

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS
MINERALOGIA E GEOQUÍMICA DA ZONA DE ALTERAÇÃO
DO DEPÓSITO DE SALOBO, SERRA DOS CARAJÁS

Tese Apresentada por

SILVIA MARIA PEREIRA FLORES

como requisito parcial à obtenção do grau em

MESTRE EM CIÊNCIAS

Na área de

GEOQUÍMICA

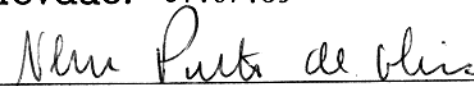
Conferido pelo Curso de Pós-Graduação em

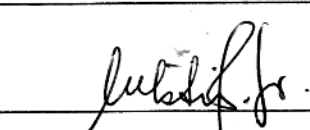
Geociências da

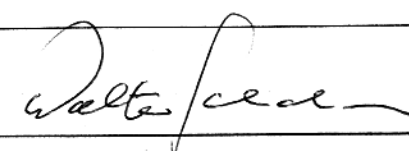
Universidade Federal do Pará

Aprovado: 31.07.89

Comitê de Tese


NILSON PINTO DE OLIVEIRA


MARIA CRISTINA TOLEDO-GROKE


WALTER KLAUS SCHUCKMANN

Aos meus pais Adamor e Nice pelo apoio.

Ao meu marido Cláudio pela colaboração e incentivo.

Aos meus filhos Cláudio e Fábio pelo tempo e atenção que lhes foi subtraído.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de registrar meus agradecimentos às pessoas e entidades que, de alguma forma, tornaram possível a realização deste trabalho.

À FINEP, financiadora do Projeto Intemperismo, o qual cobriu os custos desta pesquisa.

À DOCEGEO - Geologia e Mineração S/A, pelo fornecimento de todas as amostras utilizadas.

Ao Núcleo de Tecnologia Mineral da UFPA - NUTEM, pelo apoio ao tema e desenvolvimento desta pesquisa.

Ao Prof. Dr. Nilson Pinto de Oliveira, pela orientação segura, pelo estímulo e por me haver ensinado a vencer os desafios com determinação e espírito científico.

À Prof. Dra. Maria Cristina Toledo-Groke, pelas sugestões que contribuíram para o enriquecimento deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Walter Schuckmann pela valiosa ajuda na difratometria de raios-X.

Aos professores Manoel Quaresma da Costa e Antonio Vaquera Vargas pelo auxílio nas análises químicas e na fase de utilização do computador.

Aos funcionários do Centro de Geociências da UFPA, Cleida, Gilmar, Vitória, Vânia, Carmem, Adalberto e às bibliotecárias Márcia Leite e Leila Lima que contribuíram sempre com boa vontade.

Agradeço finalmente aos colegas, a amiga Vanda Porpino Lemos e a minha irmã Sandra Pereira Correa, os quais em várias oportunidades, com carinho, ajudaram a vencer as dificuldades desses anos de trabalho.

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	1
AGRADECIMENTOS	ii
SUMÁRIO	iii
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	iv
RESUMO	v
ABSTRACT	vi
1 INTRODUÇÃO.....	5
2 CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ÁREA DE ESTUDO.....	7
2.1 Aspectos Geográficos.....	7
2.1.1 Localização.....	7
2.1.2 Clima.....	7
2.1.3 Hidrografia.....	7
2.1.4 Vegetação e Fauna.....	9
2.2 Geologia da Área.....	10
2.2.1 Aspectos Regionais.....	10
2.2.2 Aspectos Locais.....	15
2.2.2.1 Estratigrafia.....	15
2.2.2.2 Mineralização.....	18
2.2.2.3 Modelo Idealizado do Perfil de Alteração.....	19
3 TRABALHOS ANTERIORES SOBRE O DEPÓSITO DE SALOBO 3A....	21
4 A ESTRUTURAÇÃO GERAL DO DEPÓSITO DE COBRE DO SALOBO 3A	29
5 MATERIAIS E MÉTODOS.....	34
5.1 Amostragem.....	34
5.2 Análises Mineralógicas.....	34
5.3 Análises Químicas.....	35
6 ESTRUTURA E MINERALOGIA DOS PERFIS ESTUDADOS.....	36
6.1 Mineralogia do Perfil F-31.....	38
6.2 Mineralogia do Perfil F-46.....	42

6.3	Mineralogia do Perfil F-47.....	44
6.4	Estruturação Geral dos Perfis Estudados.....	46
7	GEOQUÍMICA.....	50
7.1	Generalidades.....	50
7.2	Distribuição dos Elementos Maiores.....	55
7.3	Distribuição dos Elementos Traços.....	65
8	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	72
9	CONCLUSÕES.....	99
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	102
	ANEXOS.....	112

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURAS		PAG.
01	Localização da Jazida de Cobre Salobo 3A, Serra dos Carajás.....	8
02	Coluna Estratigráfica Informal da Província Mineral de Carajás.....	17
03	Mapa Geológico simplificado do Salobo 3A.	16
04	Perfil típico idealizado da alteração sobre a Jazida de Cobre Salobo 3A, Serra dos Carajás.....	20
05	Seção Geológica SW/NE do Depósito de Salobo, evidenciando o furo F-31.....	30
06	Seção geológica SW/NE no Depósito de Salobo, evidenciando o furo F-46.....	31
07	Seção Geológica SW/NE no Depósito de Salobo, evidenciando o furo F-47.....	32
08	Estruturação do Perfil F-31.....	37
09	Estruturação do Perfil F-46.....	38
10	Estruturação do Perfil F-47.....	39
11	Mineralogia do Perfil F-31.....	41
12	Mineralogia do Perfil F-46.....	43
13	Mineralogia do Perfil F-47.....	45
14	Distribuição do SiO_2 ao longo dos Perfis (a) F-31; (b) F-46; (c) F-47.....	56
15	Distribuição do Al_2O_3 ao longo dos Perfis (a) F-31; (b) F-46; (c) F-47.....	56
16	Distribuição do TiO_2 ao longo dos Perfis (a) F-31; (b) F-46; (c) F-47.....	58
17	Distribuição do Fe_2O_3 ao longo dos Perfis (a) F-31; (b) F-46; (c) F-47.....	58
18	Distribuição do CaO ao longo dos Perfis (a) F-31; (b) F-46; (c) F-47.....	60
19	Distribuição do MgO ao longo dos Perfis (a) F-31; (b) F-46; (c) F-47.....	60
20	Distribuição do Na_2O ao longo dos Perfis (a) F-31; (b) F-46; (c) F-47.....	62
21	Distribuição do K_2O ao longo dos Perfis (a) F-31; (b) F-46; (c) F-47.....	62

22	Distribuição do CuO ao longo dos Perfis (a) F-31; (b) F-46; (c) F-47.....	64
23	Distribuição do MnO ao longo dos Perfis (a) F-31; (b) F-46; (c) F-47.....	64
24	Distribuição do Mo ao longo dos Perfis (a) F-31; (b) F-46 (c) F-47.....	67
25	Distribuição do Ni ao longo dos Perfis (a) F-31; (b) F-46; (c) F-47.....	67
26	Distribuição do Au ao longo dos Perfis (a) F-31; (b) F-46; (c) F-47.....	69
27	Distribuição da Ag ao longo dos Perfis (a) F-31; (b) F-46; (c) F-47.....	69
28	Distribuição do Co ao longo dos Perfis (a) F-31; (b) F-46; (c) F-47.....	71
29	Evolução esquemática dos Minerais nos Perfis estudados - Salobo 3A.....	73
30	Diagrama triangular $SiO_2/Al_2O_3/Fe_2O_3$ das análises químicas dos Perfis F-31; F-46; F-47.....	74
31	Relação entre os teores de CuO e MgO no Perfil F-31.....	78
32	Relação entre os teores de CuO e K_2O no Perfil F-46.....	78
33	Relação entre os teores de CuO e MgO no perfil F-46.....	79

TABELAS

01	Análises Químicas do Perfil F-31.....	51
02	Análises Químicas do Perfil F-46.....	52
03	Análises Químicas do Perfil F-47.....	54
04	Coefficientes de correlação do Perfil F-31 (a) Horizonte Argilo-Minerais 7Å..... (b) Horizonte Argilo-Minerais 15Å e Inter estratificados..... (c) Horizonte Zona de Relictos.....	91 92 93
05	Coefficientes de Correlação do Perfil F- 46. (a) Horizonte Argilo-Minerais 7Å..... (b) Horizonte Argilo-Minerais 10Å (c) Horizonte Argilo-Minerais 15Å e In-	94 95

	terestratificados.....	96
06	Coefficientes de Correlação do Perfil F-47.	
	(a) Horizonte Argilo-Minerais 10A.....	97
	(b) Horizonte Argilo-Minerais 15A.....	98
QUADRO		
01	Minerais de cobre detectados nos perfis estudados.....	40

Silvia

RESUMO

O depósito de cobre Salobo 3A, localizado na Província Mineral de Carajás, Estado do Pará, é parte de um conjunto de ocorrências cupríferas sulfetadas, numa seqüência de rochas metassedimentares e metavulcânicas, que apresenta mais de 70 km de extensão.

O produto resultante da alteração, em clima equatorial dessas rochas mineralizadas atinge de 70 a 100 m de espessura e apresenta como particularidade a ausência de mineralização cuprífera típica de zonas de oxidação, conservando no entanto, aproximadamente, os teores de cobre do minério primário.

Para esta pesquisa foram selecionados três perfis para estudos mineralógicos e geoquímicos, visando identificar as fases suporte do Cu, tão bem como o comportamento de alguns elementos importantes (Ni, Co, Au, Ag, Mo) ao longo dos perfis.

Os estudos mineralógicos permitiram concluir que os perfis estudados apresentam baixo grau de maturidade. Em conseqüência disso só foi possível a caracterização de horizontes nos perfis a partir da identificação da natureza dos argilo-minerais presentes, os quais foram identificados como: argilo-minerais 15Å (esmectita, vermiculita), 10Å (ilita), 7,Å (caolinita) e interestratificados (hidrobiotita).

Os dados obtidos permitem concluir que:

- a) as fases suporte de cobre mais importantes são os produtos de alteração das biotitas: hidrobiotita e vermiculita.
- b) o Ni, após sua liberação dos minerais primários, parece permanecer ligado à esmectita e em alguns casos à vermiculita, quando em profundidade. Próximo à superfície ou em perfis mais maduros, o Ni parece estar associado aos óxi-hidróxidos de Fe e Mn.
- c) na desestabilização dos minerais ferro-magnesianos, o Co liberado parece permanecer nos perfis, adsorvido sobre os óxi-hidróxidos de Fe e Mn.
- d) o Au, originado provavelmente dos xistos mais magnéticos, demonstra encontrar-se associado aos minerais secundários de Fe, podendo também estar adsorvido em argilas, próximo à superfície.
- e) a Ag pode estar originalmente substituindo parte do Cu na calcopirita e na desestabilização desta, associar-se principal-

mente aos óxidos de Mn e hidróxidos de Fe.

f) o Mo, originário da molibdenita, deve estar adsorvido nos óxi-
-hidróxidos de Fe ou sobre minerais de argila, sendo necessá-
rio estudos mais detalhados para conclusões mais precisas.

Embora fosse esperado enriquecimento laterítico em Cu nos solos do Salobo, o que foi observado é que existe apenas conservação temporária desse elemento nas fases intermediárias de alteração das biotitas as quais uma vez alteradas até o ponto de filossilicatos 1:1, com o amadurecimento do perfil, tenderão a perder esse Cu, lixiviado pelas águas de percolação.

