUELLER, G. *et al.* Interpretação tectônica e petrológica de dados geocronológicos do embasamento SE do Quadrilátero Ferrífero, MG. *Anais...*, *Acad. Brasil. Cienc.*, v. 52, n. 4, p. 785-791, 1980.
- DEER, W. A.; HOWIE, R. A.; ZUSSMAN, J. *An introduction to the rock forming minerals*. London: Longmans, 528 p., 1966.
- DELHAL, J.; DEMAÏFFE, D. U-Pb archean geochronology of the São Francisco Craton (Eastern Brazil) *Rev Bras de Geociências*, v. 15, n. 1, p. 55 – 60, 1985.
- DeWITT, E.; LANDIS, G. P.; ZARTMAN, R. E. *et al.* Isotopic and fluid inclusion data on the age and origin of the São Bento and Morro Velho Gold deposits, Minas Gerais, Brazil. In: CARTER, L. M. H., TOTH, M. I., DAY, W. C. (Ed.) *USGS Research on Mineral Deposits; Part A: Programs and abstracts*. Ninth V. E. McKelvey Forum on Mineral and Energy Resources. Washington, 1994. p. 27-29 (U.S. Geol. Survey Circular, 1103-A).

- De WIT, M. J.; ASHWALL, L. D. Greenstone belt: what are they? *South Africa J. of Geology*, v. 98, p. 505-520, 1995.
- DNPM/CPRM *Texto explicativo do mapa geológico integrado*, escala 1:100.000, Projeto Rio das Velhas. Belo Horizonte, 1996. 122 p.
- DORR, J. V. N. II *Physiographic, stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil*. S.l.: U. S. Geol. Survey, 1969. 110 p. (Prof. Paper, 641-A).
- _____, Iron-formations in South America. *Econ.Geol.* v. 68, n.7, p. 1005-1022, 1973.
- DYMEK, R. F.; KLEIN, C. Chemistry, petrology and origin of banded iron-formation lithologies from the 3800Ma Isua supracrustal belt, West Greenland. *Precambrian Research*, v. 39, p.247-302, 1988.
- EVENSEN, N. M.; HAMILTON, P. J.; ONIONS, R. K. Rare earth abundance in Chondritic Meteorites. *Geochim. Cosmoch. Acta*, v. 42, p. 1199-1212, 1978.
- FRYER, J. B. Rare earth evidence in iron-formation for changing Precambrian oxidation states, *Geochim. Cosmochim. Acta*, v. 41, p. 361-367, 1977.
- FUZIKAWA, K. Inclusões fluidas: métodos usuais de estudo e aplicações. In: GROSSI SAD, J.H., BARCELOS, A. *Contribuições à geologia e à petrologia*. Belo Horizonte: Soc. Bras. de Geologia - Núcleo Minas Gerais e Cia. Bras. de Metalurgia e Mineração, 1985. p. 29-44.
- FYFE, W. S.; KERRICH, R. Gold: natural concentration processes. In: FOSTER, R. P. (Ed.). *Proceedings of Gold'82*. Rotterdam: Zimbabwe, 1982. p. 99-127.
- _____; TURNER, F. J. Reappraisal of the concept of metamorphic facies. *Contr.Mineral.Petrol.*, v. 12, p.354-364, 1966.
- GAIR, J. E. *Geology and ore deposits of the Nova Lima and Rio Acima Quadrangles, Minas Gerais, Brazil*. S. l. United States Geology Survey, 1962. 67 p. (Professional Paper, 341-A).
- GODOY, M. L. S. *Evolução tectono-metamórfica da mineralização aurífera de Raposos (MG)*. Rio Claro, 1994. 123 p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas – UNESP.
- GRATON, L. C.; BJORGE, G. N. *Geology of Morro Velho Mine. Unpubl. Private Report. St. John del Rey Mining Company. Mineração Morro Velho*. s.l., 1929. 251 p.
- GROSSI SAD, J. H.; CHIODI FILHO, C.; FONTANA dos SANTOS, J. Geoquímica e origem da formação ferrífera do Grupo Guanhões, Distrito de Guanhões, Minas Gerais, Brasil. In: CONGR. BRAS. GEOL., 36, 1990, Natal. *Anais...* Natal: SBG. 1990. v. 3, p. 1241-1253.
- GROVES, D. I.; FOSTER, R. P. Archean lode gold deposits. In: FOSTER, R. P. (Ed.). *Gold metallogeny and exploration*. New York: Chapman & Hall, 1993. p. 63-103.
- _____; PHILLIPS, G. N. The genesis and tectonic control on Archean gold deposits of the Western Australian Shield – a metamorphic replacement model: *Ore Geology Reviews*. v. 2, p. 287-322, 1987.
- _____; RIDLEY, J. R.; BLOEM, E. M. J. *et al.* Lode-gold deposits of the Yilgarn block: products of Late Archean crustal-scale overpressured hydrothermal systems. In: COWARD, M. P., RIES, A. C. (Ed.) *Early Precambrian Processes*. London, UK., 1995. p. 155-172. (Geological Society Special Publication, 95).
- GUHA, J.; LU, H.-Z.; DUBÉ, B. *et al.* Fluid characteristics of vein and altered wall rock in archean mesothermal gold deposits. *Econ. Geol.*, v. 86, n. 3, p. 667-684, 1991.

- GUILBERT, J. M.; PARK JR., C. F. *The Geology of Ore Deposits*. New York: W.H. Freeman & Co., 1986. 985p.
- GUIMARÃES, D. *Contribuição ao estudo do polimetamorfismo da Série Minas*. Rio De Janeiro: Departamento Nacional Produção Mineral. Divisão do Fomento Produção Mineral, 1966. 54 p. (Avulso, 90).
- _____, Arqueogênese do ouro na região central de Minas Gerais. DNPM/DFPM. Bol. 139, 1970. 51p.
- HASKIN, L. A.; HASKIN, F. A.; FREY, F. A. Relative and absolute terrestrial abundance of the rare earths. In: ORIGIN and Distribution of the elements. New York: Pergamon Press, 1968. p. 889-912.
- HERRINGTON, R. J.; EVANS, D. M.; BUCHANAN, D. L. Metallogenic aspects of greenstone belts. In: De WIT, M. J.; ASHWALL, L. D. (ed.) *Greenstone Belts*. Oxford Univ. Press, Oxford, 1997. Cap. 2.5, p. 176-219.
- HERZ, N. *Gneissic and igneous rocks of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil*. Washington: United States Geological Survey, 1970. 58 p. (Professional Paper, 641 B).
- _____, *Metamorphic rocks of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil*. Washington: United States Geological Survey, 1978. 81 p. (Professional Paper, 641 C).
- HOBBS, B. E.; MEANS, W. D.; WILLIAMS, P. F. *An Outline of Structural Geology*. New York: J. Wiley, 1976. 571 p.
- HOEFS, J.; MUELLER, G.; SCHUSTER, A. K. Polymetamorphic relations in iron ores from the Iron Quadrangle Brazil: the correlation of oxygen isotope variations with deformation history. *Contr. Mineral. Petrol.*, v. 79, p. 241-251, 1982.
- JAMES, H. L. Sedimentary facies of iron-formations. *Econ. Geol.*, v.49, n. 3, p. 235-93, 1954.
- JENSEN, L. S. A new cation plot for classifying subalkalic volcanic rocks. Canada Ministry of Natural Resources. Ontario Division of Mines, 1976. 22 p. (Miscellaneous Paper, 66).
- JUNQUEIRA, P. A. *A alteração hidrotermal nas .encaixantes da formação ferrífera bandada na mina de ouro de Raposos, Grupo Nova Lima*. Belo Horizonte: s.e., 1992. 34 p. (Seminário do Curso de Pós-graduação em Geologia e Recursos Minerais – UFMG), 1992. Inédito.
- _____; LADEIRA, E. A. *Geologia do Nível 2800 da Mina de Ouro de Raposos, entre os Corpos Espírito West e Nº. 11*. Belo Horizonte, 1990. 75 p. (Relatório interno ao CNPq. Processos 820812/97 e 400524/88 e à Mineração Morro Velho S.A.)
- KERRICH, R. Geochemistry of gold deposits in the Abitibi greenstone belt. Canadian Institute of Mining and Metallurgy. Special Volume 27, 1983. 75 p.
- KISHIDA, A. Hydrothermal alteration, zoning and gold precipitation at the Kerr-Addison Mine, Ontario, Canada, 1984. 231 p. Tese (Doutoramento) – Univ. of Western Ontario, London, Canada.
- LADEIRA, E. A. Metallogenesis of Gold at the Morro Velho Mine and in Nova Lima District, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. Ontario, 1980. 272 p. Thesis (Doutoramento) - University of Western Ontario. (Unpublished).
- _____, Metalogênese do Ouro na Mina de Morro Velho e no Distrito de Nova Lima, Minas Gerais, Brasil. In: GROSSI SAD, J. H., Barcelos, A. *Contribuições à Geologia e à Petrologia*. Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Geologia. Núcleo de Minas Gerais e Cia. Brasileira de Metalurgia e Mineração, 1985. p. 95-151.

- _____, Metalogenia dos depósitos de ouro do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. In: SCHOBENHAUS, C., COELHO, C. E. S. *Principais Depósitos Mineraiis do Brasil, Vol.3: Metais Básicos não Ferrosos, Ouro e Alumínio*. Brasília: Departamento Nacional da Produção Mineral, 1988. p. 301-375.
- _____, Genesis of gold in Quadrilátero Ferrífero: A remarkable case of permanency, recycling and inheritance - a tribute to Djalma Guimarães, Pierre Routhier and Hans Ramberg. In: LADEIRA, E.A. (Ed.). *Proceedings of Brazil Gold' 91: an International symposium on the geology of gold, Belo Horizonte, 1991*. Rotterdam: A. T. Balkema, 1991. p. 11-30.
- _____; COSTA, J. L. G.; JUNQUEIRA, P. A. *Geological roadlog from Nova Lima road to Raposos, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil*. s.l., IUGS-UNESCO Modeling Course, Brazil, 1992. p. 25-36.
- _____; LOBATO, L. M.; GROSSI SAD, J. H. *Investigação geoquímica incluindo dados de elementos de terras raras da formação ferrífera e de suas encaixantes arqueanas da Mina de Raposos, Nível 2400, Distrito de Nova Lima, Minas Gerais, Brasil*. s.l., 1990. 80 p. (Final Report to CNPq. Processo 40.0524/88.0).
- _____; LOBATO, L. M.; GROSSI SAD, J. H. *et al.* Petrology and geochemistry of wall rocks, and of BIF-host rock to gold mineralization at level 2400' of Raposos Mine, Minas Gerais, Brazil. In: LADEIRA, E. A. (ed.). *Proceedings of Brazil Gold '91: an international Symposium on the Geology of Gold. Belo Horizonte. May, 1991*. Rotterdam: A.T. Balkema, 1991, p. 437-445.
- _____; VIVEIROS, J. F. M. de. *Hipótese sobre a Estruturação do Quadrilátero Ferrífero com base nos dados disponíveis*. Belo Horizonte, 1984. 28 p. (Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia - Núcleo Minas Gerais, 4).
- MACHADO, N.; CARNEIRO, M. A. U-Pb evidence of late Archean tectono-thermal activity in the southern São Francisco shield, Brazil. *Canadian Journal of Earth Sciences*, v. 29, p. 2341-2346, 1992.
- _____; NOCE, C. M.; OLIVEIRA, O. A B. *et al.* Evolução geológica do Quadrilátero Ferrífero no Arqueano e Proterozóico Inferior com base em Geocronologia U/Pb. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA - NÚCLEO MINAS GERAIS, 5, SIMPÓSIO DE GEOLOGIA NÚCLEO – BRASÍLIA, 1, 1989, Belo Horizonte. *Anais... de Resumos Expandidos*. Belo Horizonte, 1989a. p. 1-5.
- _____; SCHRANK, A.; de ABREU *et al.* Resultados preliminares da Geocronologia U/Pb na serra do Espinhaço Meridional. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA - NÚCLEO MINAS GERAIS, 5, SIMPÓSIO DE GEOLOGIA NÚCLEO – BRASÍLIA, 1, 1989, Bol. 10. *Anais...Belo Horizonte*, 1989b. p. 171-174..
- _____; _____; NOCE, C. M. *et al.* Ages of detrital zircon from Archean-Paleoproterozoic sequences: implications for greenstone belt setting and evolution of a transamazonian foreland basin in Quadrilátero Ferrífero, southeast Brazil. *Earth and Planetary Science Letters*, 141, p. 259-276, 1996.
- MARSHAK, S.; ALKMIM, F. F. Proterozoic contraction/extension tectonics of the southern São Francisco region, Minas Gerais, Brazil. *Tectonics*, v. 8, n. 3, p. 555-571, 1989.
- _____; _____; JORDT-EVANGELISTA, H. Proterozoic crustal extension and the generation of dome-and- keel structure in an Archean granite-greenstone terrane. *Nature*, v. 357, p. 491-493, 1992.
- MATHESON, A. F. The St. John del Rey Mining Company Ltd, Minas Gerais, Brazil. *Canadian Min. Metall. Bull.*, v. 49, n. 525, p. 37-43, 1956.
- MAYNARD, J. B. Iron: syngenetic deposition controlled by the evolving Ocean-Atmosphere System. In: FORCE, E. R., EIDEL, J. J., MAYNARD, J. B. (Ed.) *Reviews in economic geology, v. 5 - Sedimentary and diagenetic mineral deposits: a basin analysis approach to exploration*. s. l.: s. n., 1991. p. 141-146.

- MINPET 2.02 *Software Minpet for Windows version 2.02, reference manual*. Quebec, 1995. 263 p.
- MIRANDA BARBOSA, A. L. *Contribuições recentes à geologia do Quadrilátero Ferrífero*. Belo Horizonte: Inst. Geociências – UFMG, 1985. 26 p. (Conferência proferida na SBG).
- NOCE, C. M. *Geocronologia dos eventos magmáticos, sedimentares e metamórficos na região do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais*. São Paulo, 1995. 128 p. Tese (Doutoramento) - Instituto de Geociências - Universidade de São Paulo.
- _____; PINHEIRO, S. O.; LADEIRA, E. A. Ocorrência de metakomatiítos com textura "spinifex" no Grupo Nova Lima, oeste do Quadrilátero Ferrífero. In CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36, 1990. *Bol. Resumos*. s. l., s. n., 1990. p. 215.
- OLIVEIRA, G. A. I.; CLEMENTE, P. C.; VIAL, D. S. Excursão à Mina de Ouro de Morro Velho. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS, 2, 1983. *Anais do...* s.l., 1983. v. 3, p. 497-505.
- PADILHA, A. V. Formação Córrego dos Boiadeiros - uma sequência komatiítica na base do Grupo Nova Lima, Supergrupo Rio das Velhas - Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. In: CONGRESSO BRAS. GEOL., 33, 1984, Rio de Janeiro, *Anais...* s. l., s. n. , 1984. V. 6, p. 2668-2679.
- PEREIRA, L. M. M. *Estudo da Alteração Hidrotermal do Corpo SE-2, Nível 5, da Mina de Ouro de Juca Vieira, Quadrilátero Ferrífero, MG*. Belo Horizonte, 1996. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, UFMG.
- PEREIRA, S. L. M. *Geologia do Depósito Aurífero de São Bento, Santa Bárbara, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais*. Belo Horizonte, 1995. 158 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, UFMG.
- PHILLIPS, G. N. Metamorphic fluids and gold. *Mineralogical Magazine*, v. 57, p. 365-374, 1993.
- _____; GROVES, D. J. The nature of Archaean gold - bearing fluids as deduced from gold deposits of Western Australia. *Journal of the Geological Society of Australia*, v. 30, p. 25-39, 1983.
- _____; POWELL, R. Gold-only provinces and their common features. EGRU Contribution 43. Townsville, 1992. 27 p.
- POWELL, R.; WILL, G. N.; PHILLIPS, T. M. Metamorphism in Archaean greenstone belts: calculated fluid compositions and implications for gold mineralization. *J. metamorphic geol.*, v. 9, p. 141-150, 1991.
- RAMSAY, J. G. *Folding and fracturing of rocks*. New York: McGraw - Hill Book Co., 1967. 568 p.
- RAPOSO, F. O. Formações ferríferas e metassedimentos químicos de áreas selecionadas do Quadrilátero Ferrífero e seu papel como possíveis fontes dos conglomerados da área. Belo Horizonte, 1996. 136 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, UFMG.
- _____; HUBER, J. *The techniques of Modern structural geology*. S.l.: Academic Press, 1983. 1308 p.
- RENGER, F. E.; NOCE, C. M.; ROMANO, A. W. *et al.* Evolução sedimentar do Supergrupo Minas: 500Ma. de registro geológico no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. *Geonomos*. V. 2, n. 1, p. 1-11, 1994.
- ROLLINSON, H. *Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation*. Singapura: Longman Singapore Publishers, 1993. 352 p.
- ROMANO, A. W. *Evolution tectonique de la region nord-ouest du Quadrilátere Ferrífere, Minas Gerais, Brésil*. Nancy, 1990. 259 p., 10 annexes These (Docteur) – Université de Nancy.