ABSTRACT

The Salobo 3A copper deposit as well as other copper sulphide occurrences are found in the Carajas Mineral Province, in the state of Pará. Those deposits occur in a sequence of metasedimentary and metavolcanic rocks.

The products of weathering in a tropical climate reach a thickness of 70 to 100 m. It is noteworthy the absence of the typical copper mineralization of oxidation zones although the copper contents of the primary ore minerals does not change.

In this study we analysed three profiles intending to identify the copper-bearing minerals and the behaviour of elements of interest such as Ni, Co, Au, Ag and Mo.

Mineralogical studies lead to the conclusion that those profiles show "a low grade of maturity". As a consequence it was possible to characterize horizons only by the type of clay minerals.

These were classified as: clay minerals 15Å (smectite, vermiculite), 10Å (illite), 7Å (kaolinite) and mixed layered (hydrobiotite).

From these data we deduce:

a) the most important copper-bearing minerals are the weathering products of biotite-hydrobiotite and vermiculite.

b) Ni seems to be held in smectite and, in some instances, in vermiculite, after its release from the primary minerals. Near the surface or in mature profiles, Ni appears to occur in the oxides and hydroxides of Fe and Mn.

c) Co seems to remain in the profiles adsorbed in oxides and hydroxides of Fe and Mn after its release owing to weathering of ferromagnesian minerals.

d) Au is associated with Fe-bearing secondary minerals and is, probably, derived from magnetite schists; near the surface, it is probably adsorbed on clay minerals.

e) Ag probably replaces Cu in chalcopyrite and, during alteration of this mineral, becomes associated with Mn-oxides and Fe hydroxides.

f) Mo is derived from molybdenite and apparently is adsorbed in Fe-oxides and hydroxides or in clay minerals. However, further studies are necessary to detail its occurrence.

It could be expected that lateritic enrichment of Cu would take place in the soils of the Salobo region, however, data show that this element remains temporarily in intermediate phase minerals of alteration of biotites. If weathering proceeds to a mature phase biotite changes to 1:1 phyllosilicates and Cu will be lost through leaching by surface waters.

1 INTRODUÇÃO

O termo "Laterita" foi originalmente introduzido por Buchanan-Hamilton, em 1807, para descrever uma rocha ferruginosa, mole, que foi explorada no sul da Índia, para blocos de construção (Alexander e Cady, 1962; Loughnan, 1969). Desde então, o modo de formação das lateritas, assim como sua natureza e composição, têm sido assunto bastante polêmico, uma vez que inclui uma grande variedade de materiais.

Segundo Grim (1968), solos lateríticos são formados sob condições de alta temperatura e muita chuva, geralmente sazonal, onde silicatos primários, são rapidamente destruídos, e a extensiva chuva causa a rápida remoção em solução de alguns álcalis e alcalino-terrosos; sob tais condições, de baixa alcalinidade, a sílica tende a ser dissolvida e removida, com contínua concentração de alumina e óxido de ferro, na parte superior da zona de intemperismo. Conseqüentemente, nestes termos, o conceito de lateritas tende a ser restringido a camadas de solo específicas, ricas em sesquióxidos, possivelmente formadas sob a influência de condições das águas subterrâneas.

Em anos recentes, o termo laterita tem se estendido a produtos de intemperismo, em climas tropicais onde alguns elementos traços, tais como P, Mn, Ti, Ni, Nb, TR, Cu, dentre outros, podem ser enriquecidos com elementos principais tais como: Fe^{3+} e Al^{3+} VALETON, 1972; Oliveira, 1977, Valarelli, et al., 1978; Bernardelli e Beisiegel, 1979; Costa et al., 1980; Issler, 1980; Melfi et al., 1980; Oliveira, 1980; Oliveira e Schwab, 1980; DOCEGEO, 1981; Bernardelli, 1982; Costa, 1982; Monteiro e Oliveira, 1982; Siqueira e Lima, 1982; Bernardelli et al., 1983; Schwab, et al., 1983; Alves et al., 1984; Correa et al., 1984; Fonseca e Rigon, 1984; Justo e Souza, 1984; Oliveira e Costa, 1984; Schwab et al., 1985; Alves et al., 1986; Coelho e Rodrigues, 1986; Costa e Costa, 1987; Lemos e Costa, 1987].

Este trabalho desenvolve-se sobre uma laterita cuprífera, localizada na Serra dos Carajás Estado do Pará: o Depósito de Cobre Salobo 3A. O referido depósito é parte de um conjunto de depósitos e ocorrências cupríferas sulfetadas, numa seqüência de rochas metassedimentares e metavulcânicas (Toledo-Groke, 1986), constituindo uma faixa com mais de 70 km de extensão, com direção N70°W, localizada a norte do flanco setentrional do sin-

clinório de Carajás (Farias e Saueressig, 1982b).

A alterita formada em clima equatorial, sobre as rochas mineralizadas, convencionalmente chamada de minério alterado, atingindo até cerca de 100 m de espessura, tem como característica maior não apresentar mineralização cuprífera típica de zonas de oxidação, conservando no entanto, aproximadamente, os teores de cobre do minério primário (1,06% CuO para o minério primário e 0,96% CuO para o minério alterado, de acordo com Farias e Saueressig, 1982b).

A destruição intempérica dos sulfetos, gerou uma redistribuição do cobre em diversas fases secundárias, fixando-o além da malaquita, em fases manganésíferas, ferruginosas e silicáticas, sendo estas últimas as mais importantes (Parisot, comunicação oral, 1989).

Esta pesquisa tem por objetivo, o estudo global do perfil de alteração, baseado na mineralogia e geoquímica de três furos de sondagem, visando a definição dos grandes horizontes do perfil de solo, da caracterização e da evolução da mineralogia, ao longo dos perfis, estudando a distribuição dos elementos principais e traços mais importantes na zona de alteração.

2 CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ÁREA DE ESTUDO

2.1 Aspectos Geográficos

2.1.1 Localização

A jazida de cobre Salobo 3A, está localizada no Estado do Pará, na Província Mineral de Carajás, Microregião de Marabá, eixo do médio Tocantins (DOCEGEO, 1981), à margem direita do Igarapé Salobo, afluente do rio Itacaiunas, entre os paralelos $5^{\circ}46'42''$ e $5^{\circ}48'12''$ sul e os meridianos $50^{\circ}31'24''$ e $50^{\circ}33'41''$ oeste (Fig. 1). Encontra-se a cerca de 60 km a noroeste das grandes jazidas de Carajás, e a 140 km a sudoeste de Marabá; em linha reta, dista 520 km de Belém.

A província Mineral de Carajás, com área aproximada de 120.000 km^2 , tem como principais acidentes geográficos, ao norte, a Serra dos Carajás, abrangendo várias unidades, as quais recebem denominações locais (Norte, Sul, Leste, Sereno, Salobo, Cinzento, Arqueada, São Félix, etc) a sudoeste a Serra dos Graaús e a sudeste a Serra Andorinhas.

2.1.2 Clima

A natureza do clima atual da região contribui na formação de depósitos minerais supérgenos residuais e caracteriza-se por um regime de chuvas de duas estações bem definidas e contrastantes: uma estação chuvosa, representando 90% do total das precipitações anuais, que vai de novembro a maio, e uma estação seca, num período mais curto, indo de junho a outubro, com precipitações esporádicas.

De 1969 a 1979, a média anual de chuvas atingiu 2.203 mm, sendo que destes, apenas 66 mm referem-se ao período seco, segundo dados da AMZA - Serra dos Carajás (in DOCEGEO - 1981). A umidade dos platôs é bem menor que nas áreas baixas. A temperatura média oscila entre 19° e 31°C .

2.1.3 Hidrografia

A maior parte da área é drenada pelo rio Itacaiunas e seus afluentes (Parauapebas e Vermelho os maiores e Águas

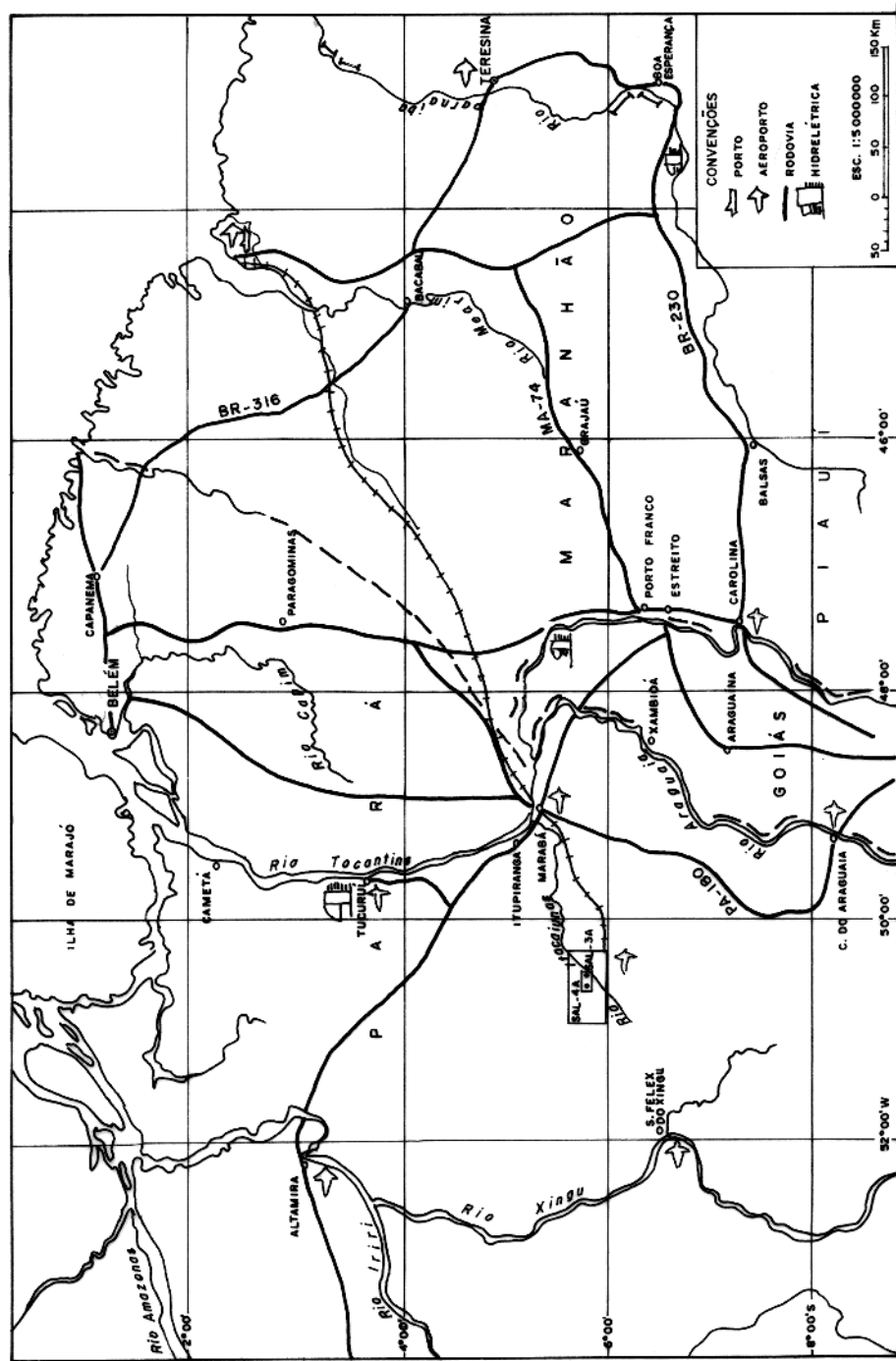


FIG. 1 - Localização da Jazida de Cobre Salobo 3A, Serra dos Carajás, segundo DOCEGEO (1981)

Claras, Azul, Cinzento, Tapirapé, Preto, Aquiri, etc, os menores), atravessando a região serrana no sentido sul para norte, por vezes formando depressões afuniladas.