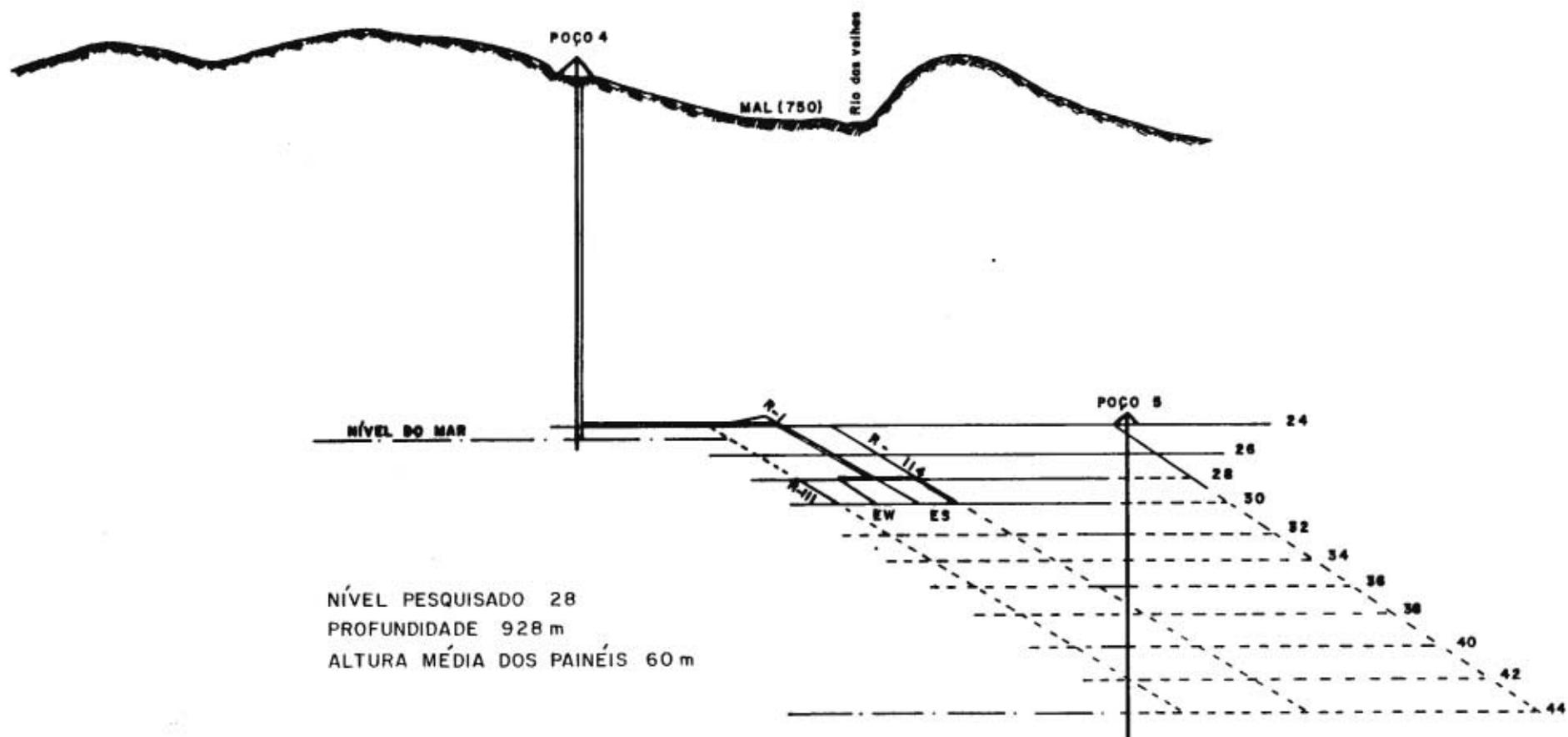
- SCARPELLI, W. Aspects of gold mineralization in the Iron Quadrangle, Brazil. In: LADEIRA, E.A.(Ed.). *Proceedings of Brazil Gold '91: An International Symposium on the Geology of Gold. Belo Horizonte. May, 1991.* Rotterdam: A.T.Balkema, 1991. p. 151- 157.
- SCHRANK, A.; MACHADO, N. Idades U-Pb em monazitas e zircões das minas de Morro Velho e Passagem de Mariana – Quadrilátero Ferrífero (MG). In: CONGRESSO BRAS. GEOL., 39, 1996. Salvador. *Bol. Resumos*, 1996a. p. 470-472.
- _____; _____, Idades U-Pb em monazitas e zircões do distrito aurífero de Caeté, da Mina de Cuiabá e do depósito de Carrapato – Quadrilátero Ferrífero (MG). In: CONGRESSO BRAS. GEOL., 39, 1996. Salvador. *Bol. Resumos*, 1996b. p. 473-475.
- SILVA, A. M. Geologia e petroquímica dos enxames de diques máficos do Quadrilátero Ferrífero e Espinhaço Meridional, MG. Brasília, 1992. 163p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, UnB.
- SIMÕES, E. J. M. *Supervisão geológica da Mina de Raposos; relatórios mensais de progresso internos da Mineração Morro Velho S.A. 1986, 1987, 1988.* S. n. t.
- SKINNER, B. J. The many origins of hydrothermal mineral deposits. In: BARNES, H. L. (ed.). *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*, 1979. John Wiley & Sons. p. 1-21.
- TEIXEIRA, W. *A evolução geotectônica da porção meridional do Craton São Francisco, com base em interpretações geocronológicas.* São Paulo., 1985. 207 p., Tese (Doutoramento) - Instituto de Geociências, USP.
- _____; JORDT-EVANGELISTA, H.; KAWASHITA, K. Complexo Granulítico de Acaiaca, M.G.: Idade , petrogênese e implicações tectônicas. In: SIMPÓSIO DE GEOL. NÚCLEO DE MINAS GERAIS, 4, 1987, Belo Horizonte. *Anais...* Belo Horizonte, 1987. Bol. 7, p. 58-71.
- _____; KAWASHITA, K.; PECCHIO, M. *et al.* Geocronologia K-Ar do Enxame de Diques Básicos da Parte Meridional do Craton do São Francisco e Implicações no Contexto Geotectônico. In Congr. Bras. Geologia, 35, 1988, Belém. v. 6, p. 2870-2886.
- THORPE, R. I.; CUMMINGS, G. L.; KRSTIC, D. Lead isotope evidence regarding the age of gold deposits in the Nova Lima District, Minas Gerais. *Rev. Bras. Geoc.*, v.14, , n.3, p. 147-152, 1984.
- TOLBERT, G. E. Geology of the Raposos Gold Mine, Minas Gerais, Brazil. *Econ. Geol.*, v.49, p. 775-798, 1964.
- VIAL, D. S. Geologia da Mina de Ouro de Raposos. In: ANAIS do Congr. Bras. Geol., 3, 1980. S. n. t. p. 1851-1866.
- VIEIRA, F. W. R. Gênese e relação entre zonas de alteração e processos epigenéticos de mineralização. Relatório interno da Mineração Morro Velho. Nova Lima, Julho/1987. 21 p.
- _____, Novo contexto geológico para a mina de Raposos. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, 4, 1987. *Anais do...s.l.:* Sociedade Brasileira de Geologia - Núcleo de Minas Gerais, s. d. Bol. 7, p. 343-357. 1987a.
- _____, Gênese das mineralizações auríferas da mina de Raposos. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, 4, 1987. *Anais do... s.l.:* Soc. Brasil. Geol. - Núcleo de Minas Gerais, s.d. Bol. 7, p. 358-367. 1987b.
- _____, Processos epigenéticos de formação dos depósitos auríferos e zonas de alteração hidrotermal do Grupo Nova Lima, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. In: CONGR. BRAS. GEOL., 35, 1988. *Anais...s. n. t. v. 1*, p. 76-87.

- _____, Petrologia e litogeoquímica do setor W do *greenstone belt* Rio das Velhas, MG. In: AMSA's First Internal Geology Symposium, 1991. Nova Lima: Mineração Morro Velho S.A. 24p. 1991a.
- _____, Gênese das mineralizações auríferas do setor W do *greenstone belt* Rio das Velhas, MG. In: AMSA's First Internal Geology Symposium, 1991. Nova Lima: Mineração Morro Velho S.A. 18p. 1991b.
- _____, Textures and processes of hydrothermal alteration and mineralization in the Nova Lima Group, Minas Gerais, Brazil. In: LADEIRA, E.A.(Ed.). *Proceedings of Brazil Gold '91: An International Symposium on the Geology of Gold. Belo Horizonte, 1991*. Rotterdam: A.T.Balkema, 1991. p. 319-325.
- _____; FONSECA, J. T. F.; CORBANI FILHO, M. *et al.* *Excursion to the Cuiabá Gold Mine, Workshop on gold related to greenstone belt and base metals associated with volcanogenic rocks*. Contagem: Field Guide Books, 1986. p. 72-76.
- _____; OLIVEIRA, G. A. I. Geologia do distrito aurífero de Nova Lima, Minas Gerais. In: SCHOBENHAUS, C., COELHO, C. E. S. (Ed.). *Principais Depósitos Minerais do Brasil, Vol.3: Metais Básicos não Ferrosos, Ouro e Alumínio*. Departamento Nacional da Produção Mineral, 1988. p. 377-391.
- _____; SIMÕES, E. J. M. *Geology of the Nova Lima area and excursion to the Raposos Mine*.s.l. IUGS-UNESCO Modeling Course, Brazil, 1992. 24p.
- WANG, P.; GLOVER, L. III. A tectonics test of the most commonly used geochemical discriminant diagrams and patterns. *Earth - Sci. Rev.*, n. 33, p. 111-31, 1992.
- WINKLER, H. G. F. *Petrogênese das rochas metamórficas*. Porto Alegre: Edgard Blucher, 1977. 275 p.
- WYMAN, D. A.; KERRICH, R.; FRYER, B. J. Gold mineralization overprinting iron formation at the Agnico-Eagle deposit, Quebec, Canada: mineralogical, microstructural and geochemical evidence. In: MACDONALD, A. J. (ed.). *Proceedings of Gold '86: An international Symposium on the Geology of Gold. Willowdale, 1986*. Konsult Int Inc, p. 108-123.

ANEXO 1

SEÇÃO ESQUEMÁTICA DA MINA DE RAPOSOS

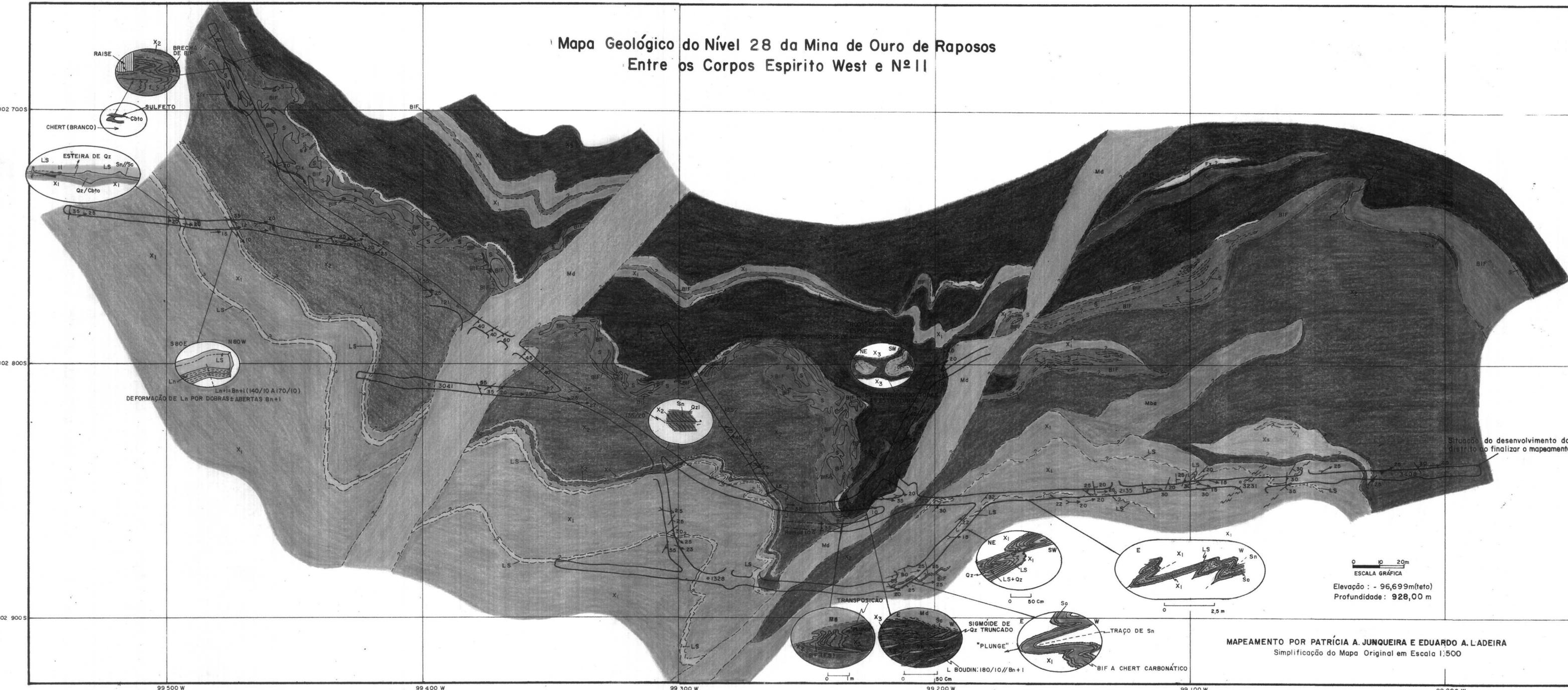
SEÇÃO ESQUEMÁTICA DA MINA DE RAPOSOS



ANEXO 2

**MAPAS GEOLÓGICO E TOPOGRÁFICO DO NÍVEL 28 DA MINA DE RAPOSOS
E
QUADRO DE CORRESPONDÊNCIA ENTRE AS NUMERAÇÕES DAS AMOSTRAS**

Mapa Geológico do Nível 28 da Mina de Ouro de Raposos Entre os Corpos Espirito West e Nº 11



CONVENÇÕES

CONVENÇÕES LITOLÓGICAS (SEM CONOTAÇÃO ESTRATIGRÁFICA)

- Precambriano Indiviso**
- Qz1: Quartzo leitoso
 - Md: Metadiabásio: constituído por epidoto, actinolita, albita, clorita e subordinadamente ilmenita, quartzo e calcita
 - X3: talco-clorita-dolomita ferroana-quartzo xisto, com intercalações (não individualizadas no mapeamento) de: X3 c/actinolita: clorita-actinolita-talco-calcita-xisto; X3 s/talco: clorita-dolomita-ferroana-talco-quartzo-xisto; X3 s/talco, albitico: ankerita-albita-clorita-quartzo-xisto. Bix: clorita-dolomita-ferroana-albita-biotita-quartzo-xisto
 - X2: carbonato-sericita-quartzo xisto, com intercalações (não individualizada no mapa) de: X2 clorítico: sericita-clorita-carbonato-quartzo-xisto; X2 albitico: carbonato-albita-sericita-quartzo-xisto. Todos com rutilo/titanita e turmalina.
 - X1: Quartzo-carbonato-sericita-xisto com matéria carbonosa
 - BIF: Formação ferrífera bandada constituída por: ankerita ferroana, siderita magnésiana, sericita, albita, sulfetos e, eventualmente, clorita.
- Arqueano**
- S: Corpos de minério sulfetado aurífero
 - Mba: Epidoto-albita-actinolita-clorita-carbonato xisto, intercalação (não mapeadas), de: Mba clorita-albita-carbonato-quartzo-xisto.
 - LS: Lapa seca: rocha carbonática (calcita) com quartzo e matéria carbonosa e eventualmente com sericita e albita.
 - Xs: Albita-carbonato-quartzo-sericita-xisto.
 - Fx: Ankerita ferroana fucsita-quartzo-albita-xisto, com intercalações (não individualizadas no mapa) de: Fx albitico-ankerita-albita-quartzo-xisto com fucsita.
 - Clz: Ankerita ferroana/siderita magnésiana-clorita-quartzo-xisto com turmalina

SÍMBOLOS ESTRUTURAIS

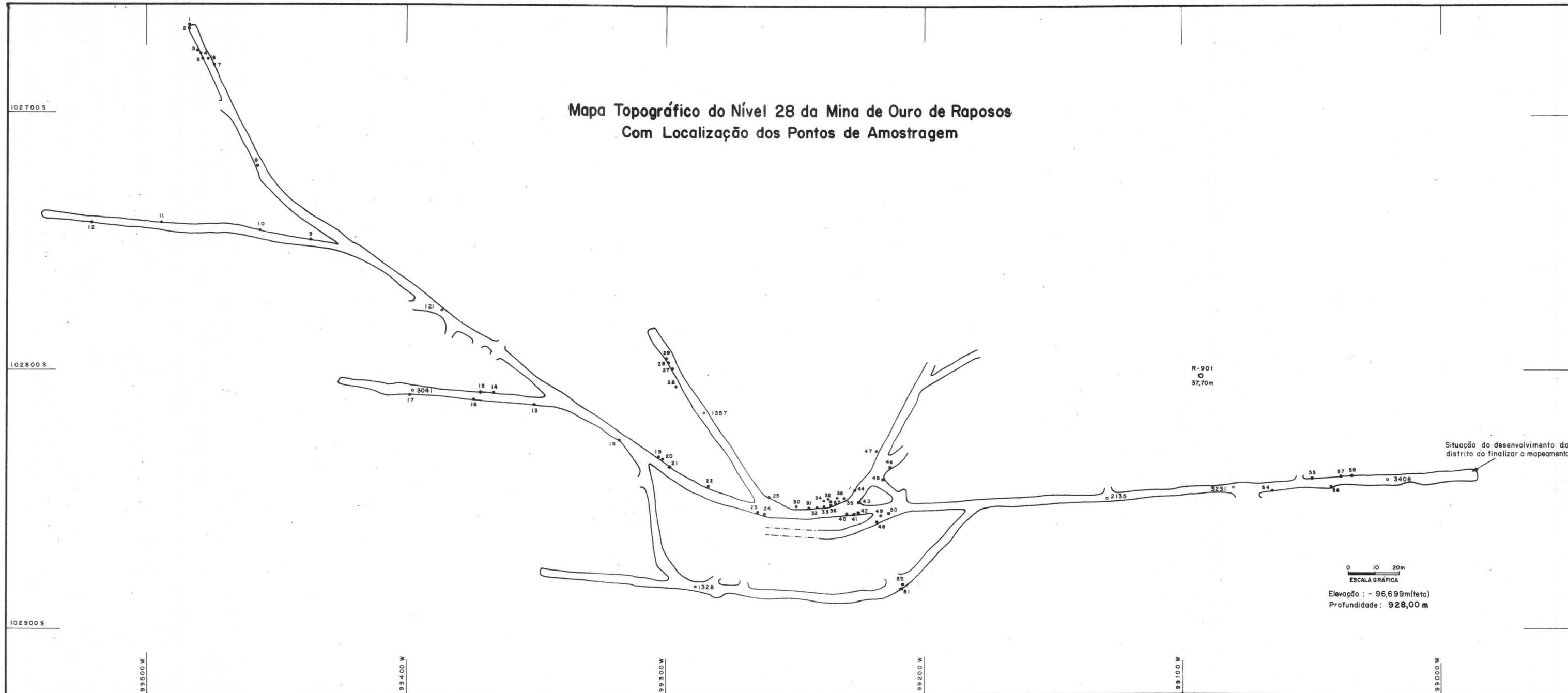
- a) mapeado, inferido, ou conjectural; b) projetado do subnível
- a) <20 b) <85 c) <40
- Direção e mergulho: a) acamamento S₀; b) xistosidade S₁; c) xistosidade S₂
- Zona de cisalhamento com direção e mergulho
- a) <20 b) <25
- Rumo e caimento de lineação: a) L₂ (orientação mineral); b) estiramento
- a) <20 b) <23
- Linhas de charneiras: a) B₁; b) B₂

SÍMBOLOS DE MINERAÇÃO

- Contorno da galeria ("Off-set")
- 3408
- "Plug" topográfico

"PLUNGE" UTILIZADO PARA PROJEÇÃO: S84°E / 22°

**Mapa Topográfico do Nível 28 da Mina de Ouro de Raposos
Com Localização dos Pontos de Amostragem**



CONVENÇÕES

PONTOS DE AMOSTRAGEM

- 13
Com petrografia e geoquímica
- 42
Com petrografia
- R-901
37,70m
Com petrografia e geoquímica em furo de sonda

SIMBOLOS DE MINERAÇÃO

- ══
Contorno de galeria ("Off-set")
- 3231
"Plug" topográfico

Correspondência entre a numeração de campo das amostras e o número das mesmas no mapa topográfico (Mapa 02).

Nº de Campo	Nº no Mapa	Nº de Campo	Nº no Mapa
GP17 - S1	1	GP4 - S18	30
GP16 - S1	2	GP3 - S18	31
EW3 - S1	3	GP2 - S18	32
GP15 - S1	4	2,3 - 5C	33
EW2 - S1	5	GP1 - S18	34
EW4 - S1	6	GP5 - S18	35
EW6 - S1	7	2,3 - 4B	36
EW1 - S3	8	2,3 - 7	37
EW - S5-A	9	2,3 - 5	38
EW3 - S5	10	GP6 - S18	39
EW2 - S5	11	2,3 - 6	40
EW4 - S5	12	2,3 - 12	41
ES1 - S10	13	2,3 - 9	42
ES2 - S10	14	2,3 - 11	43
ES3 - S10	15	GP8 - S17	44
ES5 - S10	16	2,3 - 1	45
ES4 - S10	17	2,3 - 2	46
ES1 - S12	18	GP7 - S17	47
ES2 - S13	19	R - 104	48
ES3 - S13	20	2,3 - 10A	49
GP11 - S13	21	2,3 - 10B	50
GP12 - S26	22	GP10 - S19	51
ES - 1	23	GP9 - S19	52
ES - 3	24	GP - R901	53
ES - 4	25	3 - S14	54
GP13 - S11	26	4 - S14	55
ES1 - S11	27	2 - S14	56
ES2 - S11	28	5 - S14	57
GP14 - S11	29	6 - S14	58

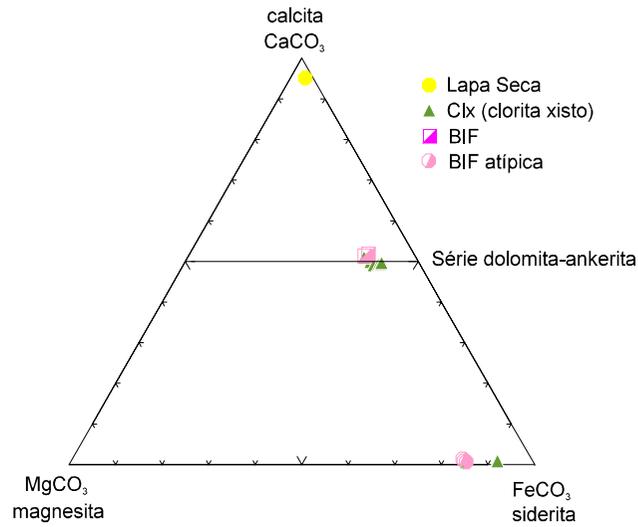
ANEXO 3

COMPOSIÇÃO DE CARBONATOS E CLORITAS

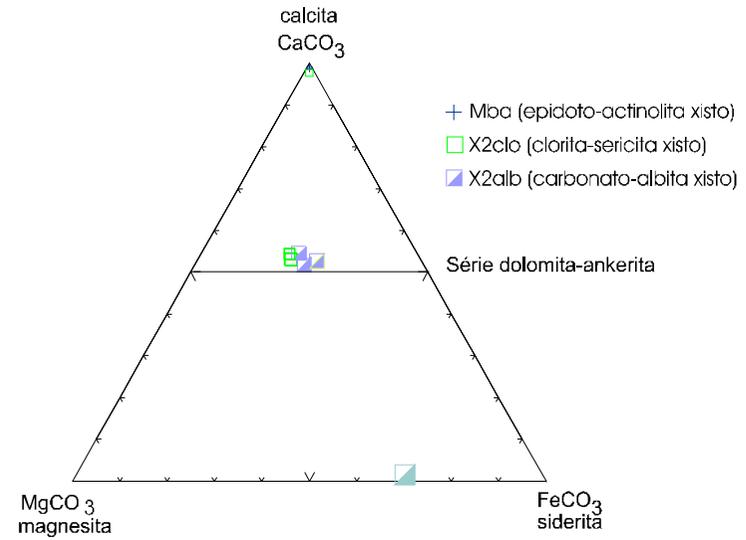
E

TABELAS DE QUÍMICA MINERAL

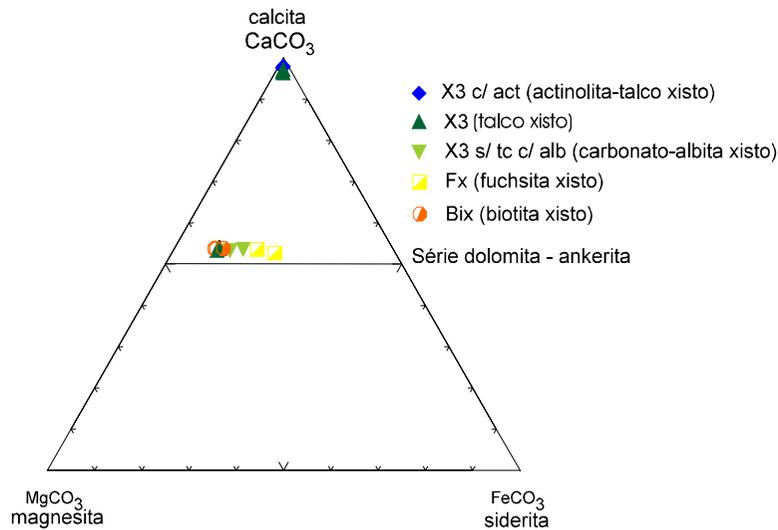
A)



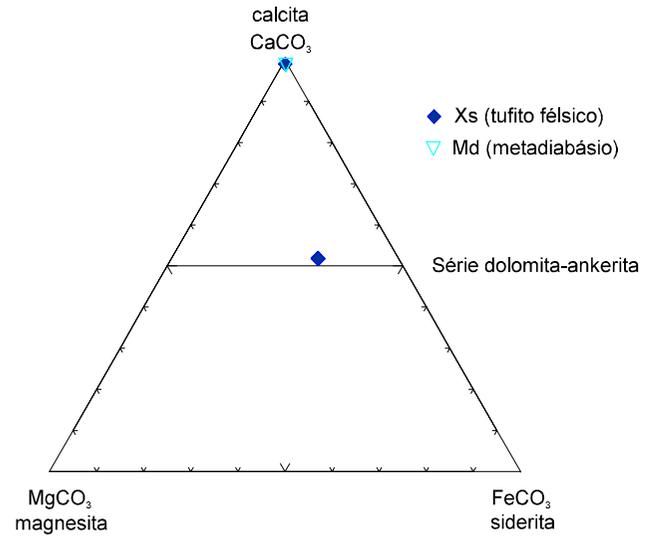
B)



C)

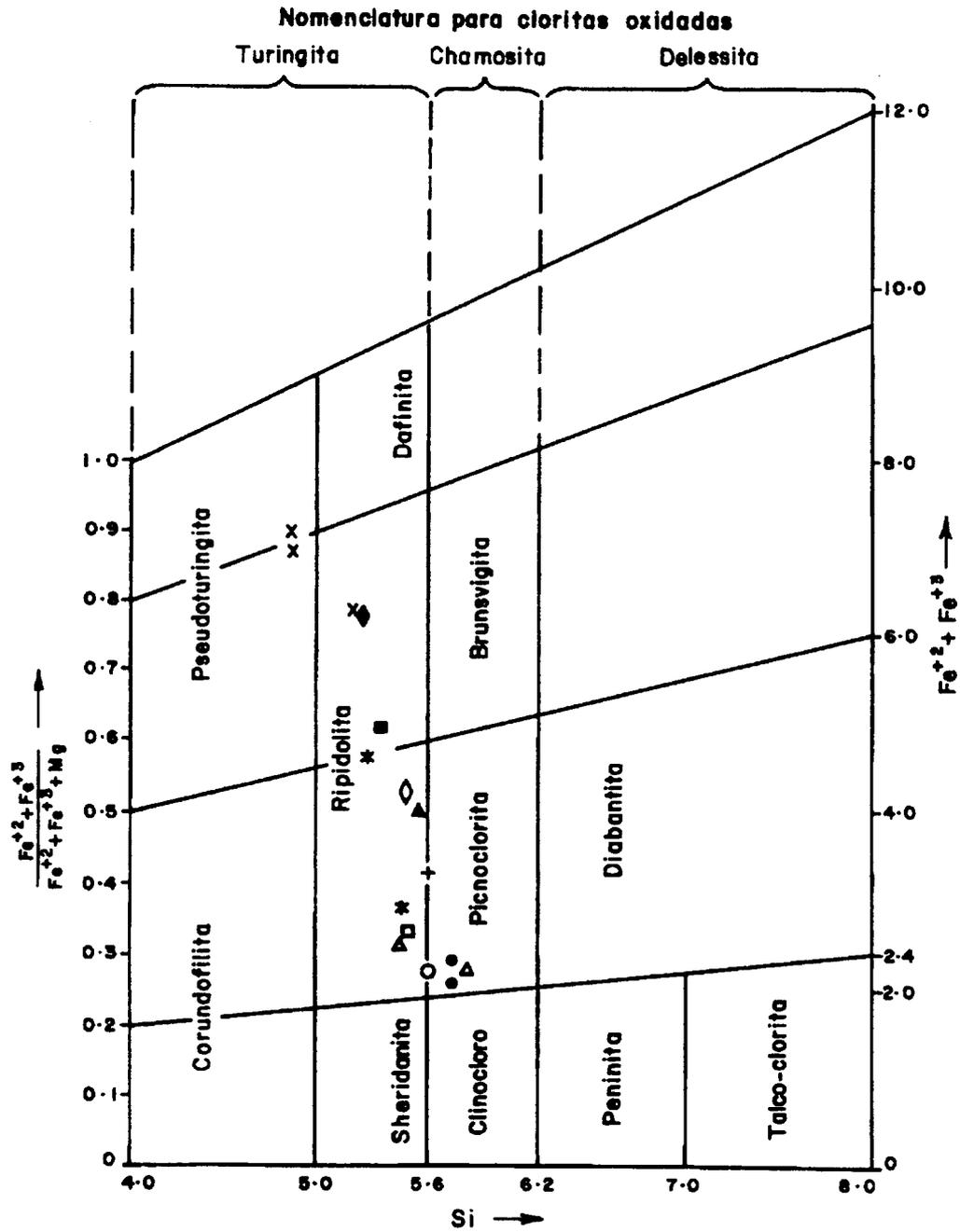


D)



Anexo 3.1 - Representação da composição dos carbonatos, para os diversos litótipos da mina de Raposos, com base nas análises semiquantitativas em microsonda eletrônica.

Anexo 3.2 - Diagrama de classificação de cloritas (Deer *et al.*, 1966).