O rio Itacaiunas é um rio sinuoso com larguras variáveis de 80 a 200 m, constituído de estirões e trechos encaixoeirados, caracterizado por declives fortes, com suas cabeceiras na região do paralelo 7°00'S (DOCEGEO, 1981).

2.1.4 Vegetação e Fauna

A Serra dos Carajás é toda revestida de floresta, variando entretanto quanto à ocupação morfológica e à densidade (BRASIL, D.P.M. Projeto RADAM, 1974).

A floresta é dividida em três tipos:

- Floresta Densa Montana:

Dominada pelo "pau-preto", cobrindo cerca de 350 km² da parte mais alta da Serra dos Carajás (cerca de 700 m de altitude).

- Floresta Densa Submontana:

Estendendo-se por 13.500 km² de área arrasada, e dos contrafortes mais baixos, caracterizada pela castanheira e dominada pelo "breu-preto".

- Floresta Aberta:

Estendendo-se por uma área de 4.500 km², revestindo a superfície aplainada, capeada por sedimentos arenosos, caracterizada sobretudo pelo babaçu e grandes árvores de castanheira.

A fauna encontrada na região é bastante rica e variada, mas tem sido pouco estudada. Os mamíferos de grande porte são escassos enquanto que os mamíferos menores, as aves, anfíbios e os insetos são numerosos e diversificados. Os peixes são abundantes no rio Itacaiunas.

Pesquisadores do Museu Goeldi de Belém, identificaram na área uma espécie nova de quelônio, a qual denominaram *Kinosternon Scorpioides Carajasensis* (DOCEGEO, 1981).

2:2 Geologia da Área

2.2.1 Aspectos Regionais

Regionalmente, a Província Mineral de Carajás compreende a área limitada a leste pelos rios Araguaia-Tocantins, a oeste pelo rio Xingu, a norte pelas Serras do Bacajá, a sul pela Serra de Gradaúa, e que corresponde à porção mais oriental da plataforma Amazônica de Suszcznski (1969) e Ferreira (1969) (in DOCEGEO, 1981).

A estratigrafia regional proposta em vários trabalhos (Hirata et al., 1982; DOCEGEO, 1981; Santos, 1981; e outros) é apresentada na Fig. 2, correspondendo a:

- Complexo Xingu:

Constituindo grande parte da estratigrafia regional, compreende rochas polimetamórficas (gnaisses, anfibolitos, migmatitos, granitos, cataclasitos, milonitos), incorporando também seqüências do tipo "Greenstone Belts" (Andorinhas), além de complexos básicos-ultrabásicos estratificados de fácies granulítico da área Pium (Windley e Bridgwater, 1970 in: Hirata, et al., 1982). Em geral, essas rochas, afloram ao longo dos rios, ou em áreas de topografia arrasada. A idade mais antiga observada em rochas deste complexo, foi de 3.300 m.a.

- Seqüência Salobo-Pojuca:

Estão aqui agrupadas as seqüências de rochas definidas nas áreas Salobo 3A e Pojuca, e outras áreas a elas correlacionadas (Buritirama, Serra do Igarapé Cinzento e Salobo área Cigano, Jaca, Cumaru, etc). Estas áreas são topograficamente mais elevadas, formando serras lineares, segundo a direção WNW, com rochas metassedimentares submetidas a metamorfismo de alto grau (fácies anfibolito) e retrometamorfisadas até fácies xisto verde. Esta seqüência é cortada por intrusivas de diferentes naturezas.

Na área Salobo 3A existe um pacote de xistos ricos em ferro, portador de mineralização de cobre, com ouro e molibdênio subordinados, o qual encontra-se encaixado em gnaisses e

ERA	PERÍODO	UNIDADES		LITOLOGIAS
PROTEROZOICO	PALEOZOICO	SEDIMENTOS DA BACIA DO MARANHÃO		Sedimentos clásticos, principalmente, evaporitos, vulcânicas básicas toleíticas
		SUPER-GRUPO BAIXO ARAGUAIA GRUPO TOCANTINS GRUPO ESTRONDO		Intrusivas máficas e ultramáficas (S. Tapa) Filitos, quartzitos, grauvacas, rochas carbonatadas, biotita-xistos, gnáisses.
	MÉDIO	FORMAÇÃO GOROTIRE		Arenitos, às vezes conglomeráticos, feldspáticos.
	GRUPO UATUMÁ	IRIRI GRANITO VELHO SOBREIRO GUILHERME		Riolitos, riolacitos, piroclásticos. Corpos intrusivos (Velho Guilherme) graníticos a granodioríticos portadores de Sn. Basaltos, andesitos passando a riolacitos no topo; piroclásticos
	INFERIOR	FORMAÇÃO RIO FRESCO GRANITO SERRA DOS CARAJÁS		Conglomerados, arenitos, siltitos, folhelhos, chert, níveis carbonatado, às vezes manganesíferos (Azul); ocorrência Au, Cu (S. Pelada, Bahia) vulcânicas básicas, formação ferrífera (área Bahia), corpos intrusivos de composição granítica a granodiorítica (S. Carajás).
	GRUPO GRÃO PARÁ			Metavulcânicas máficas, Itabiritos (S. Carajás - N1, N4, S11, etc...)
	SEQUÊNCIA TIPO SALOBO - POJUÇA			Gnáisses, xistos (anfíbólio-granada-magnetita-sulfetos de cobre), quartzitos (Sal-3A). Lateralmente anfíbólio xistos, meta-basaltos formações ferríferas bandeadas, rocha à antofilita-cordierita, sulfetos maciços Cu-Zn (Pojuca) e biotita xistos, quartzito, mármore manganesíferos (Buritirama).
	ARQUEANO	COMPLEXO XINGU (incorporando greenstone - belts)		Gnáisses, enclaves de anfibólitos, granitos, migmatitos, granulitos Greenstone-belts/granitóides (gb) - sequências vulcânicas diferenciadas, ultramáficas - máficas - félsicas, em fácies xistos verdes, grauvacas, arcósios siltitos, formações ferrífera bandeadas, chert/granitos granodioritos, trondhjemitos, ocorrências de Au, Ni (Andorinhas, Vermelho) Complexos básicos-ultrabásicos estratificados de fácies granulítico com anortositos (área Plum)

FIG. 2 - COLUNA ESTRATIGRÁFICA INFORMAL DA PROVÍNCIA MINERAL DE CARAJÁS, SEGUNDO HIRATA ET AL. (1982).

quartzitos.

- Grupo Grão-Pará:

Compreende três unidades litológicas, sendo que apenas a do meio foi formalmente designada Formação Carajás. As unidades superior e inferior, são vulcânicas basálticas, representando derrames com possíveis contribuições piroclásticas.

A Formação Carajás é constituída essencialmente por itabiritos, que são rochas laminadas de granulação fina, constituídas de bandas de quartzo e bandas ricas em hematita e magnetita com magnetita subordinada.

Este grupo é portador das jazidas de ferro da Serra dos Carajás.

- Formação Rio Fresco:

Esta formação ocorre tipicamente no sinclínório de Carajás. Trata-se de uma seqüência transgressiva com clásticos grosseiros na base clásticos mais finos, até sedimentos químicos no topo. As mineralizações conhecidas parecem estar relacionadas à seqüência mais superior de depósitos finos e sedimentos químicos. Inclui-se nesta formação também, conglomerados, arenitos, siltitos, folhelhos, chert, níveis carbonatados manganésíferos (jazida de manganês do Azul), ocorrências de ouro (Serra Pelada - dobra com metamorfismo incipiente), cobre (Bahia), formação ferífera bandeada, além de manifestações vulcânicas básicas subordinadas (basaltos e diabásios).

- Granito Serra dos Carajás:

Compreende diversos maciços, grosseiramente circulares, de dimensões variadas (25 a 65 km de diâmetro), e composição variando de granítica-granodiorítica, geralmente com biotita associada. Existem na área, exposições que mostram que esses corpos são intrusivos na Formação Rio Fresco.

- Grupo Uatumã

Agrupam rochas vulcânicas não metamorfisadas e não

dobradas, constituídas por uma seqüência diferenciada de basal^utos, andesitos, riódacitos e rochas piroclásticas. Este grupo compreende a Formação Sobreiro, de caráter intermediário, e a Formação Iriri, predominantemente félsica, com riódacitos, piroclásticos, ignimbritos, granófiros, etc.

Ocorrem intrusões graníticas, cujas idades variam desde 1.800 m.a. (Granito Serra dos Carajás, associado à Formação Rio Frescol a 1.400 m.a. (Granito Velho Guilherme, associado ao Grupo Uatumã com características sub-vulcânicas). As intrusões mais recentes são frequentemente portadoras de estanho.

- Formação Grotire:

Compreende arenitos (feldspáticos ou conglomeráticos), siltitos e argilitos, que ocorrem tipicamente na Serra do Grotire.

- Supergrupo Baixo Araguaia:

Reune os Grupos Tocantins e Estrondo, anteriormente denominado Faixa Orogênica Araguaia-Tocantins do Projeto RADAMBRASIL.

O Grupo Estrondo se compõe de rochas metamórficas de fácies anfíbolito, com xistos, gnaisses, migmatitos, quartzitos e xistos magnesianos. O Grupo Tocantins, apresentando metamorfismo de fácies xisto verde, com filitos, quartzitos e calcários. São frequentes as ocorrências de rochas intrusivas ultrabásicas, principalmente associadas ao Grupo Tocantins.

- Sedimentos da Bacia do Maranhão

Rochas paleozóicas, constituídas por sedimentos clásticos principalmente, calcários e evaporitos, além de manifestações vulcânicas básicas, de natureza toleítica.

Nos últimos 20 anos inúmeros trabalhos foram realizados nesta região, tanto por empresas de mineração como por entidades de pesquisa (DOCEGEO, Projeto RADAMBRASIL, Cia Meridional de Mineração, UFPA, UnB, USP, entre outros), contribuindo para o seu conhecimento geológico (Vieira et al., 1988). Da continuação dos trabalhos, foram obtidos significativos avanços no co

nhecimento da geologia da Província Mineral de Carajás, evidenciando a necessidade de revisão e atualização da coluna estratigráfica informal proposta por Hirata et al. (1982) (Fig. 2).

Recentemente, Gibbs et al. (1986) e Wirth et al. (1986), utilizando o método U/Pb, dataram rochas félsicas e máficas da Formação Parauapebas (Vulcânica Inferior) do Grupo Grão Pará, notando que este possuía idade Arqueana, de 2.750 m.a., em contraste aos 2.000 m.a. admitidos até então por vários autores. Constataram também, que as grandes massas de formações ferríferas oxidadas, tidas como proterozóicas, formaram-se também no Arqueano. Wirth et al. (1986), estudando quimicamente os basaltos do Grupo Grão-Pará, chegaram à conclusão que estes mostravam características tais, que levaram os autores a admiti-los como tendo atravessado uma crosta sílica pré-existente. As alternativas para esse provável embasamento, apontaram para o Complexo Xingu ou terrenos granito - "greenstone".