- + epidoto - albita - actinolita - clorita - quartzo xisto (Mba)
- * sericita - clorita - carbonato - quartzo xisto (X2 clo)
- x clorita - quartzo - carbonato xisto (Clx)
- clorita - actinolita - talco - carbonato xisto (X3 c/act)
- talco - clorita - carbonato xisto (X3)
- carbonato - albita - clorita - quartzo xisto (X3 s/tc, albitico)
- carbonato - fuchcita - quartzo xisto c/clorita (Fx)
- ▲ albita - clorita - carbonato - biotita - quartzo xisto (Bix)
- ▲ albita - carbonato - quartzo - sericita - clorita - epidoto xisto (Xs c/epidoto)
- ◇ dique (Md): epidoto - actinolita - albita - clorita xisto
- ◆ Bif atípica: carbonato - quartzo clorita - sulfeto

Anexo 3.3 - Fórmula estrutural das cloritas para os xistos encaixantes da BIF de Raposos, obtida da média das análises em grãos de diferentes lâminas delgadas, via microsonda eletrônica, onde pode ser visto que o postulado empobrecimento em Fe das cloritas, rumo às zonas mais alteradas, não se verifica para as amostras ora analisadas. Para as máficas há uma ligeira diminuição no número de cátions de Fe, sendo que, para as ultramáficas, ao contrário, há um forte enriquecimento dos mesmos, com o avanço da alteração.

TIPO DE ROCHA	NOME SIMPLIFICADO	ZONA DE ALTERAÇÃO	FÓRMULA ESTRUTURAL	Nº DA LÂMINA
Metamáficas	epidoto-anfibólio xisto (Mba)	assembléia metamórfica	$(Mg_{5.72}, Fe_{3.62}, Al_{2.48})[(Si_{5.58}, Al_{2.42})O_{20}](OH)_{16}$	GP - R901
	clorita-moscovita xisto (X2 clo)	clorita-moscovita	$(Mg_{6.1}, Fe_{3.18}, Al_{2.58})[(Si_{5.5}, Al_{2.5})O_{20}](OH)_{16}$	ES1-S10
Metaultramáficas	anfibólio-talco xisto (X3 c/ actinolita)	assembléia metamórfica	$(Mg_{7.15}, Fe_{2.5}, Al_{2.18}, Cr_{0.14})[(Si_{5.6}, Al_{2.4})O_{20}](OH)_{16}$	2,3 - 11
	talco xisto (X3)	talco-clorita	$(Mg_{6.97}, Fe_{2.52}, Al_{2.19}, Cr_{0.2})[(Si_{5.71}, Al_{2.29})O_{20}](OH)_{16}$	2,3 - 6
	talco xisto (X3)	talco-clorito	$(Mg_{7.28}, Fe_{2.29}, Al_{2.22}, Cr_{0.14})[(Si_{5.72}, Al_{2.28})O_{20}](OH)_{16}$	GP 14 - S11
	carbonato-albita xisto (X3 s/ talco)	carbonato-albita	$(Mg_{6.61}, Fe_{2.94}, Al_{2.15}, Cr_{0.27})[(Si_{5.53}, Al_{2.47})O_{20}](OH)_{16}$	2,3 - 4B
	carbonato-fuchsita xisto (Fx)	carbonato-moscovita	$(Fe_{5.24}, Mg_{4.11}, Al_{2.54}, Cr_{0.07})[(Si_{5.33}, Al_{2.67})O_{20}](OH)_{16}$	GP5 - S18

Nota: () termo utilizado pelos geólogos da mina.

* a nomenclatura destas cloritas e daquelas dos demais litótipos encontra-se no anexo 3.2.

Anexo 3.4 - Análises semiquantitativas de carbonatos da formação ferrífera de Raposos, obtidas em microsonda eletrônica.

Amostra	GP2-S18	GP2-S18	GP9-S19	GP9-S19	GP9-S19
N. no mapa	32	32	52	52	52
Mg(CO ₃)	9,33	10,54	14,77	14,69	14,26
Ca(CO ₃)	49,63	4,99	0,90	1,36	0,07
Mn(CO ₃)	3,15	3,20	0,01	0,51	0,55
Fe(CO ₃)	36,73	36,78	84,71	83,15	84,45
Sr(CO ₃)	0,06	0,10	0,00	0	0,09
Ba(CO ₃)	0,01	0	0	0	0
Total	98,92	100,55	100,90	99,71	100,03
Cátions na base de 6 <O>					
Mg	0,23	0,26	0,38	0,38	0,37
Ca	1,04	1,03	0,02	0,00	0,02
Mn	0,06	0,06	0,01	0,00	0,01
Fe	0,67	0,65	1,58	1,58	0,02
Sr	0,00	0,00	0	0	0,00
Ba	0	0	0	0	0
Total	2,00	1,99	1,99	2,00	2,00

GP2-S18: BIF muito sulfetada; carbonato = ankerita ferroana;

GP9-S19 : BIF atípica; carbonato = siderita magnésiana.

Nota: A classificação de carbonatos aqui apresentada baseia-se na proposta de Deer et al. (1966). A representação em forma de diagrama para a classificação dos tipos de carbonatos é apresentada no anexo 3.1.

Anexo 3.4 (continuação) - Idem, para as **metamáficas**.

Amostra	GP-R901	GP-R901	ES1-S10	GP17-S1	GP17-S1	GP17-S1	GP4-S18
N. no mapa	53		13	1			30
Zona de alteração	metamorfismo regional		clo-ser	cbt-alb			cbt-alb
Mg(CO ₃)	0,47	0,38	1,19	24,9	22,86	30,13	24,92
Ca(CO ₃)	97,79*	98,04*	96,86	52,19	50,75	0,49	52,36
Mn(CO ₃)	0,96	0,79	0,76	0,73	0,71	1,27	1,03
Fe(CO ₃)	0,78	0,62	1,18	21,46	24,56	66,98	19,88
Sr(CO ₃)	0	0,11	0,23	0,08	0,08	0	0,28
Ba(CO ₃)	0,01	0,07	0	0	0,3	0	0,33
Total	100	100	100,21	99,37	99,26	98,87	98,8
Cátions na base de 6 <O>							
Mg	0,01	0,01	0,03	0,58	0,54	0,75	0,59
Ca	1,97*	1,96	1,93	1,03	1,01	0,01	1,04
Mn	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
Fe	0,01	0,01	0,02	0,37	0,42	1,21	0,34
Sr	0	0	0	0	0	0	0
Ba	0	0	0	0	0	0	0
Total	2	1,99	2	1,99	1,99	1,99	2

GP - R901 : metabasalto (Mba); carbonato = calcita.

ES1 - S10 : X2 clorítico ; carbonato = calcita.

GP17 - S1 : X2 albítico; carbonato = ankerita ferroana (nas duas primeiras) e siderita magnesiânica.

GP4 - S18 : X2 albítico; carbonato = ankerita.

Nota: * = valor recalculado para 100% - ou para o total de números de cátions - devido à super dosagem do elemento durante a análise - válido para todas as tabelas daqui por diante.

Anexo 3.4 (continuação) - Idem, para as **metaultramáficas**.

Amostra	2,3 - 11	2,3 - 11	2,3 - 11	GP14-S11	GP14 - S11	GP14-S11	GP14-S11	2,3 - 6	2,3 - 6	2,3 - 6	2,3 - 4B	2,3 - 4B	GP5-S18	GP5-S18
N. no mapa	43			29				40			36		35	
Zona de alteração	metam. regional			tc-clo				tc-clo			cbt-alb		cbt-ser	
Mg(CO ₃)	1,44	1,35	1,08	35,77	35,41	37,12	36,45	1,91	1,88	1,54	30,58	33,5	24,98	28,18
Ca(CO ₃)	96,44*	95,42	94,73	52,37	52,46	53,28	51,97	95,81*	95,60*	97,83	51,54	51,43	51,48	52,49
Mn(CO ₃)	0,99	0,88	0,79	1,10	1,18	1,24	1,24	0,78	0,78	0,83	1,07	0,94	1,09	0,60
Fe(CO ₃)	0,98	0,90	0,94	9,37	9,07	8,50	9,05	1,41	1,72	1,29	14,1	11,62	21,31	17,32
Sr(CO ₃)	0,08	0	0,04	0,07	0	0,05	0,06	0	0,03	0,03	0,1	0,04	0	0,15
Ba(CO ₃)	0,08	0	0	0,10	0,08	0,09	0	0,09	0	0,04	0,04	0	0	0,06
Total	100	98,55	97,57	98,77	98,19	100,28	98,77	100	100	101,57	97,43	97,52	98,86	98,80
Cátions na base de 6 <O>														
Mg	0,03	0,03	0,03	0,82	0,81	0,83	0,83	0,04	0,04	0,04	0,72	0,78	0,59	0,66
Ca	1,93	1,93	1,94	1,01	1,02	1,01	1,00	1,91	1,91	1,92	1,02	1,01	1,02	1,03
Mn	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01
Fe	0,02	0,02	0,02	0,16	0,15	0,14	0,15	0,02	0,03	0,02	0,24	0,20	0,37	0,30
Sr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ba	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,99	1,99	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00

2,3 - 11: X3 com actinolita; carbonato = calcita.

GP14 - S11: X3; carbonato = dolomita.

2,3 - 6: X3; carbonato = calcita.

2,3 - 4B : X3 sem talco, com albita; carbonato = ankerita.

GP5 - S18: fuchcita xisto (Fx); carbonato = ankerita ferroana (primeiro) e ankerita.

Anexo 3.4 (continuação) - Idem, para **litótipos diversos**.

Amostra	GP7-S17	GP6-S18	GP6-S18	ES4-S10	ES3-S13	ES3-S13	EW2 - S5	ES3-S10	ES3-S10	2,3 - 10A	2,3 - 10A
N. no mapa	47	39		17	20		11	15		49	
Mg(CO ₃)	36,26	37,02	35,32	0,38	16,82	16,74	1,58	0,40	0,40	26,94	25,58
Ca(CO ₃)	52,13	52,51	53,06	96,61	51,09	50,83	91,22	97,81*	97,73*	52,38	51,99
Mn(CO ₃)	0,52	0,49	0,73	0,87	1,03	0,98	2,18	0,96	1,01	1,05	1,12
Fe(CO ₃)	8,74	8,54	10,23	0,51	30,49	30,55	3,07	0,76	0,75	17,97	19,45
Sr(CO ₃)	0,17	0,05	0,02	0,03	0	0,09	0,19	0,07	0	0,15	0,04
Ba(CO ₃)	0	0,19	0	0	0	0,08	0	0	0	0	0,01
Total	97,83	98,79	99,36	98,39	99,42	99,27	98,24	100	100	98,49	98,19
Cátions na base de 6 <O>											
Mg	0,83	0,84	0,80	0,01	0,41	0,41	0,04	0,01	0,01	0,63	0,61
Ca	1,01	1,00	1,02	1,97	1,04	1,04	1,86	1,96	1,96	1,04	1,04
Mn	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,04	0,02	0,02	0,02	0,02
Fe	0,15	0,14	0,17	0,01	0,54	0,54	0,05	0,01	0,01	0,31	0,34
Sr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ba	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,99	2,00	2,00	2,00

GP7 - S17: biotita xisto (Bix); carbonato = dolomita ferroana.

GP6 - S18: idem.

ES4 - S10: Xs com epidoto; carbonato = calcita.

ES3 - S13: Xs ; carbonato = ankerita ferroana.

EW2 - S5: lapa seca (LS); carbonato = calcita.

ES3 - S10: dique de metadiabásio (Md); carbonato = calcita.

2,3 - 10A: metadiabásio cloritizado; carbonato = ankerita.

Anexo 3.4 (continuação) - Idem, para o **clorita xisto** (Clx).

Amostra	GP15-S1	GP15-S1	GP15-S1	EW2 - S1				
N. no mapa	4			5				
Mg(CO ₃)	10,22	10,86	9,92	8,94	7,50	8,23	8,05	7,40
Ca(CO ₃)	49,58	49,71	48,52	49,14	0,98	48,54	49,58	0,91
Mn(CO ₃)	0,68	0,68	0,84	0,61	0,81	0,56	0,61	0,74
Fe(CO ₃)	39,49	36,85	40,39	41,68	89,75	41,45	42,27	89,95
Sr(CO ₃)	0,07	0,03	0,02	0	0,04	0,03	0	0
Ba(CO ₃)	0	0,04	0,17	0	0,04	0	0,16	0,04
Total	99,29	98,16	99,86	100,37	99,12	98,81	100,67	99,04
Cátions na base de 6 <O>								
Mg	0,25	0,27	0,25	0,22	0,20	0,21	0,20	0,20
Ca	1,03	1,05	1,01	1,02	0,02	1,03	1,03	0,02
Mn	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02
Fe	0,71	0,67	0,73	0,75	1,76	0,76	0,76	1,77
Sr	0	0	0	0	0	0	0	0
Ba	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00

GP15 - S1: carbonato = ankerita ferroana.

EW2 - S1: carbonato = ankerita ferroana (primeiro, terceiro e quarto grão analisado) e siderita magnésiana (segundo e quinto).

Anexo 3.5 - Análises semiquantitativas de **cloritas** das **metamáficas** de Raposos, obtidas em microsonda eletrônica.

Amostra	GP - R901	GP - R901	ES1 - S10	ES1 - S10
N. no mapa	53		13	
Zona de alteração	metamorfismo regional		clo-ser	
SiO ₂	26,64	26,69	27,41	25,88
TiO ₂	0	0,01	0,05	0,02
Al ₂ O ₃	19,84	20,05	20,85	20,92
Cr ₂ O ₃	0,10	0,15	0,23	0,23
MgO	18,31	17,99	19,88	19,75
CaO	0,09	0,06	0,12	0,03
MnO	0,31	0,25	0,03	0,12
FeO	20,67	20,44	18,23	18,55
NiO	0,01	0,09	0,05	0,09
Na ₂ O	0,03	0,02	0,02	0,04
K ₂ O	0,06	0,03	0	0,01
Total	85,46	85,17	86,36	85,10
Cátions na base de 36 < O,OH >				
Si	5,59	5,61	5,60	5,40
Ti	0	0	0,01	0
Al	4,91	4,96	5,02	5,14
Cr	0,02	0,02	0,04	0,04
Mg	5,72	5,63	6,05	6,14
Ca	0,02	0,01	0,03	0,01
Mn	0,06	0,05	0,01	0,02
Fe	3,63	3,59	3,11	3,24
Ni	0	0,02	0,01	0,02
Na	0,01	0,01	0,01	0,02
K	0,02	0,01	0	0
Total	19,97	19,91	19,87	20,02

GP - R901: Mba.

ES1 - S10: X2 clorítico.

Nota: Os resultados das análises foram lançados no diagrama proposto por Hey (1954) para a nomenclatura de cloritas, o qual pode ser visto no anexo 3.2. Uma síntese dessa classificação é também apresentada no Quadro 8. Os percentuais de H₂O estimados para cloritas são, em média, de 11 a 12%.

Anexo 3.5 (continuação) - Idem, para as **metaultramáficas**.

Amostra	2,3 - 11	GP14 - S11	GP14 - S11	GP14 - S11	GP14 - S11	2,3 - 6	2,3 - 6	2,3 - 6	2,3 - 6	2,3 - 6	2,3 - 4B	GP5 - S18	GP5 - S18
N. no mapa	43	29				40					36	35	
Zona de alteração	metam. regional	tc-clo				tc-clo					cbt-alb	cbt-ser	
SiO ₂	26,71	28,06	28,76	27,92	28,67	28,18	27,73	27,65	28,60	27,70	26,09	23,76	24,42
TiO ₂	0	0,02	0,03	0,03	0,03	0,05	0,04	0,01	0,03	0,04	0,03	0,09	0,06
Al ₂ O ₃	18,58	19,43	18,66	19,00	18,43	18,40	18,35	19,10	17,22	20,26	18,53	20,07	19,88
Cr ₂ O ₃	0,85	0,96	0,83	0,90	0,77	0,93	1,31	1,18	1,87	1,08	1,63	0,02	0,83
MgO	22,91	23,69	24,14	24,45	24,48	23,10	23,01	22,57	23,15	22,78	20,94	12,38	12,56
CaO	0,01	0,05	0,01	0,01	0,03	0,04	0,08	0,01	0,08	0,08	0,01	0,02	0,07
MnO	0,12	0,02	0,05	0,02	0,05	0,08	0,06	0,06	0,06	0,10	0,09	0,06	0,06
FeO	14,32	13,63	13,85	13,41	13,34	15,16	15,07	14,73	14,82	14,10	16,63	28,84	27,74
NiO	0,15	0,06	0,10	0,05	0,07	0,11	0,06	0,10	0,04	0,11	0,13	0,07	0,07
Na ₂ O	0,02	0,02	0,01	0,02	0,03	0,02	0	0	0,03	0,01	0,01	0,02	0,03
K ₂ O	0,02	0,02	0,06	0,02	0,03	0,03	0	0,01	0,02	0,04	0,01	0	0,01
Total	83,70	85,94	86,50	85,83	85,93	86,09	85,70	85,42	85,92	86,29	84,10	85,32	85,73
Cátions na base de 36 < O, OH >													
Si	5,60	5,67	5,78	5,65	5,79	5,74	5,68	5,67	5,85	5,60	5,53	5,29	5,38
Ti	0	0	0,01	0	0	0,01	0,01	0	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01
Al	4,59	4,63	4,42	4,53	4,39	4,42	4,43	4,62	4,15	4,82	4,62	5,26	5,16
Cr	0,14	0,15	0,13	0,14	0,12	0,15	0,21	0,19	0,30	0,17	0,27	0	0,14
Mg	7,15	7,14	7,23	7,38	7,37	7,02	7,03	6,90	7,05	6,86	6,61	4,11	4,12
Ca	0	0,01	0	0	0,01	0,01	0,02	0	0,02	0,02	0	0,01	0,02
Mn	0,02	0	0,01	0	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01
Fe	2,51	2,31	2,33	2,27	2,25	2,58	2,58	2,53	2,53	2,38	2,95	5,36	5,11
Ni	0,03	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01
Na	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0	0	0,01	0	0	0,01	0,01
K	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0	0	0	0,01	0	0	0
Total	20,05	19,94	19,95	20,01	19,97	19,97	19,99	19,93	19,94	19,91	20,02	20,07	19,97

2,3 - 11: X3 c/ actinolita.

GP14 - S11: X3.

2,3 - 6: X3.

2,3 - 4B: X3 sem talco, com albita.

GP5 - S18: fuchsita xisto (Fx).

Anexo 3.5 (continuação) - Idem, para **litótipos diversos**.

Amostra	GP7 - S17	GP7 - S17	GP6 - S18	GP6 - S18	GP9 - S19	GP9 - S19	ES4 - S10
N. no mapa	47		39		52		17
SiO ₂	27,87	28,75	26,18	25,79	22,85	22,92	26,12
TiO ₂	0,04	0,05	0,06	0	0,06	0,05	0
Al ₂ O ₃	18,69	18,87	19,21	19,70	20,92	19,73	19,71
Cr ₂ O ₃	0,76	0,07	0,57	0,80	0,01	0,06	0,14
MgO	22,54	23,41	22,18	22,16	6,91	7,07	15,83
CaO	0,04	0	0	0,01	0,09	0,06	0,07
MnO	0,02	0,04	0,03	0,03	0,04	0,05	0,30
FeO	14,42	14,37	16,16	15,81	36,08	36,09	24,45
NiO	0,05	0,09	0,16	0,10	0,06	0,06	0
Na ₂ O	0,02	0,02	0	0,02	0,04	0,02	0,03
K ₂ O	0,04	0,16	0,02	0,17	0,01	0,03	0,01
Total	84,50	85,83	84,55	84,59	87,06	86,14	86,66
Cátions na base de 36 < O,OH >							
Si	5,76	5,83	5,48	5,40	5,18	5,27	5,56
Ti	0,01	0,01	0,01	0	0,01	0,01	0
Al	4,55	4,51	4,74	4,86	5,59	5,35	4,94
Cr	0,12	0,01	0,09	0,13	0	0,01	0,02
Mg	6,94	7,07	6,92	6,91	2,34	2,42	5,02
Ca	0,01	0	0	0	0,02	0,02	0,02
Mn	0	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,05
Fe	2,49	2,44	2,83	2,77	6,84	6,94	4,35
Ni	0,01	0,02	0,03	0,02	0,01	0,01	0
Na	0,01	0,01	0	0,01	0,02	0,01	0,01
K	0,01	0,04	0,01	0,05	0	0,01	0
Total	19,91	19,93	20,10	20,14	20,02	20,05	19,97

GP7 - S17: biotita xisto (Bix).

GP6 - S18: idem.

GP9 - S19: formação ferrífera atípica.

ES4 - S10: Xs com epidoto.

Anexo 3.5 (continuação) - Idem, para o dique de **metadiabásio** (Md).

Amostra	ES3 - S10	2,3 - 10A	2,3 - 10A				
N. no mapa	15					49	
SiO ₂	26,20	24,79	25,32	25,12	25,12	24,52	23,70
TiO ₂	0,04	0	0,02	0,01	0,01	0,021	0,02
Al ₂ O ₃	19,16	19,46	19,55	19,28	20,12	20,61	21,13
Cr ₂ O ₃	0,04	0,14	0,05	0	0,077	0,04	0,03
MgO	15,12	14,34	14,67	15,19	14,61	13,39	12,74
CaO	0,02	0,03	0,12	0,06	0,05	0,03	0,02
MnO	0,31	0,30	0,31	0,34	0,29	0,10	0,09
FeO	25,71	26,26	25,72	25,63	26,05	27,67	27,76
NiO	0,09	0	0	0,05	0,02	0,01	0,01
Na ₂ O	0,02	0,02	0,06	0,02	0,02	0,06	0,08
K ₂ O	0,02	0,03	0,06	0,01	0,05	0,06	0,08
Total	86,72	85,36	85,88	85,72	86,42	86,51	85,34
Cátions na base de 36 < O, OH >							
Si	5,61	5,43	5,49	5,46	5,42	5,33	5,21
Ti	0,01	0	0	0	0	0	0
Al	4,83	5,03	5,00	4,94	5,11	5,28	5,48
Cr	0,01	0,02	0,01	0	0,01	0,01	0,01
Mg	4,82	4,68	4,74	4,92	4,70	4,34	4,18
Ca	0	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0
Mn	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,02	0
Fe	4,60	4,81	4,66	4,66	4,70	5,03	5,11
Ni	0,02	0	0	0,01	0	0	0
Na	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01	0,03	0,04
K	0,01	0,01	0,02	0	0	0	0,02
Total	19,97	20,06	20,03	20,07	20,03	20,05	20,07

ES3 - S10: metadiabásio.

2,3 - 10A: metadiabásio cloritizado.

Anexo 3.5 (continuação) - Idem, para o **clorita xisto**.

Amostra	EW2 - S1	EW2 - S1	EW2 - S1	GP15 - S1	GP15 - S1	GP15 - S1	GP15 - S1	EW6 - S1
N. no mapa	5			4				7
SiO ₂	20,82	21,34	20,28	20,79	21,08	20,03	20,71	22,52
TiO ₂	0,04	0,07	0,04	0,04	0,03	0,07	0,02	0,05
Al ₂ O ₃	21,67	21,21	21,87	20,90	21,58	21,55	21,46	20,97
Cr ₂ O ₃	0,15	0,22	0,13	0,15	0,13	0,04	0,07	0,18
MgO	3,42	3,44	3,12	4,29	4,26	4,27	4,21	6,47
CaO	0,02	0,03	0,07	0,03	0,01	0,02	0,10	0,08
MnO	0	0,04	0	0,01	0,05	0	0,02	0,08
FeO	40,72	40,90	40,48	39,70	39,63	39,88	39,31	35,61
NiO	0,05	0,02	0,06	0,09	0,04	0,07	0	0
Na ₂ O	0,02	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0	0,07
K ₂ O	0,02	0,03	0,01	0	0,02	0	0,01	0,05
Total	86,93	87,31	86,07	86,01	86,84	85,93	85,90	86,08
Cátions na base de 36 < O,OH >								
Si	4,88	4,98	4,81	4,91	4,91	4,75	4,88	5,17
Ti	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0	0,01
Al	5,99	5,83	6,11	5,82	5,93	6,02	5,97	5,67
Cr	0,03	0,04	0,02	0,03	0,02	0,01	0,01	0,03
Mg	1,20	1,20	1,10	1,51	1,48	1,51	1,48	2,21
Ca	0	0,01	0,02	0,01	0	0,01	0,03	0,02
Mn	0	0,01	0	0	0,01	0	0	0,02
Fe	7,98	7,98	8,03	7,85	7,73	7,91	7,75	6,83
Ni	0,01	0	0,01	0,02	0,01	0,01	0	0
Na	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0	0,03
K	0,01	0,01	0	0	0,01	0	0	0,01
Total	20,11	20,08	20,12	20,16	20,11	20,23	20,13	20,00

Anexo 3.6 - Análises semi-quantitativas de **micas brancas** para os **diversos litótipos** de Raposos, obtidas em microsonda eletrônica.

Amostra	GP2 - S18	GP17 - S1	GP4 - S18	GP4 - S18	GP5 - S18	GP5 - S18	GP5 - S18	EW2 - S5	ES3 - S13	GP15 - S1
N. no mapa	32	1	30		35			11	20	4
Litologia	BIF	X2 albitico	X2 albitico		Fx			LS	Xs	Clx
SiO2	45,847	47,26	46,083	46,414	48,563	49,135	47,459	46,539	44,537	44,545
TiO2	0,162	0,14	0,183	0,308	0,353	0,096	0,084	0,628	0,24	0,066
Al2O3	38,791	36,207	37,797	36,608	32,901	34,131	32,989	34,56	35,889	38,359
Cr2O3	0,2	0,005	0,093	0,196	0,673	0,57	1,302	0,12	0,579	0,06
MgO	0,135	0,437	0,369	0,733	1,643	1,521	1,579	1,27	0,374	0,141
CaO	0	0	0	0	0	0	0	0,012	0	0
MnO	0,013	0	0	0,012	0,004	0,024	0	0	0	0,043
FeO	0,903	0,765	0,42	1,05	2	1	1,2	1,769	0,855	0,954
NiO	0,004	0,025	0	0,003	0,042	0	0,023	0	0,037	0,012
BaO	0,13	0,202	0,387	0,218	0,08	0,17	0,109	0,185	0,311	0,149
Na2O	0,607	0,696	0,446	0,366	0,19	0,23	0,278	0,281	1,293	0,905
K2O	5,772	9,398	8,266	8,379	9,175	9,036	9,458	8,227	9,161	8,604
H2O	4,505	4,534	4,504	4,44	4,537	4,586	4,487	4,364	4,405	4,461
F	0,033	0,021	0,032	0,16	0,022	0,018	0,000	0,206	0,022	0,043
Cl	0,015	0,006	0,029	0,009	0,000	0,009	0,000	0,024	0,006	0,006
Total	97,12	99,70	98,61	98,90	100,22	100,60	98,97	98,19	97,71	98,35
O=F	<0,014	<0,009	<0,013	<0,067	<0,009	<0,008	0,00	<0,087	<0,009	<0,018
O=Cl	<0,003	<0,001	<0,007	<0,002	0,00	<0,002	0,00	<0,005	<0,001	<0,001
Total	97,1	99,69	98,59	98,83	100,22	100,59	98,97	98,09	97,70	98,33
Cátions na base de 24 < O,OH,F >										
Si	6,077	6,235	6,105	6,,161	6,403	6,41	6,342	6,247	6,046	5,958
Ti	0,016	0,014	0,018	0,031	0,035	0,009	0,008	0,063	0,025	0,007
Al	6,06	5,629	5,902	5,727	5,113	5,248	5,196	5,467	5,742	6,047
Cr	0,021	0,001	0,01	0,021	0,07	0,059	0,138	0,013	0,062	0,006
Mg	0,027	0,086	0,073	0,145	0,323	0,296	0,315	0,254	0,076	0,028
Ca	0	0	0	0	0	0	0	0,002	0	0
Mn	0,001	0	0	0,001	0	0,003	0	0	0	0,005
Fe	0,1	0,084	0,047	0,117	0,225	0,117	0,134	0,199	0,097	0,107
Ni	0	0,003	0	0	0,004	0	0,003	0	0,004	0,001
Ba	0,007	0,01	0,02	0,011	0,004	0,009	0,006	0,01	0,017	0,008
Na	0,156	0,178	0,115	0,094	0,049	0,058	0,072	0,073	0,34	0,235
K	0,976	1,582	1,397	1,419	1,543	1,504	1,612	1,409	1,587	1,468
Total	13,44	13,82	13,69	13,73	13,77	13,71	13,83	13,74	14,00	13,87

Anexo 3.7 - Análises semi-quantitativas de **plagioclásios** das **metamáficas** de Raposos, obtidas em microsonda eletrônica.

Amostra	GP - R901	GP - R901	GP - R901	GP - R901	GP - R901	ES1- S10	GP17 - S1	GP4 - S18
N. no mapa	53					13	1	30
Litologia	Mba					X2 clo	X2 albítico	X2 albítico
Zona de alteração	metamorfismo regional					clo-ser	cbt-alb	idem
SiO ₂	70,28	70,06	70,45	69,51	69,46	69,40	69,27	65,83
Al ₂ O ₃	19,74	19,83	19,73	19,90	20,11	19,40	19,58	20,08
Fe ₂ O ₃	0,32	0,13	0,12	0,40	0,24	0,07	0,20	0,00
CaO	0,27	0,36	0,34	0,55	0,85	0,04	0,21	0,87
SrO	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
BaO	0,00	0,04	0,00	0,12	0,00	0,01	0,06	0,00
Na ₂ O	11,49	11,49	11,28	11,43	10,97	11,66	11,59	11,31
K ₂ O	0,04	0,05	0,07	0,04	0,05	0,07	0,03	0,06
total	102,14 *	101,95 *	102,00 *	101,94 *	101,69 *	100,64	100,93	98,17 *
Cátions na base de 8 <O>								
Si	3,00	3,00	3,01	2,98	2,98	3,01	3,00	2,94
Al	0,99	1,00	0,99	1,01	1,02	0,99	1,00	1,06
Fe	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00
Ca	0,01	0,02	0,02	0,03	0,04	0,00	0,01	0,04
Sr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ba	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na	0,95	0,95	0,93	0,95	0,91	0,98	0,97	0,98
K	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
total	4,97	4,98	4,96	4,98	4,96	4,99	4,99	5,02
<AB>	98,51	98,01	98,00	97,21	95,64	99,43	98,83	95,62
<OR>	0,23	0,30	0,38	0,19	0,29	0,40	0,18	0,31
<AN>	1,25	1,69	1,62	2,59	4,08	0,17	0,99	4,06

Nota: * análises com fechamento ruim devido à super (ou sub) dosagem da sílica e/ou da alumina.

Anexo 3.7 (continuação) - Idem, para **litótipos diversos**.