Com base nos dados disponíveis até o presente a DOCEGEO propõe uma síntese estratigráfica, onde a nível regional, as litologias da área do Salobo 3A estão inseridas no Complexo Xingu e Supergrupo Itacaiunas - Grupo Salobo (DOCEGEO, 1988).

O Complexo Xingu constitui o embasamento cristalino da região; é formado por granitos, gnaisses, migmatitos, anfibolitos, dioritos, grenodioritos, tonalitos. As idades radiométricas obtidas pelo método Rb/Sr, acusam valores entre 2,9 e 2,8 b.a. para essas rochas, evidenciando o retrabalhamento das mesmas no Ciclo Transamazônico.

O metamorfismo é de grau alto, e o embasamento normalmente incorpora seqüências vulcano-sedimentares de baixo grau metamórfico, tipo greenstone-belts (Andorinhas, Inajá, Gradaús, etcl). O Supergrupo Itacaiunas, engloba seqüências vulcano-sedimentares formadas após a evolução dos terrenos greenstone-belts, com idades que variam entre 2,6 e 2,7 b.a. (Gibbs et al, 1986 ; Ferreira Filho, 1985). O Supergrupo Itacaiunas é formado pelos grupos Grão-Pará, Igarapé Bahia, Itacaiunas, Buritirama e Igarapé Salobo, os quais contêm importantes jazimentos de ferro, manganês e cobre.

2.2.2 Aspectos Locais

2.2.2.1 Estratigrafia

A seqüência Salobo, segundo Hirata et al. (1982), Farias e Saueressig (1982 b), BRASIL, DNPM - Projeto RADAM (1974), Beisiegel et al. (1973) e Vieira et al. (1988), é constituída por um pacote de rochas metassedimentares, com metavulcânicas bá_sicas subordinadas, possivelmente do Arqueano (Fig. 3).

As camadas apresentam direção N70W com mergulhos acentuados para NE e SW. A tectônica rúptil foi bastante acentuada, produzindo fraturamento de direção NNE e WNW.

O conjunto foi submetido a metamorfismo fácies anfibolito alto retrometamorfisado até fácies xisto verdes.

As rochas metassedimentares da seqüência Salobo, podem ser agrupadas em cinco unidades estratigráficas principais. Do topo para a base tem-se:

- I - Quartzito
- II - Gnaíse Superior
- III - Formação Ferrífera Bandeada
- IV - Xisto
- V - Gnaíse Inferior

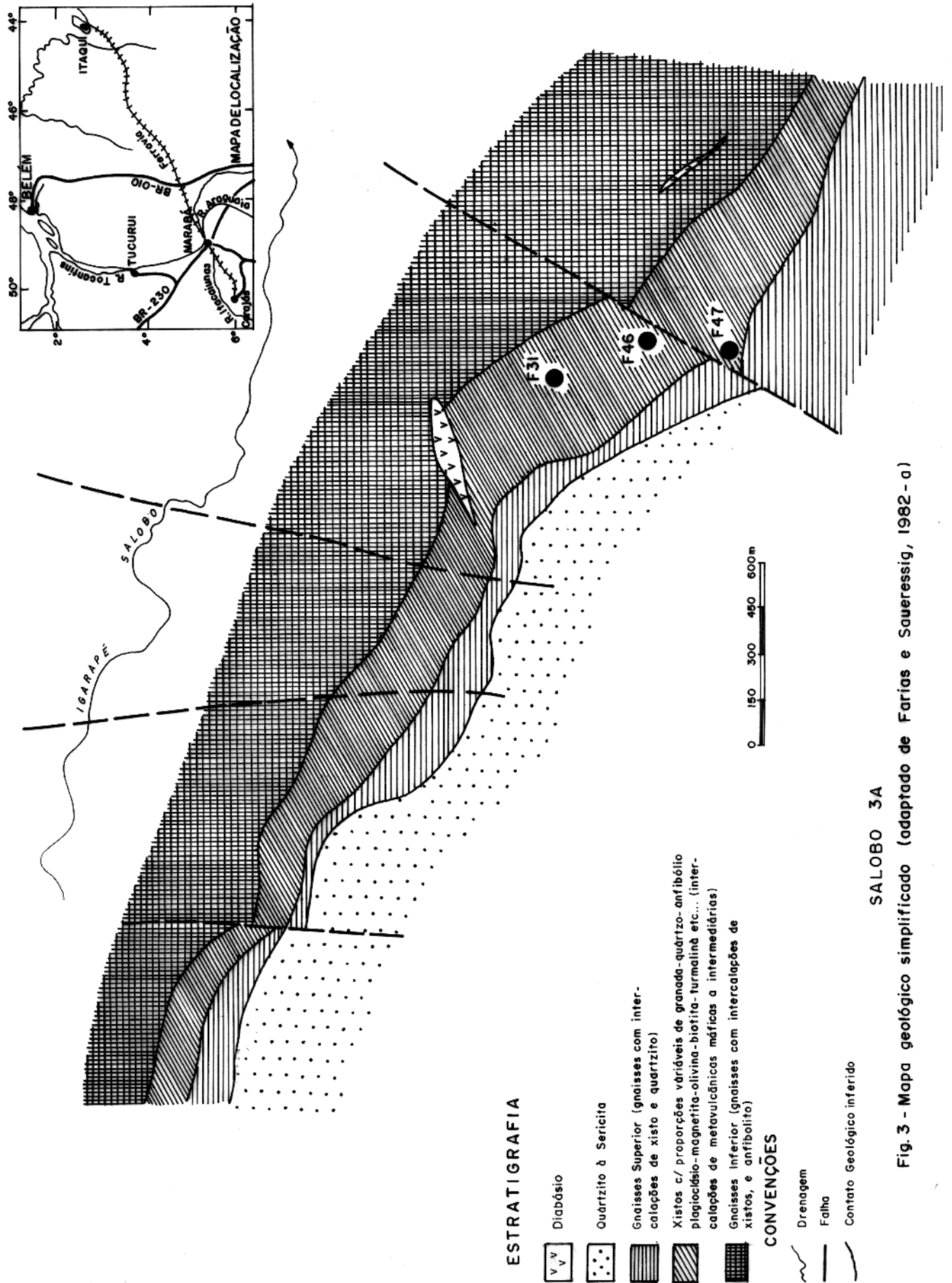
I - Quartzito:

É a unidade que sustenta a topografia, com níveis homogêneos, constituídos por quartzo (80-90%) e sericita/muscovita, podendo ainda ocorrer plagioclásio, K-feldspato, hornblenda, clorita, turmalina, granada e zircão subordinado. Forma um platô de 100 m de largura máxima, e cerca de 2 km de extensão, com espessuras da ordem de 100 a 150 m.

II - Gnaíse Superior:

Constitui uma zona de transição entre o quartzito e os xistos, com espessura média de 100 a 200 m.

Ocorrem gnaisses tonalíticos, de coloração cinzenta, granulação fina a média, com texturas granoblásticas, granolepidoblásticas e ocasionalmente granonematoblásticas. Plagioclá



ESTRATIGRAFIA

- Diabásio
- Quartzito à Sericita
- Gnaisses Superior (gnaisses com intercalações de xisto e quartzito)
- Xistos c/ proporções variáveis de granada-quartzó-anfibólio-plagioclásio-magnetita-olivina-biotita-turmalina etc... (intercalações de metavulcânicas máficas a intermediárias)
- Gnaisses Inferior (gnaisses com intercalações de xistos, e anfibolito)

CONVENÇÕES

- Drenagem
- Falha
- Contato Geológico inferior

SALOBO 3A

Fig. 3 - Mapa geológico simplificado (adaptado de Farias e Saueressig, 1982 - a)

sio (variedade albita, geralmente o mais abundante, representando 40 a 60 %), seguido por quartzo (20 a 40 %) e clorita (15 a 20 %), proveniente da alteração de minerais ferro-magnesianos, podendo ocorrer ainda hornblenda, biotita, turmalina, alanita, zircão, opacos, etc.

Os xistos e quartzitos intercalados, são semelhantes aos das unidades xistos e quartzitos.

Eventualmente podem ocorrer sulfetos de cobre nesta unidade, principalmente em níveis mais máficos de gnaisses tonalíticos.

Os contatos com o pacote de xistos sottopostos são concordantes e transicionais.

III - Formação Ferrífera Bandeada

São formações ferríferas descontínuas, fácies óxido, com espessuras máximas inferiores a 30 m, e extensão lateral de aproximadamente 300 m.

Sua mineralogia se constitui de quartzo microcristalino e magnetita, distribuídos em bandas milimétricas.

Ocorrem normalmente no interfácies gnaisses-superior-xistos, podendo no entanto ocorrer estratigraficamente acima.

IV - Xistos:

É a unidade que comporta as rochas portadoras da maior parte da mineralização cuprífera, sendo portanto, a mais importante. Estão encaixados entre gnaisses de maneira concordante e transicional. Sua espessura varia de 200 a 500 metros.

Ocorre aí, uma grande variedade de tipos litológicos, baseada na variação de abundância relativa dos minerais presentes.

Apesar de existir nos xistos uma relação distinta e direta entre a quantidade de magnetita e o conteúdo em sulfetos, frequentemente ocorrem níveis com elevada quantidade de sulfetos e pouca ou nenhuma magnetita. Além disso, apesar de haver também relacionamento direto entre grunerita e/ou granada e sulfetos, associados à magnetita, ocorrem sulfetos, frequentemente em quantidade bastante expressiva, em unidades onde há predomí-

nio de biotita.

As rochas desta unidade, podem dividir-se em dois grupos:

- Xistos Magnetíticos:

Rochas pretas a esverdeadas com textura porfiroblástica ou granoblástica, de granulometria variável. Ocorrência de rochas, constituindo níveis de espessura decimétrica a métrica, com elevadas proporções de magnetita e silicatos com elevado teor de ferro (Formação Ferrífera, fácies óxido-silicato, segundo Martins et al., 1982), contendo a maior parte da mineralização cuprífera do Salobo. Os minerais de minério, são predominantemente bornita e calcocita, com calcopirita aumentando em direção à base dos xistos.

- Xistos Estéreis:

Rochas de cor cinza a verde escuro, com textura porfiroblástica e granoblástica, não portadoras de mineralização ou onde os teores em cobre são menores que 0,3 % Cu em peso.

Nestas rochas ocorrem intercalações de rochas vulcânicas de composição básica.

O contato com o gnaiss inferior é concordante e transicional.

V - Gnaiss Inferior:

É a unidade que compõe a lapa dos xistos. Compreende gnaisses tonalíticos, semelhantes aos do Gnaiss Superior, anfibolito e xistos subordinados. Eventualmente apresenta-se mineralizada, com calcopirita em fraturas e disseminada. Sua espessura é desconhecida, assim como suas relações com o Complexo Xingu.

2.2.2.2 Mineralização

A mineralização em cobre da jazida Salobo 3A, ocorre predominantemente na forma de sulfetos de ferro, associados entre si ou à magnetita e mais raramente à ilmenita, hematita, pi-

rita, grafita e molibdenita. São representados principalmente por bornita e calcocita, perfazendo 85 % dos minerais de cobre e também por calcopirita, e secundariamente covelita e digenita (Martins et al., 1982). Cobre nativo, embora raro, mostra-se em fraturas, nas zonas alteradas, bem como malaquita e smithsonita. Outros minerais presentes são esfalerita, pirrotita, marcassita, galena, neodigenita, cobalto pentlandita, além de hematita, ilmenita, rutilo, goethita, uraninita, todorokita, ouro e grafita. Os arsenietos são raros, podendo ocorrer associados a ouro (Martins et al., 1982).