Amostra	GP2 - S18	GP14 - S11	2,3 - 4B	2,3 - 4B	GP7 - S17	GP7 - S17	GP7 - S17	GP6 - S18	GP6 - S18	EW2 - S5	ES3 - S10	ES3 - S10	ES3 - S10	ES4 - S10	ES3 - S13
N. no mapa	32	29	36		47			39		11	15			17	20
Litologia	BIF	X3	X3 s/ tc, c/ alb		Bix			Bix		LS	Md			Xs c/ epidoto	Xs
SiO ₂	66,59	68,73	68,79	68,77	69,66	71,53	71,34	68,00	67,53	68,40	68,29	66,38	68,12	68,84	68,60
Al ₂ O ₃	19,37	19,52	19,53	19,22	19,36	19,59	19,54	19,16	19,24	19,35	19,70	20,64	19,56	20,11	19,34
Fe ₂ O ₃	0,17	0,15	0,12	0,00	0,17	0,07	0,08	0,00	0,14	0,00	0,35	1,61	0,09	0,00	0,06
CaO	0,14	0,03	0,20	0,03	0,04	0,03	0,03	0,04	0,16	0,14	0,19	0,19	0,64	0,48	0,50
SrO	0,00	0,07	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,09	0,00	0,04	0,00	0,03
BaO	0,01	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,25	0,10	0,00	0,00	0,03	0,00	0,18	0,00
Na ₂ O	11,74	11,57	11,58	11,63	11,32	11,64	11,36	11,79	11,39	11,55	11,09	10,03	11,18	11,33	11,51
K ₂ O	0,09	0,05	0,08	0,05	0,08	0,07	0,08	0,07	0,07	0,04	0,11	0,07	0,12	0,09	0,01
Total	98,10	100,14	100,33	99,73	100,63	102,94 *	102,43 *	99,30	98,63	99,49	99,83	98,96	99,75	101,03 *	100,05
Cátions na base de 8 <O>															
Si	2,97	3,00	3,00	3,01	3,02	3,03	3,03	3,00	2,99	3,00	2,99	2,94	2,99	2,98	3,00
Al	1,02	1,00	1,00	0,99	0,99	0,98	0,98	1,00	1,01	1,00	1,02	1,08	1,01	1,03	1,00
Fe	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02	0,08	0,00	0,00	0,00
Ca	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,02	0,02
Sr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ba	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na	1,02	0,98	0,98	0,99	0,95	0,96	0,94	1,01	0,98	0,98	0,94	0,86	0,95	0,95	0,98
K	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00
Total	5,03	4,99	4,99	4,99	4,97	4,97	4,95	5,01	5,00	4,99	4,98	49,59	4,99	4,99	4,99
<AB>	98,90	99,53	98,61	99,58	99,34	99,46	99,43	99,44	98,92	99,14	97,64	91,44	96,29	97,22	97,60
<OR>	0,48	0,31	0,43	0,29	0,46	0,38	0,44	0,39	0,41	0,22	0,64	0,45	0,67	0,50	0,05
<AN>	0,63	0,16	0,96	0,14	0,20	0,15	0,13	0,17	0,67	0,65	1,72	8,12	3,04	2,28	2,35

Nota: * análises com fechamento ruim devido à super dosagem da sílica ou da alumina.

Anexo 3.8 - Análises semi-quantitativas de **talco** para as **metaultramáficas** de Raposos, obtidas em microsonda eletrônica.

Amostra	2,3 - 11	2,3 - 6	2,3 - 6	2,3 - 6	GP14 - S11	GP14 - S11	GP14 - S11
N. no mapa	43	40			29		
Litologia	X3 c/ act	X3			X3		
Zona de alteração	metamorfismo regional	tc-clo			tc-clo		
SiO ₂	59,994	61,706	63,04	60,504	61,314	60,462	61,802
TiO ₂	0,000	0,02	0,000	0,027	0,000	0,000	0,000
Al ₂ O ₃	0,110	0,040	0,070	0,470	0,080	0,100	0,540
Cr ₂ O ₃	0,040	0,010	0,020	0,020	0,000	0,050	0,080
MgO	26,904	26,461	26,698	26,269	27,114	27,735	27,739
CaO	0,045	0,242	0,025	0,047	0,13	0,018	0,048
MnO	0,012	0,007	0,051	0,000	0,000	0,074	0,01
FeO	5,462	6,733	6,322	6,031	5,045	5,161	4,968
NiO	0,139	0,005	0,097	0,086	0,066	0,056	0,066
BaO	0,065	0,000	0,000	0,011	0,04	0,000	0,000
Na ₂ O	0,027	0,003	0,015	0,019	0,017	0,039	0,021
K ₂ O	0,04	0,016	0,021	0,014	0,019	0,039	0,033
H ₂ O	4,469	4,55	4,643	4,527	4,54	4,525	4,625
F	0,052	0,096	0,042	0,006	0,057	0,03	0,03
Cl	0,02	0,014	0,037	0,006	0,000	0,042	0,004
Total	97,38	99,91	101,09	98,03	98,42	98,33	99,96
O=F	<0,022	<0,04	<0,018	<0,002	<0,024	<0,013	<0,013
O=Cl	<0,005	<0,003	<0,008	<0,001	0,00	<0,009	<0,001
Total	97,35	99,87	101,06	98,03	98,40	98,31	99,95
Cátions na base de 24 < O,OH >							
Si	7,997	8,046	8,092	8,007	8,051	7,969	7,986
Ti	0,000	0,002	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000
Al	0,017	0,007	0,011	0,073	0,012	0,015	0,082
Cr	0,004	0,001	0,002	0,002	0,000	0,006	0,008
Mg	5,345	5,143	5,108	5,182	5,307	5,448	5,343
Ca	0,006	0,034	0,003	0,007	0,018	0,003	0,007
Mn	0,001	0,001	0,006	0,000	0,000	0,008	0,001
Fe	0,609	0,734	0,679	0,667	0,554	0,569	0,537
Ni	0,015	0,001	0,01	0,009	0,007	0,006	0,007
Ba	0,003	0,000	0,000	0,001	0,002	0,000	0,000
Na	0,007	0,001	0,004	0,005	0,004	0,01	0,005
K	0,007	0,003	0,003	0,002	0,003	0,007	0,005
Total	14,01	13,97	13,92	13,96	13,96	14,04	13,98

Anexo 3.9 - Análises semi-quantitativas de anfibólios (**actinolitas**) para os **diversos litótipos** de Raposos, obtidas em microsonda eletrônica.

Amostra	GP - R901	GP - R901	GP - R901	2,3 - 11	ES3 - S10
N. no mapa	53			43	15
Litologia	Mba			X3 c/ act	Md
SiO ₂	53,75	56,50	55,63	56,04	52,83
TiO ₂	0,05	0,05	0	0	0,16
Al ₂ O ₃	3,31	0,65	1,42	1,14	2,07
Cr ₂ O ₃	0,03	0	0,08	0,22	0
MgO	15,05	16,86	16,16	19,88	14,18
CaO	12,75	13,09	12,91	13,34	12,81
MnO	0,19	0,20	0,18	0,14	0,27
FeO	11,26	9,97	10,88	5,95	14,17
NiO	0,05	0,09	0	0	0,06
ZnO	0,02	0	0	0	0
Na ₂ O	0,35	0,09	0,13	0,16	0,32
K ₂ O	0,08	0,02	0,03	0,03	0,08
H ₂ O	2,05	2,04	2,07	2,13	2,03
F	0,06	0,14	0,06	0,00	0
Cl	0,02	0,01	0	0	0,05
Total	98,99	99,69	99,56	99,08	99,02
O=F	<0,03	<0,06	<0,03	0,00	0
O=C	0	0	0	0	<0,012
Total	98,96	99,63	99,53	99,08	99,01
Cátions na base de 24 <O,OH,F,Cl>					
Si	7,75	8,03	7,94	7,88	7,75
Ti	0,01	0,01	0	0	0,02
Al	0,56	0,11	0,24	0,19	0,36
Cr	0	0	0,01	0,02	0
Mg	3,24	3,57	3,44	4,17	3,10
Ca	1,97	1,99	1,98	2,01	2,01
Mn	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03
Fe	1,36	1,19	1,30	0,70	1,74
Ni	0,01	0,01	0	0	0,01
Zn	0	0	0	0	0
Na	0,10	0,03	0,04	0,04	0,09
K	0,01	0	0,01	0,01	0,02
Total	15,03	14,96	14,97	15,04	15,12

Anexo 3.10 - Análises semi-quantitativas de **flogopitas** para a **metaultramáfica** e **biotita xisto** de Raposos, obtidas em microsonda eletrônica.

Amostra	GP14 - S11	GP14 - S11	GP14 - S11	GP7 - S17
N. no mapa	29			47
Litologia	X3			Bix
SiO ₂	39,688	40,059	39,926	38,581
TiO ₂	1,515	1,566	1,5	1,714
Al ₂ O ₃	13,939	13,883	14,152	14,38
Cr ₂ O ₃	0,279	0,238	0,167	0,691
MgO	17,749	17,654	18,016	15,624
CaO	0,000	0,000	0,000	0,000
MnO	0,067	0,044	0,013	0,003
FeO	12,106	12,033	12,194	13,11
NiO	0,077	0,071	0,056	0,08
BaO	0,005	0,158	0,066	0,31
Na ₂ O	0,06	0,037	0,091	0,031
K ₂ O	9,153	8,781	9,11	9,009
H ₂ O	4,035	4,029	4,052	3,939
F	0,052	0,064	0,07	0,056
Cl	0,019	0,042	0,037	0,06
Total	98,74	98,66	99,45	97,59
O=F	<0,022	<0,027	<0,03	<0,024
O=Cl	<0,004	<0,009	<0,008	<0,014
Total	98,72	98,62	99,41	97,55
Cátions na base de 24 <O,OH,F>				
Si	5,855	5,902	5,847	5,811
Ti	0,168	0,174	0,165	0,194
Al	2,424	2,411	2,443	2,553
Cr	0,033	0,028	0,019	0,082
Mg	3,903	3,876	3,933	3,508
Ca	0,000	0,000	0,000	0,000
Mn	0,008	0,006	0,002	0,000
Fe	1,494	1,482	1,494	1,651
Ni	0,009	0,008	0,007	0,01
Ba	0,000	0,009	0,004	0,018
Na	0,017	0,01	0,026	0,009
K	1,723	1,65	1,702	1,731
Total	15,63	15,56	15,64	15,57

Anexo 3.11 - Análises semi-quantitativas de **epidoto** do **metabasalto** (Mba), dique de **metadiabásio** (Md) e do tufito félsico (Xs), obtidas em microsonda eletrônica.

Amostra	GP-R901	GP-R901	GP-R901	GP-R901	ES3-S10	ES3-S10	ES3-S10	ES4-S10
N. no mapa	53				15			17
Litologia	Mba				Md			Xs
SiO ₂	38,749	38,133	40,793	38,157	38,985	37,527	37,558	36,074
TiO ₂	0,226	2,903	0,022	2,011	0,045	0,037	0,038	0,004
Al ₂ O ₃	27,103	25,432	25,507	25,723	26,035	26,435	25,511	29,573
Fe ₂ O ₃	7,171	5,83	7,161	6,892	9,564	9,086	10,312	5,779
MgO	0,055	0,134	0,079	0,028	0,03	0,021	0,018	0
CaO	23,991	24,025	23,212	24,306	23,578	23,584	23,594	24,521
MnO	0,002	0,075	0,072	0,046	0,144	0,191	0,096	0,072
H ₂ O	1,915	1,897	1,917	1,904	1,922	1,89	1,887	1,886
Total	99,212	98,428	98,762	99,067	100,304	98,77	99,016	97,909
Cátions na base de 26< O,OH>								
Si	6,068	6,027	6,38	6,01	6,08	5,954	5,969	5,734
Ti	0,027	0,345	0,003	0,238	0,005	0,004	0,005	0,001
Al	5,003	4,737	4,702	4,775	4,786	4,943	4,778	5,54
Fe ⁺³	0,845	0,693	0,843	0,817	1,123	1,085	1,234	0,691
Mg	0,013	0,032	0,019	0,007	0,007	0,005	0,004	0
Ca	4,026	4,068	3,89	4,102	3,94	4,009	4,018	4,176
Mn	0	0,01	0,01	0,006	0,019	0,026	0,013	0,01
Total	15,981	15,913	15,845	15,955	15,96	16,027	16,02	16,15

Anexo 3.12 - Análises semi-quantitativas de **sulfetos** da **formação ferrífera, metabasalto e Lapa Seca (LS)** de Raposos, obtidas em microsonda eletrônica.

Amostra	GP2 - S18	GP2 - S18	GP2 - S18	GP2 - S18	GP9 - S19	Gp - R901	GP - R901	EW2 - S5
N. no mapa	32				52	53		11
Litologia	BIF				BIF atípica	Mba		LS
S	38,82	38,68	22,11	23,02	37,67	53,28	34,61	53,63
Fe	59,37	59,55	35,52	36,13	59,35	45,71	28,88	46,88
Cu	0,07	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	34,98	0,00
Zn	0,00	0,00	0,00	0,13	0,00	0,00	0,06	0,00
Ni	0,00	0,00	0,05	0,04	0,30	0,04	0,00	0,02
Co	0,00	0,00	0,03	0,03	0,03	0,40	0,00	0,00
Pb	0,09	0,12	0,21	0,07	0,16	0,15	0,08	0,00
As	0,04	0,04	43,55	42,28	0,01	0,15	0	0,05
Total	98,38	98,39	101,49	101,69	97,52	99,73	98,62	100,58
S	53,20	53,06	36,12	37,15	52,35	66,73	50,25	66,56
Fe	46,71	46,89	33,31	33,47	47,36	32,87	24,07	33,41
Cu	0,05	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	25,62	0,00
Zn	0,00	0,00	0,00	0,11	0,00	0,00	0,05	0,00
Ni	0,00	0,00	0,04	0,03	0,23	0,03	0,00	0,01
Co	0,00	0,00	0,02	0,03	0,03	0,27	0,00	0,00
Pb	0,02	0,03	0,05	0,02	0,03	0,03	0,02	0,00
As	0,02	0,02	30,44	29,20	0,00	0,08	0,00	0,03

GP2 - S18: sulfeto = pirrotita (nas duas primeiras análises) e arsenopirita (outras duas).

GP9 - S19: sulfeto = pirrotita

GP - R901: sulfeto = pirita (primeira) e calcopirita.

EW2 - S5: sulfeto = pirita.

Anexo 3.12 (continuação) - Idem, para as **gersdorfitas** das **metaultramáficas** e do **biotita xisto**.

Amostra	2,3 - 11	2,3 - 6	GP14 - S11	GP14 - S11	2,3 - 4B	GP5 - S18	GP6 - S18
N. no mapa	43	40	29		36	35	39
Litologia	X3 c/ act	X3	X3		X3 s/ tc, c/ alb	Fx	Bix
Zona de alteração	metamorfismo regional	tc-clo	idem		cbt-alb	cbt-ser	-
S	17,92	18,36	18,57	19,03	18,96	18,26	17,99
Fe	9,22	9,89	8,95	9,42	7,23	10,91	9,57
Cu	0,04	0,06	0,06	0,00	0,00	0,10	0,00
Zn	0,09	0,15	0,00	0,00	0,09	0,00	0,13
Ni	23,11	20,90	19,49	18,78	20,05	20,01	20,65
Co	2,08	3,85	6,44	6,86	7,54	3,31	4,44
Pb	0,08	0,06	0,03	0,08	0,11	0,10	0,12
As	47,10	47,35	46,00	46,72	46,49	46,87	46,06
Total	99,76	100,72	99,69	100,97	100,66	99,67	99,12
S	31,32	31,68	32,23	32,56	32,59	31,81	31,56
Fe	9,24	9,80	8,92	9,25	7,14	10,91	9,64
Cu	0,04	0,06	0,06	0,00	0,00	0,09	0,00
Zn	0,08	0,13	0,00	0,00	0,08	0,00	0,11
Ni	22,05	19,70	18,48	17,55	18,82	19,04	19,78
Co	1,98	3,61	6,08	6,39	7,06	3,13	4,24
Pb	0,02	0,03	0,01	0,02	0,03	0,03	0,03
As	35,22	34,98	34,17	34,20	34,21	34,94	34,57

Anexo 3.12 (continuação) - Idem, para o **metadiabásio, tufito félsico (Xs) e clorita xisto**.

Amostra	ES3 - S10	ES3 - S10	2,3 - 10A	2,3 - 10A	ES3 - S13	EW2 - S1	EW2 - S1	EW2 - S1
N. no mapa	15		49		20	5		
Litologia	Md		Md cloritizado		Xs	Clx		
S	52,61	53,08	21,97	53,27	35,70	38,76	38,34	39,35
Fe	45,35	45,84	35,82	46,02	42,05	58,70	58,59	57,89
Cu	0,01	0,02	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00
Zn	0,00	0,00	0,00	0,09	0,22	0,04	0,10	0,01
Ni	0,01	0,12	0,00	0,05	20,68	0,68	0,55	0,40
Co	0,26	0,05	0,00	0,06	0,19	0,05	0,06	0,06
Pb	0,26	0,34	0,11	0,25	0,17	0,11	0,18	0,03
As	0,34	0,26	42,90	0,13	0,01	0,02	0,04	0,00
Total	98,84	99,71	100,87	99,96	99,03	98,35	97,86	97,73
S	66,61	66,63	36,06	66,64	50,02	53,17	52,95	54,02
Fe	32,97	33,03	33,75	33,05	33,82	46,23	46,46	45,63
Cu	0,00	0,01	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00
Zn	0,00	0,00	0,00	0,06	0,15	0,02	0,07	0,01
Ni	0,01	0,08	0,00	0,04	15,82	0,51	0,42	0,30
Co	0,18	0,04	0,00	0,04	0,14	0,04	0,05	0,04
Pb	0,05	0,07	0,03	0,05	0,04	0,02	0,04	0,01
As	0,19	0,14	30,13	0,07	0,01	0,01	0,02	0,00

ES3 - S10: sulfeto = pirita.

2,3 - 10A : sulfeto = arsenopirita.

ES3 - S13: sulfeto = pentlandita.

EW2 - S1: sulfeto = pirrotita.

ANEXO 4

TABELAS DE QUÍMICA DE ROCHA TOTAL

Anexo 4.1 - Resultado das análises químicas de rocha total das **metamáficas** de Raposos, em ordem crescente da alteração, e respectivas médias de amostras, por zona de alteração.

Amostra	Gq R 901	R 1014	R 1011	MÉDIA	R 1013 - 3	ES 1 - S10	EW 4 - S1	MÉDIA	Gq17 S1	Gq 4 S18	EW 3 - S5	MÉDIA	EW 3 - S1	Gq16 S1	ES 1 - S12	MÉDIA
Litologia	Mba	Mba	Mba	Mba	Mbax	X2 clo	X2 clo	X2 clo	X2 alb	X2 alb	X2 alb	X2 alb	X2	X2	X2	X2
N. no mapa	53	Nível 32	Nível 32		Nível 32	13	6		1	30	10		3	2	18	
Zona de alteração	metamorfismo regional	idem	idem		clo-alb	clo-ser	idem		cbt-alb	idem	idem		cbt - ser	idem	idem	
SiO ₂ %	56,40	54,10	49,50	53,33	52,00	49,50	35,10	42,30	43,90	47,90	41,20	44,33	38,00	37,10	40,80	38,63
TiO ₂	0,64	0,51	0,58	0,58	0,56	0,45	0,74	0,59	0,58	0,55	0,50	0,54	0,47	0,48	0,44	0,46
Al ₂ O ₃	14,10	11,70	13,60	13,13	12,10	11,60	16,20	13,90	13,10	13,60	10,70	12,47	11,60	11,70	10,00	11,10
Fe ₂ O ₃	3,00	1,60	1,80	2,13	0,73	6,40	5,00	5,70	2,60	3,50	0,76	2,29	1,80	1,70	0,72	1,41
FeO	5,40	6,70	4,70	5,60	7,30	3,60	9,80	6,70	6,40	3,10	5,70	5,07	6,10	5,80	8,00	6,63
MnO	0,16	0,20	0,19	0,18	0,15	0,16	0,14	0,15	0,15	0,13	0,20	0,16	0,19	0,24	0,15	0,19
MgO	7,20	6,50	6,80	6,83	7,30	9,80	7,90	8,85	5,90	4,70	7,60	6,07	6,00	4,90	9,50	6,80
CaO	6,40	8,40	10,50	8,43	7,40	6,90	6,90	6,90	8,10	8,40	10,70	9,07	12,00	13,10	6,60	10,57
Na ₂ O	3,60	2,80	2,70	3,03	2,20	0,14	0,17	0,16	3,20	1,90	1,80	2,30	0,24	1,20	0,20	0,55
K ₂ O	0,05	0,07	0,06	0,06	0,04	0,74	2,40	1,57	1,00	3,00	1,70	1,90	3,00	2,80	2,80	2,87
Cr ₂ O ₃	0,05	0,04	0,02	0,04	0,05	0,08	0,05	0,07	0,03	0,03	0,04	0,03	0,04	0,03	0,08	0,05
F	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	0,03
P.F.	2,66	6,65	9,04	6,12	9,40	10,30	14,54	12,42	14,29	12,67	18,08	15,01	20,06	19,87	19,99	19,97
P ₂ O ₅	0,08	0,06	0,06	0,07	0,05	< 0,05	0,06	0,00	0,05	0,06	0,05	0,06	< 0,05	0,06	0,05	0,06
Total	99,76	99,36	99,57	99,58	99,31	99,68	99,03	99,33	99,33	99,57	99,05	99,32	99,52	99,01	99,35	99,30
S	0,09	0,11	0,07	0,09	0,04	0,01	0,02	0,02	0,05	0,48	0,06	0,20	0,02	0,04	0,03	0,03
CO ₂	1,20	5,40	7,30	4,63	6,70	7,30	12,00	9,65	13,70	11,40	17,50	14,20	19,90	19,40	20,20	19,83
H ₂ O+	0,39	1,71	2,28	1,46	3,33	3,25	3,58	3,41	0,61	0,39	0,98	0,66	0,66	0,55	0,62	0,61
B ppm	10	< 10	20	15	< 10	< 10	38	14	14	33	26	24	67	32	22	40
Sc	12	13	13	13	15	19	23	21	18	15	19	17	22	14	19	18
V	189	142	189	173	183	179	273	226	216	205	163	195	173	171	185	176
Cr	365	336	178	293	353	551	374	463	235	197	273	235	252	174	519	315
Co	58	54	55	56	53	63	68	66	54	35	42	44	48	44	49	47
Ni	128	101	96	108	129	131	101	116	75	53	92	73	81	46	103	77
Cu	49	69	84	67	64	7	281	144	64	63	74	67	66	47	21	45
Pb	30	55	34	40	36	31	36	33,5	24	30	39	31	38	77	31	49
Zn	79	100	73	84	123	89	207	148	91	36	75	67	70	155	64	96
Ag	< 1	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	1	2	2
Mo	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Au	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,06	0,05	< 0,05	0,02	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
As	28	71	58	52	35	147	299	223	225	470	392	362	369	302	576	416
Y	13	12	9	11	7	5	10	8	9	8	12	10	5	9	4	6
Sr	188	198	199	195	124	96	75	86	120	129	168	139	119	140	137	132
Zr	92	79	68	80	78	59	70	65	64	65	83	71	61	57	49	56
Ga	< 10	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	< 10	< 10	n.a.	< 10	n.a.	< 10	n.a.	n.a.
Ba	16	33	36	28	40	256	584	420	127	511	271	303	651	199	352	401
La	14,100	9,937	5,355	9,797	8,468	3,722	5,174	4,448	5,210	5,450	9,453	6,704	4,286	6,620	3,832	4,913
Ce	30,870	22,460	13,450	22,260	17,800	8,421	13,030	10,726	13,180	18,900	18,280	16,787	10,560	14,300	8,712	11,191
Nd	18,220	8,305	6,597	11,041	8,271	3,323	6,198	4,761	9,590	8,440	8,310	8,780	4,654	9,600	4,400	6,218
Sm	2,880	2,084	1,697	2,220	1,905	0,743	1,521	1,132	1,680	1,500	1,962	1,714	1,201	1,620	1,070	1,297
Eu	0,600	0,608	0,593	0,600	0,368	0,132	0,360	0,246	0,440	0,410	0,519	0,456	0,397	0,430	0,293	0,373
Gd	2,970	1,799	1,664	2,144	1,604	0,656	1,268	0,962	1,760	1,470	1,609	1,613	1,088	1,740	1,086	1,305
Dy	3,170	1,889	1,787	2,282	1,872	0,767	1,883	1,325	1,890	1,470	1,514	1,625	1,268	2,170	1,329	1,589
Ho	0,640	0,379	0,343	0,454	0,373	0,153	0,394	0,274	0,370	0,290	0,312	0,324	0,242	0,460	0,290	0,331
Er	1,750	1,033	0,854	1,212	0,997	0,413	1,148	0,781	0,980	0,750	0,887	0,872	0,593	1,400	0,903	0,965
Yb	1,220	0,836	0,626	0,894	1,046	0,447	1,173	0,810	0,790	0,590	0,828	0,736	0,535	1,110	0,855	0,833
Lu	0,120	0,110	0,071	0,100	0,145	0,078	0,161	0,120	0,100	0,080	0,128	0,103	0,076	0,150	0,131	0,119

Abreviações válidas para todas as tabelas de análise química de rocha total: n.a : não analisado; < : abaixo do limite de detecção especificado.

Anexo 4.2 - Análises químicas de rocha total das **metaultramáficas** de Raposos, em ordem crescente de alteração.

Amostra	2,3-11	2,3 - 12	Gq 8 - S17	Gq14 - S11	ES 1 - S11	Média	2,3-7	2,3-4B	2,3-2	Média	2,3 - 5C	Gq 5 - S18	Média
Litologia	X3 c/ act	X3	X3	X3	X3	X3	X3 s/ talco	X3 s/ tc, c/ alb	Fx albitico	xistos albiticos	Fx	Fx	Fx
N. no mapa	43	41	44	29	27		37	36	46		33	35	
Zona de alteração	metamorfismo regional	tc-clo	idem	idem	idem		clo-cbt	cbt-alb	idem		cbt-ser	idem	
SiO ₂ %	44,20	39,60	44,90	44,80	43,40	43,18	43,70	35,40	30,00	32,70	38,80	34,90	36,85
TiO ₂	0,22	0,19	0,27	0,30	0,28	0,26	0,21	0,24	0,17	0,20	0,22	0,20	0,21
Al ₂ O ₃	8,40	6,40	8,30	9,30	7,70	7,93	7,50	8,90	7,10	8,00	7,90	7,60	7,75
Fe ₂ O ₃	1,50	0,67	2,70	1,30	0,89	1,39	1,40	0,91	0,16	0,54	0,88	2,80	1,84
FeO	7,90	5,30	6,10	7,30	7,00	6,43	5,80	6,00	4,90	5,45	5,70	5,70	5,70
MnO	0,14	0,13	0,08	0,10	0,17	0,12	0,21	0,27	0,41	0,34	0,23	0,26	0,24
MgO	20,00	19,00	26,50	22,00	20,80	22,07	12,60	11,50	10,60	11,05	13,00	8,20	10,60
CaO	7,40	13,20	0,94	3,10	5,30	5,63	9,30	12,00	16,50	14,25	11,10	14,50	12,80
Na ₂ O	0,08	0,04	0,01	0,40	0,22	0,17	0,09	2,80	3,50	3,15	1,10	0,16	0,63
K ₂ O	0,07	0,03	0,01	0,06	0,09	0,05	0,47	0,05	0,21	0,13	0,98	2,20	1,59
Cr ₂ O ₃	0,42	0,34	0,61	0,35	0,25	0,39	0,21	0,29	0,28	0,28	0,27	0,19	0,23
F	0,04	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
P.F.	8,58	14,68	9,02	10,43	13,18	11,83	17,83	20,76	25,45	23,11	19,23	22,93	21,08
P ₂ O ₅	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Total	98,95	99,60	99,46	99,47	99,30	99,46	99,34	99,13	99,29	99,21	99,43	99,66	99,54
S	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,04	0,02	0,02	0,05	0,03
CO ₂	n.a.	11,10	1,90	10,00	9,80	8,20	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	17,70	22,00	19,85
H ₂ O ⁺	4,45	3,96	1,72	0,37	4,03	2,52	2,76	2,31	0,78	1,55	1,94	0,85	1,40
B ppm	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	31	31
Sc	25	18	16	13	16	16	22	36	25	31	14	17	16
V	162	103	152	171	172	150	156	157	106	132	131	108	120
Cr	2846	2299	4163	2363	1726	2638	1410	1947	1909	1928	1849	1315	1582
Co	27	52	95	72	52	68	23	31	41	36	43	41	42
Ni	888	458	895	449	333	534	464	601	982	792	337	174	256
Cu	5	6	11	5	6	7	45	3	88	46	85	27	56
Pb	44	38	28	28	32	32	41	39	364	202	38	33	36
Zn	180	128	64	115	98	101	192	50	82	66	64	127	96
Ag	n.a.	2	2	2	1	2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	2	2	2
Mo	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	6	6
Au	n.a.	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	< 0,05	< 0,05	< 0,05
As	747	1960	454	328	209	738	362	757	1908	1333	798	851	825
Y	6	< 3	< 3	5	< 3	< 1	6	7	4	6	3	3	3
Sr	37	79	17	45	65	52	160	208	309	259	207	135	171
Zr	24	32	31	39	36	35	33	37	32	35	36	39	38
Ga	n.a.	n.a.	< 10	< 10	n.a.	< 10	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	< 10	< 10
Ba	< 10	18	15	14	36	21	124	< 10	148	148	102	489	296
La	1,872	1,796	1,320	2,630	2,880	2,157	3,583	2,648	2,905	2,777	2,219	1,840	2,030
Ce	4,447	4,004	2,800	7,000	5,180	4,746	6,888	5,445	5,439	5,442	4,987	4,300	4,644
Nd	1,763	1,410	1,420	3,480	2,368	2,170	2,521	2,250	2,559	2,405	2,110	2,430	2,270
Sm	0,620	0,250	0,320	0,490	0,620	0,420	0,542	0,510	0,584	0,547	0,490	0,520	0,505
Eu	0,179	0,183	0,070	0,120	0,184	0,139	0,131	0,138	0,174	0,156	0,150	0,170	0,160
Gd	0,824	0,335	0,500	0,450	0,680	0,491	0,482	0,430	0,460	0,445	0,466	0,840	0,653
Dy	0,689	0,520	0,760	0,660	1,067	0,752	0,484	0,620	0,722	0,671	0,420	1,290	0,855
Ho	0,140	0,121	0,160	0,140	0,235	0,164	0,106	0,139	0,151	0,145	0,080	0,270	0,175
Er	0,390	0,359	0,500	0,440	0,739	0,510	0,330	0,446	0,438	0,442	0,240	0,800	0,520
Yb	0,368	0,365	0,490	0,440	0,766	0,515	0,318	0,445	0,480	0,463	0,230	0,650	0,440
Lu	0,052	0,047	0,060	0,060	0,103	0,068	0,035	0,067	0,057	0,062	0,041	0,090	0,066

Anexo 4.3 - Análises químicas de rocha total da **formação ferrífera** de Raposos, em ordem crescente de proporção de sulfetos.

Amostra		Gq 1 - S18	3000 - 3	Gq 3 - S18	Gq13 - S11	Gq 2 - S18	3000 - 4	Gq 9 - S19
N. no mapa		34	Nível 30	31	26	32	Nível 30	52
Observação		pouco sulfeto	pouco sulfeto	sulfetada	sulfetada	muito sulfeto	muito sulfeto	BIF atípica
SiO ₂	%	50,00	61,40	52,40	58,70	49,50	45,80	47,50
TiO ₂		0,14	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,12
Al ₂ O ₃		3,60	0,45	0,64	0,54	0,44	0,87	2,30
Fe ₂ O ₃		3,00	0,72	8,10	11,70	5,10	5,00	5,50
FeO		8,70	18,90	5,90	7,40	14,30	22,60	21,70
MnO		0,35	0,73	0,72	0,56	0,77	0,67	0,26
MgO		0,84	1,40	1,50	1,80	1,50	1,40	4,00
CaO		16,80	3,90	16,10	5,60	13,60	10,60	1,70
Na ₂ O		0,03	0,03	0,21	0,10	0,06	0,04	0,02
K ₂ O		0,25	0,04	0,07	0,08	0,04	0,10	0,01
Cr ₂ O ₃		0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03
F		0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
P.F.		15,38	10,24	12,94	11,90	12,45	10,60	15,38
P ₂ O ₅		0,07	0,06	0,05	0,06	0,07	< 0,05	0,06
Total		99,19	97,89	98,66	98,46	97,85	97,70	98,60
S		0,41	0,76	2,40	3,50	3,70	5,40	0,23
CO ₂		13,10	11,00	8,50	9,50	10,00	7,40	14,80
H ₂ O ⁺		1,29	0,18	0,42	0,45	0,43	0,24	0,44
B	ppm	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	12
Sc		11	10	< 10	13	12	11	< 10
V		64	< 10	< 10	< 10	13	< 10	24
Cr		86	59	40	54	38	38	182
Co		22	40	16	31	29	30	44
Ni		< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	15
Cu		16	36	32	17	56	125	15
Pb		32	24	35	24	30	36	25
Zn		164	59	48	45	55	45	70
Ag		1	1	1	2	1	2	< 1
Mo		< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Au		0,41	1,40	1,68	4,82	4,50	4,32	< 0,05
As		1160	2106	6233	16500	9164	1137	19
Y		< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
Sr		64	25	80	25	65	34	29
Zr		33	27	30	28	30	29	38
Ga		< 10	n.a.	< 10	< 10	< 10	n.a.	< 10
Ba		101	23	35	< 10	12	25	< 10
La		3,560	3,382	2,570	3,090	3,290	5,887	6,130
Ce		7,200	7,074	4,230	5,760	5,890	11,950	14,020
Nd		3,390	2,210	1,930	2,590	2,000	4,254	7,210
Sm		0,480	0,284	0,310	0,360	0,360	0,701	1,030
Eu		0,180	0,156	0,120	0,110	0,140	0,252	0,240
Gd		0,530	0,343	0,290	0,380	0,380	0,683	0,850
Dy		0,450	0,484	0,270	0,320	0,300	0,740	0,570
Ho		0,090	0,107	0,050	0,060	0,060	0,169	0,110
Er		0,280	0,340	0,130	0,170	0,150	0,563	0,250
Yb		0,230	0,302	0,110	0,160	0,140	0,479	0,220
Lu		0,040	0,044	0,030	0,040	0,030	0,108	0,040

Anexo 4.4 - Análises químicas de rocha total do **tufito félsico (Xs)** de Raposos, ordenadas segundo os dois grupos de composições distintas, ora identificados.