Para o minério rico, esta mineralização corresponde a um teor médio de 1,28 % Cu em peso, enquanto que para o minério pobre o teor cai para 0,48 % Cu em peso (Toledo-Groke, 1986). Segundo Farias e Saueressig (1982 b), o minério alterado apresenta um teor médio de 0,77 % Cu em peso.

2.2.2.3 Modelo Idealizado do Perfil de Alteração

Convencionou-se denominar de "Minério Alterado" à zona de xistos e gnaisses intemperizados, portadores de cobre, a qual apresenta espessura média de 60 m, podendo localmente atingir 100 m.

A característica mais importante desse manto de alteração, consiste em apresentar teores razoáveis de cobre, em média 0,77 % Cu em peso, sem contudo apresentar mineralização cuprífera típica de zonas de oxidação, e que justifiquem os teores de cobre ali encontrados.

Toledo-Groke (1986), utilizando parâmetros físicos, mineralógicos e estruturais (coesão, cor, estágio e alteração dos principais minerais primários, importância da matriz argilosa secundária e grau de conservação das estruturas), estabeleceu uma sucessão de fácies de alteração, definindo um perfil ideal, demonstrado na Fig. 4. Estas diversas fácies de alteração, apresentam transições, geralmente gradativas, e espessuras muito variáveis.

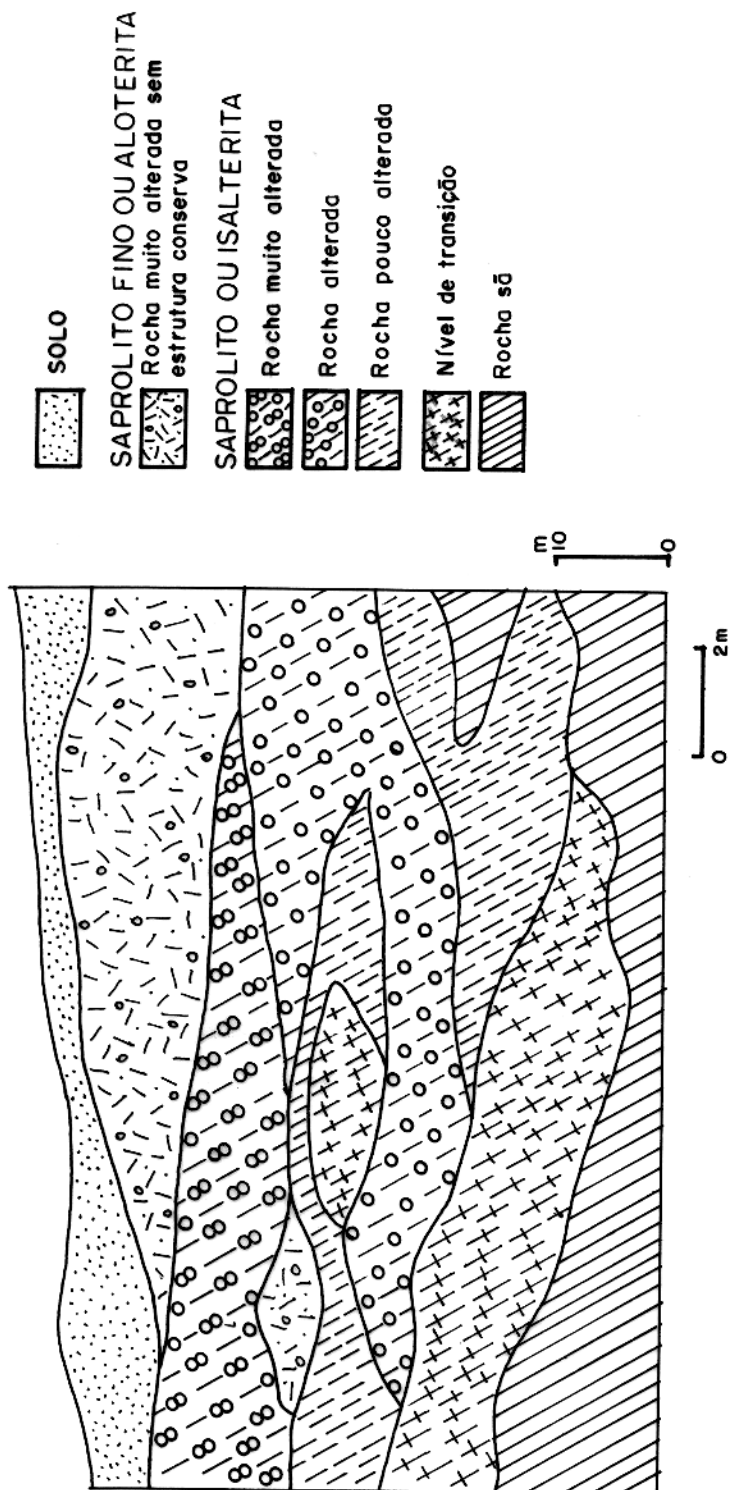


Fig. 4 - Perfil típico idealizado da alteração sobre a jazida de cobre do Salobo 3A, Serra dos Carajás. (Toledo - Grote, 1986)

3 TRABALHOS ANTERIORES SOBRE O DEPÓSITO DE SALOBO 3A

Até 1958, poucos foram os trabalhos geológicos de maior amplitude, levados a efeito na Região Amazônica e em particular na região situada entre os rios Xingu e Araguaia (Meyer, 1981).

A partir de 1974, a Rio Doce Geologia e Mineração S/A - DOCEGEO, desenvolveu um amplo programa de prospecção geológica-geofísica-geoquímica na Região entre os rios Xingu e Araguaia revelando várias jazidas, as quais juntamente com as imensas jazidas de ferro já conhecidas anteriormente, formaram a principal província mineral brasileira, a Serra dos Carajás (Meyer e Farias, 1980).

Dentro deste amplo programa, em 1977, foi descoberta a jazida de cobre Salobo 3A, localizada a aproximadamente 50 km NW das imensas jazidas de ferro da Serra dos Carajás.

Dentre os trabalhos desenvolvidos na área, Beisiegel et al. (1973) tratam da geologia e recursos minerais da Serra dos Carajás, a qual segundo os autores, é uma das áreas mais importantes da Região Norte do Brasil, quer no que diz respeito à sua geologia, quer quanto aos recursos minerais. Apresentando como sùmula dos conhecimentos atuais sobre a área, discorrem sobre a fisiografia, geologia, estratigrafia e litologia, estrutura, evolução tectônica, metamorfismo, geocronologia, geologia econômica, etc, na Serra dos Carajás.

Meyer e Farias (1980) localizam e descrevem o depósito de cobre Salobo 3A, afirmando que este constitui-se de uma seqüência de xistos metamorfoisados ao grau anfibolito médio, com direção NW-SE e mergulho em torno de 75° para SW. Anfibólio, grana, biotita, magnetita e quartzo são os componentes mineralógicos principais. Os sulfetos de cobre estão representados por bornita e calcocita e, subordinadamente, calcopirita. Esta seqüência está capeada por quartzitos-micáceos e sua base é formada por gnaisses. Intrusivas ácidas e básicas completam o quadro geológico.

A pesquisa de detalhe do depósito, em andamento, já permitiu definir uma boa continuidade litológica e de mineralização ao longo de mais 3 km, bem como uma espessura da camada mineralizada, em torno de 250-300 m. Estimativas indicam um po-

tencial superior a 4 milhões de toneladas de cobre contido.

Santos (1981) trata das descobertas de jazidas de cobre no Brasil e sobre a importância do metal na economia nacional. Através de conhecimentos preliminares e imprecisos, descreve a geologia dos depósitos de cobre dos Carajás, associando-os a três tipos de ambientes geológicos: vulcano-sedimentar (tipo Salobo, com mineralização de Au e Ag acompanhando os sulfetos de Cu), vulcanogênico (tipo MMII) e sedimentar (tipo Bahial).

Wilborn (1981), em minuta de relatório apresenta estudos sobre: a) efeito da granulometria do minério na extração do cobre; b) efeito da granulometria do minério e da quantidade de ácido adicionado na cura para extração do cobre; c) estudo estatístico da lixiviação por agitação. Relativamente ao item (a), conclui que a temperatura é uma variável mais importante do que a granulometria do minério, quer na extração do cobre, quer no consumo de ácido. Conclui em (b) que a análise estatística dos resultados dos ensaios (análise de Yates) mostra que aparentemente a única variável que afeta a extração do cobre para o domínio das variáveis estudado, é a quantidade de ácido usada na cura, aumentando com esta e que para se conseguir na cura uma extração de cobre superior a 50 % é necessário usar-se uma quantidade de ácido superior a três vezes a quantidade teórica; este aumento na extração será acompanhado de um aumento no consumo de ácido. Em (c) conclui que todas as variáveis principais: A (concentração inicial de ácido sulfúrico), T (temperatura), L (tempo de lixiviação) e S (percentagem de sólidos na lixiviação) são significativos, isto é, afetam a extração do cobre, e o seu efeito é positivo. Quer isto dizer que um aumento no valor das variáveis, aumenta também a extração do cobre. As variáveis que mais afetam esta extração são T e A.

Farias e Saueressig (1982 a; 1982 b) descrevem os trabalhos de pesquisa geológica, desde a amostragem geoquímica de sedimentos de corrente, mapeamento geológico de superfície, sondagem, escavações etc. Descrevem a geologia da jazida, com sua mineralização, citando o "minério alterado". Citam também as reservas, obtidas de trabalhos de sondagem, efetuados até junho de 1981, que correspondem a 1,13 milhões de toneladas, com teor médio de 0,85 % de Cu.

Martins et al. (1982) descrevem aspectos petrográficos das principais litologias do Salobo, assim como comentam a

mineralização e tectonismo.

Hirata et al. (1982) descrevem a estratigrafia da Província Mineral de Carajás e os aspectos tectônicos (em caráter de tentativa), considerando as principais estruturas associadas às diversas unidades geológicas dentro de cada período, desde o Arqueano até o Paleozóico.

Moura (1982) realizou levantamento geoquímico de solo, na área denominada Alvo 2 - Corpo 4, na Província Mineral de Carajás, determinando os elementos Al, Fe, Mg, Ti, Ni, Co, V, Cu e Zn. Aplicando técnicas estatísticas multivariantes (análises de agrupamentos e discriminantes), classificou as amostras de solo em oito grupos homogêneos e perfeitamente correlacionáveis com as litologias subjacentes e demonstrou que apenas o Ti e o Zn não desempenham um papel significativo na discriminação dos grupos de solo. Investigando a possibilidade de que fatores extra-mineralização tenham influenciado nas anomalias de Cu e Zn, demonstrou que os altos teores destes elementos independem dos fatores extra-mineralização investigados (óxidos hidratados de ferro e manganês e minerais argilosos com as concentrações relacionadas, respectivamente, com as concentrações de Fe, Mn e Al no solo). Conclui daí, que a mineralização de sulfetos alif existente, é a principal responsável por esses altos teores.

Melfi (1982) apresenta em relatório, resultados e interpretações parciais, enquanto incompletos. Em dois perfis estudados, o cobre tem comportamentos diferentes, seguindo aproximadamente os elementos alcalinos.