Amostra	EW - S5 - A	Gq11 - S13	ES - 4	ES 4 - S10	ES 2 - S13	ES 3 - S13
N. no mapa	9	21	25	17	19	20
Observação	Grupo A	Grupo A	Grupo A	Grupo B	Grupo B	Grupo B
SiO ₂ %	56,30	58,30	54,30	62,10	67,50	65,40
TiO ₂	0,46	0,41	0,38	0,26	0,23	0,37
Al ₂ O ₃	12,90	11,10	13,00	14,90	15,50	14,80
Fe ₂ O ₃	0,49	1,40	4,10	0,53	0,14	1,30
FeO	3,50	3,60	1,30	2,40	2,10	4,70
MnO	0,20	0,34	0,24	0,17	0,17	0,11
MgO	3,60	3,70	2,60	1,40	1,30	1,90
CaO	6,60	6,60	7,20	6,10	2,60	1,80
Na ₂ O	1,50	0,82	1,60	3,50	3,70	2,80
K ₂ O	2,90	3,00	2,80	2,50	2,30	2,00
Cr ₂ O ₃	0,04	0,04	0,03	0,02	0,02	0,03
F	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02
P.F.	10,79	10,55	11,98	5,80	4,47	4,28
P ₂ O ₅	0,10	0,09	0,11	0,05	< 0,05	< 0,05
Total	99,31	99,89	99,55	99,70	100,04	99,51
S	0,12	0,14	0,02	0,06	0,01	0,04
CO ₂	10,40	9,90	11,50	5,10	3,80	3,10
H ₂ O+	0,65	0,63	0,50	0,79	0,78	1,71
B ppm	166	97	10	32	19	47
Sc	13	< 10	11	< 10	10	16
V	78	55	57	31	33	62
Cr	252	296	230	139	119	206
Co	27	30	29	24	20	31
Ni	85	81	59	42	37	60
Cu	30	30	11	25	15	15
Pb	57	28	29	22	38	24
Zn	332	224	170	73	109	131
Ag	1	1	1	1	1	1
Mo	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Au	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
As	58	263	634	50	86	88
Y	16	11	12	6	8	< 3
Sr	116	150	107	111	99	53
Zr	166	124	160	125	113	83
Ga	n.a.	< 10	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Ba	741	1096	366	1011	1142	335
La	20,350	15,070	18,120	18,730	11,080	15,410
Ce	43,510	31,900	37,320	34,660	26,190	34,770
Nd	17,360	16,830	14,260	12,900	8,860	12,010
Sm	3,002	2,200	2,000	2,669	1,562	2,059
Eu	0,745	0,570	0,557	0,876	0,481	0,608
Gd	1,729	1,880	1,700	1,877	1,106	1,155
Dy	1,164	1,580	1,026	1,723	0,725	0,685
Ho	0,218	0,310	0,204	0,349	0,132	0,122
Er	0,515	0,830	0,541	0,964	0,340	0,290
Yb	0,410	0,670	0,438	0,809	0,290	0,279
Lu	0,064	0,090	0,060	0,127	0,051	0,039

Nota: Grupo A: grupo "andesítico"; grupo B: grupo "dacítico".

Anexo 4.5 - Análises químicas de rocha total da **Lapa Seca** de Raposos.

Amostra	EW 2 - S5	ES - 1	3 - S14	Gq12 S26
N. no mapa	11	23	54	22
SiO ₂ %	12,30	8,90	12,80	18,10
TiO ₂	0,11	0,06	0,16	0,13
Al ₂ O ₃	2,50	1,50	3,30	2,90
Fe ₂ O ₃	0,31	0,71	0,73	2,60
FeO	2,10	4,10	4,70	4,00
MnO	1,00	1,10	1,10	0,95
MgO	2,00	16,10	14,60	13,10
CaO	42,30	26,90	23,80	22,80
Na ₂ O	1,20	0,35	0,15	0,06
K ₂ O	0,38	0,25	1,10	0,83
Cr ₂ O ₃	0,01	0,01	0,02	0,01
F	0,01	0,02	0,03	0,02
P.F.	35,70	39,67	36,65	34,33
P ₂ O ₅	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Total	99,92	99,67	99,14	99,83
S	0,05	0,02	0,01	0,04
CO ₂	36,00	39,70	36,70	34,30
H ₂ O ⁺	0,26	0,38	0,42	0,19
B ppm	< 10	< 10	< 10	14
Sc	11	< 10	14	14
V	27	12	47	17
Cr	52	50	120	79
Co	15	18	21	19
Ni	22	18	41	25
Cu	10	38	76	6
Pb	81	65	86	38
Zn	33	84	75	64
Ag	1	1	2	< 1
Mo	< 5	< 5	< 5	< 5
Au	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
As	47	82	88	128
Y	< 3	< 3	< 3	< 3
Sr	274	171	368	223
Zr	53	34	60	50
Ga	n.a.	n.a.	n.a.	< 10
Ba	54	35	181	116
La	6,460	4,481	4,359	9,336
Ce	13,550	9,512	10,100	19,528
Nd	4,885	3,143	3,487	9,720
Sm	0,815	0,455	0,600	1,260
Eu	0,232	0,228	0,197	0,341
Gd	0,542	0,474	0,517	1,204
Dy	0,489	0,421	0,494	1,200
Ho	0,099	0,080	0,095	0,235
Er	0,279	0,200	0,251	0,569
Yb	0,180	0,180	0,210	0,360
Lu	0,033	0,037	0,046	0,055

Anexo 4.6 - Análises químicas de rocha total do **clorita xisto** de Raposos.

Amostra	Gq15 - S1	EW 2 - S1	EW 6 - S1	Gq10 - S19
N. no mapa	4	5	7	51
Observação	intercalado no X2	contato c/ BIF	muito sulfetado	intercalado no X1
SiO ₂ %	41,10	42,10	40,50	55,10
TiO ₂	0,55	0,66	0,53	0,50
Al ₂ O ₃	12,50	15,00	12,60	12,40
Fe ₂ O ₃	4,10	3,00	7,30	3,80
FeO	21,60	25,90	7,50	13,60
MnO	0,12	0,08	0,15	0,25
MgO	2,90	2,60	2,90	4,10
CaO	5,10	1,80	8,50	2,30
Na ₂ O	0,05	0,06	0,36	0,35
K ₂ O	0,35	0,13	3,10	0,40
Cr ₂ O ₃	0,04	0,06	0,04	0,04
F	0,02	0,02	0,02	0,03
P.F.	9,73	6,03	15,52	6,17
P ₂ O ₅	0,07	0,07	0,05	0,11
Total	98,23	97,51	99,07	99,15
S	0,11	0,16	0,60	0,13
CO ₂	6,80	3,40	10,90	3,70
H ₂ O ⁺	2,95	5,14	1,23	1,75
B ppm	14	10	26	51
Sc	21	25	14	10
V	237	291	191	106
Cr	304	416	269	285
Co	64	79	42	42
Ni	45	58	40	65
Cu	34	27	42	15
Pb	37	38	41	30
Zn	496	237	106	158
Ag	2	2	3	2
Mo	5	< 5	< 5	6
Au	< 0,05	0,11	6,15	< 0,05
As	70	151	36000	106
Y	3	4	7	7
Sr	24	10	75	36
Zr	53	61	62	101
Ga	< 10	n.a.	n.a.	< 10
Ba	26	33	318	61
La	5,052	4,239	5,702	17,472
Ce	12,400	10,790	13,280	38,080
Nd	9,024	5,593	6,263	20,744
Sm	1,473	0,920	1,599	2,622
Eu	0,292	0,199	0,409	0,508
Gd	1,176	0,690	1,296	2,133
Dy	0,867	0,518	1,508	1,355
Ho	0,176	0,104	0,295	0,266
Er	0,493	0,279	0,765	0,692
Yb	0,572	0,267	0,625	0,637
Lu	0,092	0,048	0,088	0,097

Anexo 4.7 - Análises químicas de rocha total do **biotita xisto** de Raposos.

Amostra		Gq 6 - S18	ES 2 - S11	Gq 7 - S17	2,3 - 5
N. no mapa		39	28	47	38
SiO ₂	%	41,70	49,80	48,00	31,50
TiO ₂		0,25	0,52	0,31	0,25
Al ₂ O ₃		8,40	12,20	10,80	9,30
Fe ₂ O ₃		2,30	1,50	1,70	1,60
FeO		6,00	8,70	6,40	6,70
MnO		0,20	0,17	0,16	0,35
MgO		13,90	11,30	13,20	7,30
CaO		8,50	5,80	5,20	15,50
Na ₂ O		0,81	2,10	1,70	2,00
K ₂ O		0,64	0,95	0,86	1,60
Cr ₂ O ₃		0,25	0,10	0,15	0,21
F		0,01	0,02	0,01	0,01
P.F.		16,36	5,99	11,14	22,73
P ₂ O ₅		< 0,05	0,06	< 0,05	< 0,05
Total		99,32	99,21	99,64	99,05
S		0,02	0,01	0,02	0,33
CO ₂		16,10	4,00	10,40	22,00
H ₂ O ⁺		0,28	2,87	0,56	0,52
B	ppm	< 10	10	< 10	22
Sc		16	15	18	10
V		155	204	178	114
Cr		1686	655	1015	1418
Co		53	58	60	50
Ni		276	137	164	256
Cu		9	5	10	18
Pb		32	32	35	43
Zn		61	109	67	95
Ag		2	1	2	2
Mo		< 5	< 5	< 5	< 5
Au		< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,15
As		520	126	177	1640
Y		< 3	6	4	< 3
Sr		152	53	166	127
Zr		38	56	44	42
Ga		< 10	n.a.	< 10	n.a.
Ba		79	80	85	469
La		4,403	5,238	2,384	2,419
Ce		4,589	10,690	5,278	5,062
Nd		2,281	4,910	3,088	1,675
Sm		0,512	1,470	0,570	0,240
Eu		0,128	0,414	0,161	0,130
Gd		0,580	1,448	0,765	0,295
Dy		0,444	1,701	1,022	0,324
Ho		0,085	0,347	0,223	0,061
Er		0,217	0,972	0,694	0,160
Yb		0,222	0,795	0,544	0,177
Lu		0,057	0,124	0,078	0,022

Anexo 4.8 - Análises químicas de rocha total do **xisto carbonoso (X1)** e do dique de **metadiabásio (Md)**.

Amostra		EW 4 - S5	ES - 3	2 - S14	ES 3 - S10	ES 5 - S10	2,3 - 10A
N. no mapa		12	24	56	15	16	49
Litologia		X1	X1	X1	Md	Md	Md cloritizado
SiO ₂	%	51,50	58,50	58,20	49,50	50,20	35,00
TiO ₂		0,65	0,65	0,47	1,50	1,30	1,70
Al ₂ O ₃		15,40	13,50	12,50	14,00	14,20	11,40
Fe ₂ O ₃		3,30	1,40	1,20	2,80	3,60	9,80
FeO		6,10	5,90	3,30	8,10	7,80	4,10
MnO		0,16	0,14	0,22	0,18	0,24	0,23
MgO		7,70	6,00	5,00	6,80	7,40	6,20
CaO		3,00	3,30	5,00	8,40	8,70	9,90
Na ₂ O		0,95	1,20	2,00	2,70	2,40	0,13
K ₂ O		2,10	1,70	2,20	0,38	0,84	2,90
Cr ₂ O ₃		0,09	0,07	0,05	0,02	0,03	0,04
F		0,06	0,05	0,04	0,02	0,02	0,03
P.F.		8,20	7,12	8,91	4,53	2,67	17,92
P ₂ O ₅		0,09	0,11	0,11	0,13	0,13	0,10
Total		99,30	99,64	99,19	99,06	99,53	99,44
S		0,09	0,03	0,08	0,08	0,06	1,80
CO ₂		5,60	5,80	7,90	2,80	1,50	12,20
H ₂ O ⁺		3,04	1,90	1,25	2,36	2,04	1,08
B	ppm	146	53	60	12	12	65
Sc		17	<10	<10	20	12	23
V		170	142	88	284	247	319
Cr		599	494	323	167	190	239
Co		53	42	29	45	52	43
Ni		244	224	122	53	68	37
Cu		31	31	42	57	115	43
Pb		26	27	34	53	33	39
Zn		123	207	363	128	98	59
Ag		1	2	2	2	2	3
Mo		< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Au		< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	1,64
As		730	288	44	63	51	32000
Y		15	6	15	23	17	12
Sr		59	75	208	140	144	65
Zr		113	123	152	107	95	80
Ga		n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Ba		284	390	414	111	222	438
La		17,210	16,910	19,970	10,370	10,770	9,875
Ce		35,650	35,550	40,140	22,460	23,320	22,570
Nd		15,100	16,470	17,890	11,250	13,000	10,910
Sm		2,950	3,214	3,601	3,197	3,040	2,810
Eu		0,685	0,705	0,877	0,914	0,833	0,751
Gd		2,589	2,336	2,738	2,882	2,579	2,377
Dy		2,559	2,644	2,769	2,852	2,660	2,658
Ho		0,517	0,529	0,547	0,557	0,496	0,501
Er		1,415	1,426	1,438	1,431	1,158	1,198
Yb		1,240	1,537	1,284	1,140	0,975	0,993
Lu		0,163	0,178	0,149	0,153	0,115	0,142

ANEXO 5

SUMÁRIO DE TÉCNICAS ANALÍTICAS

1 – Análises Químicas de Rocha Total

As amostras selecionadas para análises químicas, a partir de estudos petrográficos, foram analisadas no GEOLAB/GEOSOL, em Belo Horizonte. Os métodos empregados para obtenção dos dados geoquímico foram:

- fluorescência de raios-X (por fusão da amostra com tetraborato de lítio) para SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , TiO_2 , P_2O_5 , Na_2O , K_2O , MnO , Cr_2O_3 , NiO ;
- fluorescência de raios-X (pela técnica de pó prensado) para Sc, V, Cr, Co, Ni, Ba, Sr, Y, Zr, S, Cl;
- eletrodo de ion específico, para o F;
- titulometria para o FeO;
- método de Penfield, para H_2O^+ ;
- medida do gás evoluído a 130°C , para CO_2 ;
- absorção atômica / solubilização com água régia para Cu, Pb, Zn, Ag, Mo;
- absorção atômica / solubilização com água régia e extração com MIBK, para Au;
- absorção atômica / geração de hidretos para As;
- espectrografia ótica de emissão para o B;
- pré-concentração em resina de troca iônica e determinação final por plasma ICP, para os ETR.

2 - Análises Químicas de Minerais em Microsonda Eletrônica

As análises semi-quantitativas de minerais foram realizadas no Instituto de Geociências da Universidade de Brasília - UnB, em microsonda eletrônica CAMECA, modelo Camebax Sx 50 com 15 kv de voltagem e 25 nA de corrente. Análises pontuais qualitativas também foram feitas, utilizando-se o sistema dispersivo de energia (EDS) KeveX, acoplado à microsonda.