Os resultados indicam que uma pequena parte do cobre pode ser ligado aos óxidos de ferro. Mas o problema da principal fase suporte de cobre, ainda não está resolvido e está sendo pesquisado. Em análise prévia, verificou que a fração micácea era nitidamente mais rica em cobre que as demais. Dentro da fração micácea, o cobre parece estar ligado a duas fases mineralógicas distintas. Preferencialmente associa-se às vermiculitas e aos interestratificados M-V (mica-vermiculita). As biotitas frescas ou pouco transformadas, não apresentam valores significativos de cobre. Secundariamente, o cobre aparece ligado aos hidróxidos de ferro, sobretudo aos compostos amorfos. Os hidróxidos de ferro, do tipo hidróxido γ -O (Nalovic, 1974; in Melfi, 1982) que aparecem entre as lamelas do edifício micáceo, são ricos em cobre, o qual acha-se adsorvido em sua estrutura mal or-

ganizada e porosa. Os processos de lixiviação, atuando sobre o manto de alteração, eliminam o cobre desta fase hidróxido mal organizada e promovem a cristalização da goethita (α FeOOH), a qual aparece isenta de cobre.

Estas observações explicariam resultados obtidos em experimentos de extrações seletivas já realizados. Parte do cobre, ligada aos hidróxidos amorfos de ferro, seria facilmente liberada, juntamente com o ferro, enquanto que o cobre, ligado aos filossilicatos, estaria mais fortemente retido nos retículos cristalinos dos minerais neoformados.

Veiga e Schorscher (1982) desenvolveram trabalhos no minério oxidado de cobre dos Carajás, mostrando que o cobre está ligado aos óxidos hidratados de ferro (OHF), sendo desta forma não-refratário à lixiviação por ácidos diluídos em condições de baixa energia. Contudo uma outra parcela de cobre, apresenta-se ligada à rede cristalina de filossilicatos, principalmente biotita. A delaminação de anfibólio-biotita-xisto por ultra-som e as micro-análises, mostraram a presença de argilominerais impregnados com OHF contendo cobre entre as lamelas de biotita. Em termos tecnológicos, os estudos indicaram que a liberação dos OHF das fraturas de minerais, dos agregados de argila e das lamelas de mica, permitirão um ataque mais efetivo do agente lixiviante. Os ataques químicos pelo método de citrato-ditionito e com HCl 1,5 N deixaram prever que os argilominerais intimamente misturados com os OHF, serão também atacados por tratamentos ácidos convencionais utilizados em processos hidrometalúrgicos. A extração de 57,7 % de Cu e apenas 6,9 % do Fe com HCl 1,5 N, a 60°C, após uma hora de ataque, apresenta-se com específico interesse para o processo tecnológico, pois mostra que existe possibilidade de seletividade no ataque dos OHF, proporcionando consumo de ácido não muito elevado. Os autores concluem que a recuperação da parcela de cobre ligada à estrutura da biotita será de difícil extração nas condições de temperaturas baixas e ácidos diluídos.

Veiga (1983) fez estudo das relações mineralógicas e geoquímicas do cobre e óxidos de ferro no minério alterado (óxi^{da}do) de Carajás, Salobo 3A. Através de estudos petrográficos-microanalíticos encontrou que os óxidos hidratados de ferro são os principais portadores de cobre da cobertura alterada. Nas amostras estudadas, observou que os OHF amorfos apresentam maiores

teores de cobre do que os óxidos de ferro secundários cristali-
nos. O autor sugere que o mecanismo de coprecipitação ou adsor-
ção posterior pode ter sido responsável pela fixação do cobre ,
sendo contudo mais viável a coprecipitação de cobre com a limo-
nita indígena. Ataques seletivos aos OHP das amostras compostas
de Carajás com o reagente combinado (Tamm + Ditionito), sugerem
que cerca de 80% de cobre do minério alterado, está associado aos
óxidos secundários de ferro.

Vieira et al. (1984) inicialmente estudaram, em ní-
vel preliminar, textura, petrografia e quimismo do Salobo 3A, F:
55A. Neste estudo concluíram que os minerais ao longo do perfil,
são os mesmos que ocorrem na rocha inalterada. Comparando a dis-
tribuição dos mesmos e seu teor ao longo do perfil verificaram
heterogeneidade. Observando aspectos microscópicos mostrados por
cuprita e cobre nativo encontram evidências de que parte destes
é de origem secundária indicando remobilização. Através de mi-
croanálises em minerais alterados (biotita, anfibólios, almandi-
na, magnetita, serpentina e outros que não os de cobre), obtive-
ram resultados negativos em relação ao cobre.

Vieira (1985), em continuação a Vieira et al. (1984)
estudou os furos Salobo 3A; F: 55A; F 62; F:63 mineralogicamente
e os três furos revelaram a presença de sulfetos de cobre, Cu nati-
vo, cuprita e sulfato de cobre (brochantita), salientando tam-
bém, na parte alterada, a presença de malaquita em outras áreas
da jazida. Em seus resultados cita a descoberta de brochantita
(F: 62) e cuprita (F: 55A) em fraturas assim como presença
de cobre em limonita/goethita (independente de suas origens), em óxi-
dos secundários de manganês (F: 63), e em nontronita (F: 62), es-
tando a mesma associada à brochantita. Segundo o autor, para o
beneficiamento do cobre contido na parte alterada, dever-se-á le-
var em consideração, o cobre constituindo minerais, para o que
enumera uma série de sugestões a respeito.

Ramos (1985) fez estudo geoquímico da distribuição
dos elementos Cu, Au, Ni e Zn em solos sobre a jazida de cobre
de Salobo 3A, Serra dos Carajás. Foram feitas análises químicas
de 704 amostras para as concentrações parciais de Cu, Ni, Zn e
Au e mais 123 amostras, também para os elementos Fe, Mn, Pb, Co
e Cr. Com estes dados foram construídos histogramas e diagramas
de dispersão, tendo todo esse tratamento gráfico e analítico
dos dados, objetivado conseguir melhores valores para back-

ground, limiar e anomalias, o que finalmente foi feito, pela aplicação dos métodos gráficos de Lepeltier, 1969 e Sinclair, 1974 (in Ramos, 1985). De posse dos valores de background, limiar e anomalias (foram considerados dois intervalos de anomalias), foram construídos mapas geoquímicos para a área. Observou-se no mapa de Cu, que os halos de dispersão são função da topografia, deslocando-se o Cu para os pontos mais baixos, a partir da fonte de mineralização e que também em vales o Cu é, às vezes, constantemente anômalo, o que sugere uma influência da água subterrânea e do transporte hidromórfico. O Ni apresentou um comportamento semelhante ao do Cu, sem contudo, acompanhá-lo em todas as áreas anômalas. O papel do Fe nessas distribuições não foi preponderante. O Au, em termos de área, acompanhou bem o Cu, com quem na área apresenta uma correlação de no máximo 0,5. Ele não se encontra em vales, antes em cristas de morrotes ou em quebras da topografia, o que indica um transporte como clástico, pesado, que responde bem a ações da força de gravidade sobre ele e sobre a água de fluxo superficial.

Uma boa correspondência, em toda a área, entre os valores anômalos dos elementos em solos e a litologia ou concentração mineral subjacente, não foi possível. A falta de resolução nos mapas geoquímicos de detalhe, é um reflexo da grande espessura de solo e saprólito, ou seja, da cobertura que separa a fonte dos metais do solo superficial, que é sujeito à amostragem geoquímica.

Considerando-se a dimensão do depósito de sulfetos de cobre do Salobo 3A, que forma, grosseiramente, um corpo alongado ainda que talvez descontínuo, com direção NW e maior comprimento de no mínimo 2 km, o halo de dispersão de Cu em solos, na sua expressão em superfície, é pequeno e, principalmente descontínuo. Supõe-se que a principal razão para isso, é o grande volume de cobertura de rocha alterada e solos sobre o minério, uma cobertura composta basicamente, por argilominerais (caulinital) e hidróxido de ferro (além de micas secundariamente). Esses minerais têm um forte poder de adsorção de metais e devem funcionar como verdadeiros filtros, barreiras geoquímicas à dispersão hidromórfica dos metais básicos.

Toledo-Groke et al. (1985) e Toledo Groke (1986) descreveram a evolução intempérica dos minerais formadores de rocha mineralizada, através da caracterização da paragênese primária

ria, estudando o comportamento dos minerais nos níveis de alteração e concluem que o cobre, ausente nas estruturas dos minerais primários, é fixado pelos produtos secundários. Isto mostra que os altos teores em cobre no manto de intemperismo, estão diretamente relacionados ao processo de alteração supergênica, contrariamente ao que acontece em outras jazidas sulfetadas, com recobrimento ferralítico, em que a maior parte do cobre é lixiviado. Assim, concluem que o cobre é fixado, além da malaquita (que ocorre apenas localmente em quantidades reduzidas próximo à base do perfil, em: a) fases silicáticas: produtos de transformação das biotitas, sobretudo minerais tipo vermiculita e interestratificados B-V (biotita-vermiculita) com até 18 % CuO, e esmectitas verdes tipo nontronita do sistema fissural, com até 5 % CuO; b) fases ferruginosas: oxihidróxidos de ferro de várias localizações, pseudomorfoses de granada e anfibólios, sistema fissural e plasmas secundários argilo-ferruginosos, com até 6 % CuO; c) fase manganésifera: criptomelana do sistema fissural, com até 25 % CuO.

Acrescentam ainda que, embora os teores mais altos em cobre sejam encontrados nos silicatos e minerais de manganês, os oxihidróxidos de ferro representam a fase cuprífera mais importante, pela sua maior abundância em termos globais no manto de alteração. Ressalte-se no entanto que J.C. Parisot, em oposição a autora, utilizando inclusive cálculo de balanço geoquímico, considera a "biotita alterada" ou mineral tipo vermiculita, produto de alteração das biotitas, a fase portadora de cobre mais importante, inclusive quantitativamente (J.C. Parisot, comunicação oral, 1989).

Como podemos observar, através da revisão bibliográfica, os estudos desenvolvidos na região do Salobo, dividem-se basicamente em cinco linhas de pesquisa:

- a) trabalhos de cunho geológico, os quais não chegam a dar detalhes sobre o depósito em si;
- b) trabalhos de prospecção, na descoberta da jazida e da litologia subjacente;
- c) estudos detalhados sobre alterações minerais e localização do Cu neesses minerais, sem contudo dar uma descrição global do perfil de alteração;
- d) trabalhos que tentam dar uma visão global do perfil de alteração, mas apenas a nível preliminar, e dirigidos principalmente

te para o Cu;
el trabalhos de cunho tecnológico, visando a extração do Cu, a partir do alterado.

O presente trabalho pretende detalhar mais o que já existe no item (d), ampliando o número de perfis estudados e considerando também, além do Cu, a distribuição de alguns elementos importantes tais como Au, Ag, Mo, Co e Ni, dentre outros.

4 A ESTRUTURAÇÃO GERAL DO DEPÓSITO DE COBRE DO SALOBO 3A

A zona de alteração estudada, originou-se de uma seqüência constituída por intercalações de xistos, gnaisses, formação ferrífera e quartzito, com ocorrências de granitos e diabásios.

A DOCEGEO desenvolveu estudos na região do Salobo, realizando furos de centenas de metros de profundidade, os quais atravessam tanto a zona de alteração como a zona de rocha fresca, permitindo a definição da estruturação geral da mineralização de Cu nesse depósito (DOCEGEO, 1981), deixando evidente que abaixo da zona de alteração, existem diferentes tipos de rochas, com teores variados, normalmente elevados, de cobre.

As seções LT 1200 SE, LT - 1400 SE e LT - 1500 SE (Figs. 5, 6 e 7), permitem observar que a zona de alteração, quando presente, apresenta-se relativamente delgada se comparada com a espessura total da zona mineralizada.

As figuras 5, 6 e 7 situam as posições dos furos estudados, no contexto global da mineralização. A seção geológica, de maneira geral, pode ser descrita como sendo constituída por um pacote de xistos, encaixados entre um gnaiss superior e um gnaiss inferior, podendo o gnaiss superior apresentar-se mineralizado na borda (como ocorre no F-47). Os xistos podem apresentar-se, conforme os teores de cobre, variando de estéril a pouco mineralizado (<0,8 % Cu em peso) a mineralizado (>0,8 % Cu em peso). As zonas mineralizadas intercalam-se com zonas estérteis.

Acima dessas litologias formou-se, em alguns trechos, uma capa de solo, que pode atingir várias dezenas de metros de espessura.







O estudo desenvolvido neste trabalho restringe-se aos 70 m superiores do furo F-31, englobando toda a zona de ocorrência de solo, e a parte superior da zona de rocha fresca, no caso, um xisto relativamente rico em cobre (>0,8 % Cu em peso); aos 80 m superiores do furo F-46, o qual atravessa o solo e entra em zona de rocha fresca, no caso, um xisto pouco mineralizado a cobre (<0,8 % Cu em peso); e aos 50 m superiores do furo F-47, o qual atravessa toda a zona de alteração, passando por xisto mineralizado a cobre (>0,8 % Cu em peso) indo até uma zona

20

LT - 1200 SE

F31

LEGENDA

-  Minério alterado
-  Gnaiss superior
-  Gnaiss inferior
-  Xisto estéril
-  Xisto mineralizado < 0,8%
-  Xisto mineralizado > 0,8%

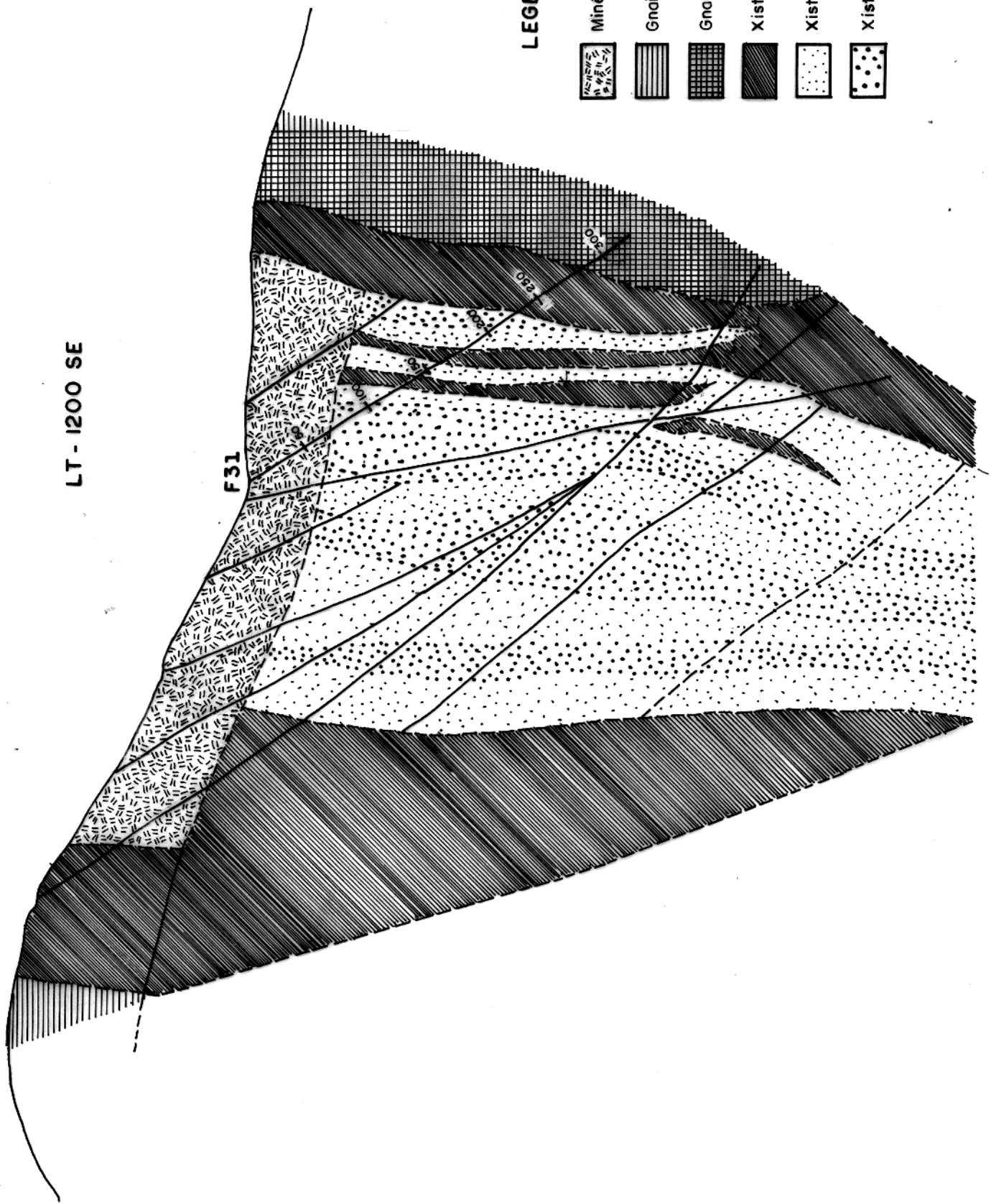


Fig. 5 - Seção Geológica SW - NE no Depósito de Salobo, evidenciando o furo F-31, segundo DOCEGEO (1981).

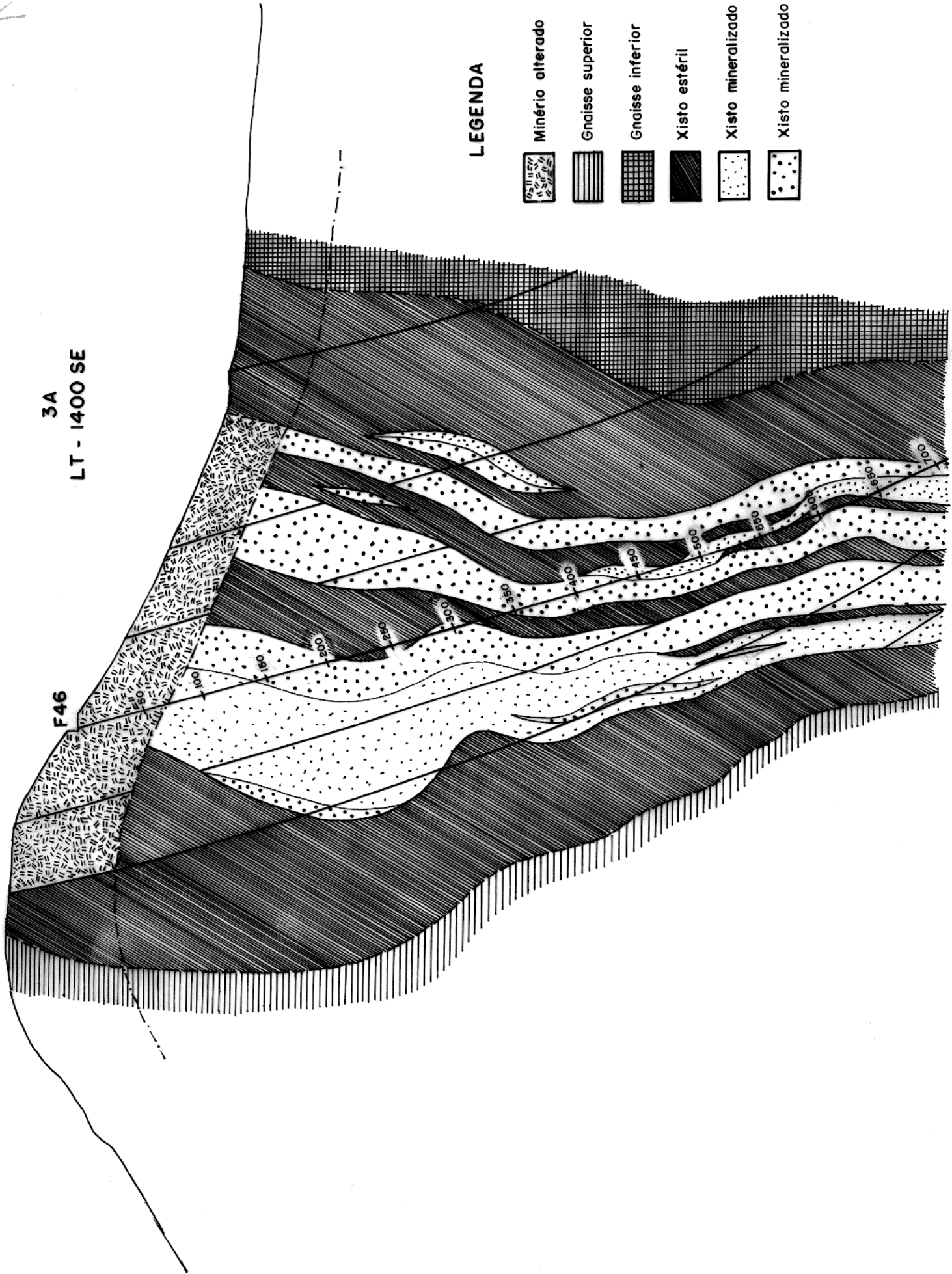
43

3A
LT - 1400 SE

F46

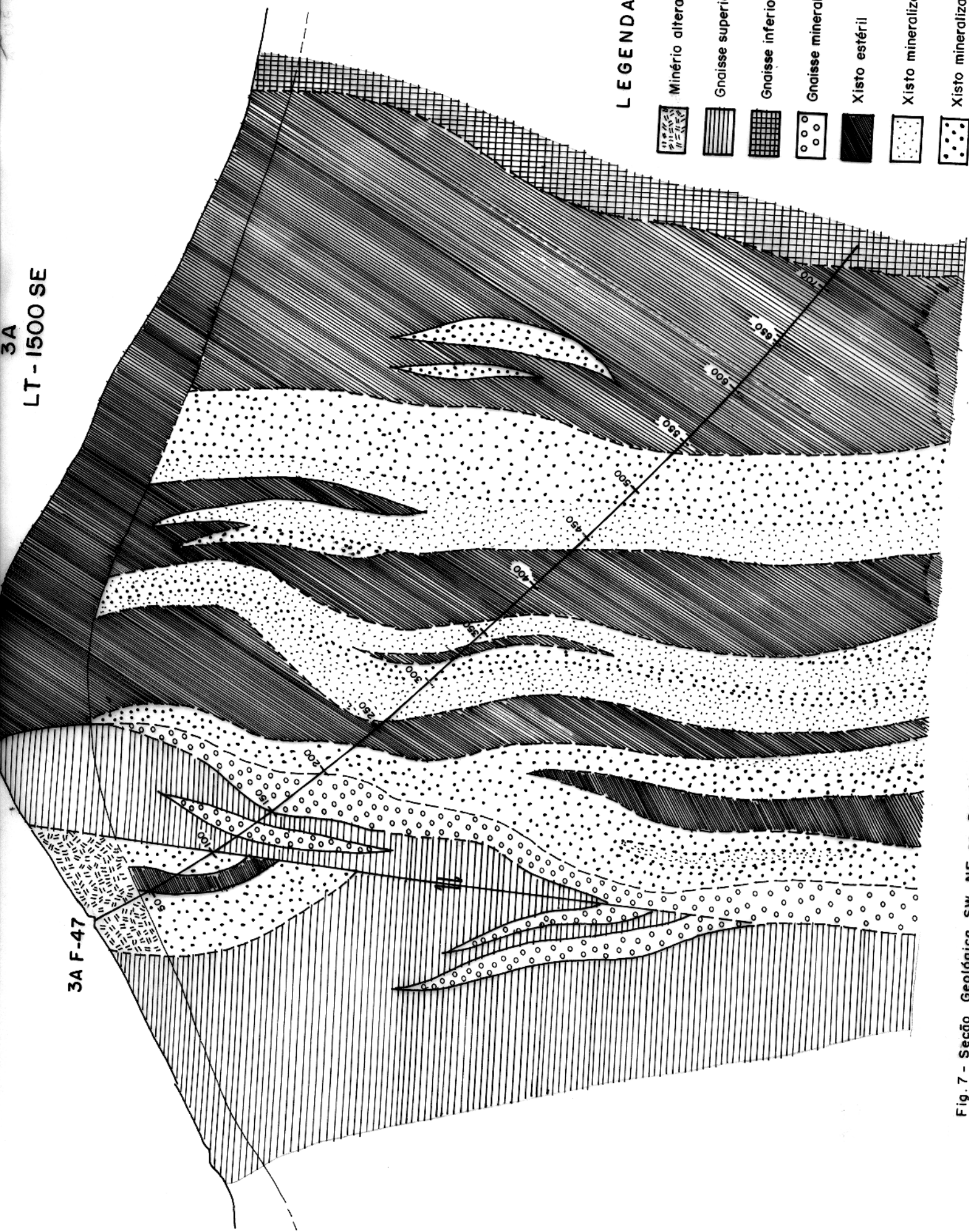
LEGENDA

- Minério alterado
- Gnaise superior
- Gnaise inferior
- Xisto estéril
- Xisto mineralizado < 0,8%
- Xisto mineralizado > 0,8%



3A
LT - 1500 SE

3A F-47



LEGENDA








-  Minério alterado
-  Gnaiss superior
-  Gnaiss inferior
-  Gnaiss mineralizado
-  Xisto estéril
-  Xisto mineralizado < 0,8%
-  Xisto mineralizado > 0,8%

Fig. 7 - Seção Geológica SW - NE no Depósito de Salobo, evidenciando o furo F-47, segundo DOCEGEO (1981).

de gnaisse, equivocadamente registrado na Figura 8, extraído de DOCEGEO (1981), como xisto estéril.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Amostragem

As atividades de campo foram desenvolvidas pela Companhia Vale do Rio Doce (CVRD), a qual gentilmente forneceu-nos as amostras, devidamente pulverizadas e prontas para análises químicas e mineralógicas.

A seleção das referidas amostras recaiu sobre três diferentes perfis verticais, procurando-se seguir aproximadamente uma linha reta entre os três pontos escolhidos, com o fim de obter-se uma visão não só vertical, mas também longitudinal dos perfis de alteração, uma vez que estes encontram-se sobrepostos a litologias diferentes. Deste modo, foram selecionadas 200 amostras, coletadas a cada metro, dos respectivos furos.

A distribuição de amostras entre os furos foi feita e identificada, obedecendo a seguinte ordem:

F:31 70 m de profundidade (70 amostras)

F:46 80 m " " (80 amostras)

F:47 50 m " " (50 amostras)

A profundidade de cada furo foi estabelecida pelo início do contato entre o material alterado e a rocha fresca, segundo dados da DOCEGEO (1981).

5.2 Análises Mineralógicas

Como nos referimos no item anterior, só dispúnhamos do material pulverizado (# 80 mesh), de modo que o único recurso possível para a determinação dos constituintes minerais das amostras, foi a análise através de Difractometria de Raios-X.

Inicialmente foram feitas leituras em lâminas não orientadas (pól de 4-60° (2-2θ), com intensidade de 4.10³ c/s visando identificar o espectro mineralógico, metro a metro, ao longo de cada perfil.

Para identificar argilominerais presentes em algumas amostras, foram utilizados procedimentos sugeridos por Warsaw e Roy (1961), empregando-se tratamentos específicos, com amostras orientadas, etileno-glicol e aquecimento, sendo que para a identificação das vermiculitas, devido seu caráter cuprife-

ro, o aquecimento das lâminas foi levado até a temperatura de 500°C por 1 hora.

5.3 Análises Químicas

Para análises químicas foram tomadas amostras de cada furo, a cada 2 m de profundidade, reduzindo para 100 o número de amostras a serem analisadas, sendo que, para cada lote de 10 amostras, foi feita uma duplicata.

Estas amostras foram submetidas a solubilização total, usando inicialmente uma digestão ácida (HF + HClO₄) a qual ataca totalmente quase todos os silicatos (Trescases, 1980; Maxwell, 1968). O resíduo remanescente da digestão ácida foi então fundido com tetraborado de lítio (Li₂B₄O₇), solubilizado em HCl diluído e unido ao material da digestão ácida. A mistura foi aferida a 100 ml e estocada em frasco de polietileno.

Partindo das amostras solubilizadas, foram usados os seguintes métodos:

- Espectrofotometria de Absorção Atômica

Para a determinação de Al, Fe, Ca, Mg, Na, K, Cu, Mn, Co, Ni e Ag.

- Colorimetria

Para a determinação do Ti.

O teor de sílica foi determinado através de uma adaptação do método gravimétrico clássico, utilizando-se cadinhos de grafite e forno de indução, com Li₂B₄O₇ como fundente e posterior fluorização. Esta modificação do método clássico foi necessária devido a peculiaridades do material estudado, o qual não permite o uso de cadinhos de platina, uma vez que amostras da região em estudo têm demonstrado atacar os mesmos.

Foram ainda determinadas as perdas por calcinação (p.p.c) das amostras a 1000±20°C.

O Au e Mo foram obtidos dos dados de DOCEGEO (1981).

A descrição dos métodos aqui citados, encontra-se no Anexo 1.

6 ESTRUTURA E MINERALOGIA DOS PERFIS ESTUDADOS

A estruturação dos perfis F-31, F-46 e F-47, a partir de suas características macroscópicas é apresentada nas figuras 8, 9 e 10.

As espécies minerais detectadas através de difratometria de raios-x, nas amostras dos perfis estudados, podem ser divididas, em cada perfil, em três grandes grupos:

- a) óxidos e silicatos primários
- b) óxidos e silicatos de neoformação
- c) minerais de cobre.

O grupo "c" (minerais de cobre), embora sendo constituído por minerais quantitativamente pouco significativos nas amostras estudadas, é aqui considerado à parte, em vista da natureza do depósito em estudo. A listagem dos minerais de cobre detectados nas referidas amostras é apresentada no quadro 1.

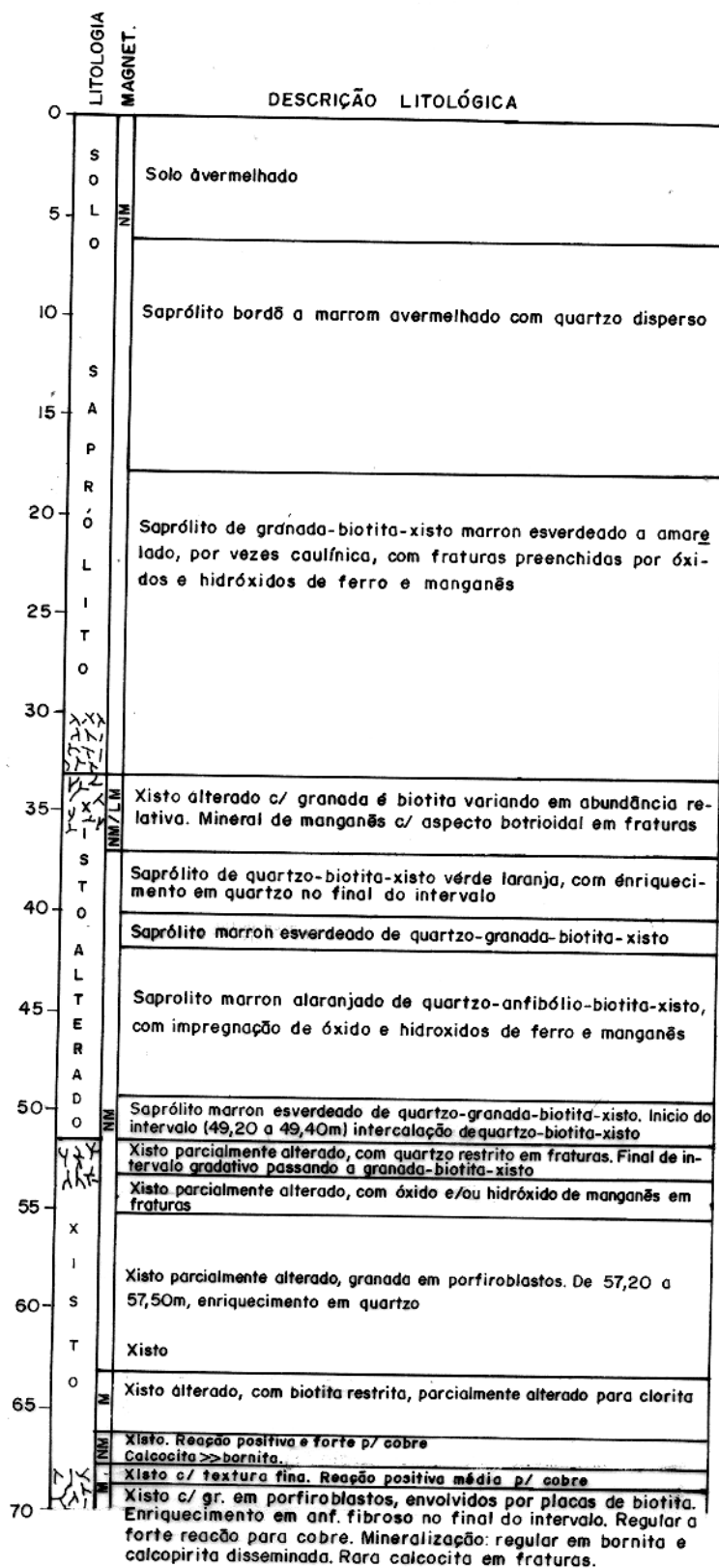
6.1 Mineralogia do Perfil F-31

No perfil F-31 (Fig. 11), o grupo "a" (óxidos e silicatos primários) é constituído pelos minerais que compõem a quase totalidade da rocha mãe (xisto). São eles: quartzo, biotita, granada (almandina), anfibólio (Cumingtonita-grunerita) e magnetita. Quartzo e biotita são, de modo geral, os minerais principais da rocha mãe no perfil F-31. Anfibólio, granada e magnetita ocorrem acessoriamente.

Os óxidos e silicatos primários, apresentam diferentes graus de resistência ao intemperismo.

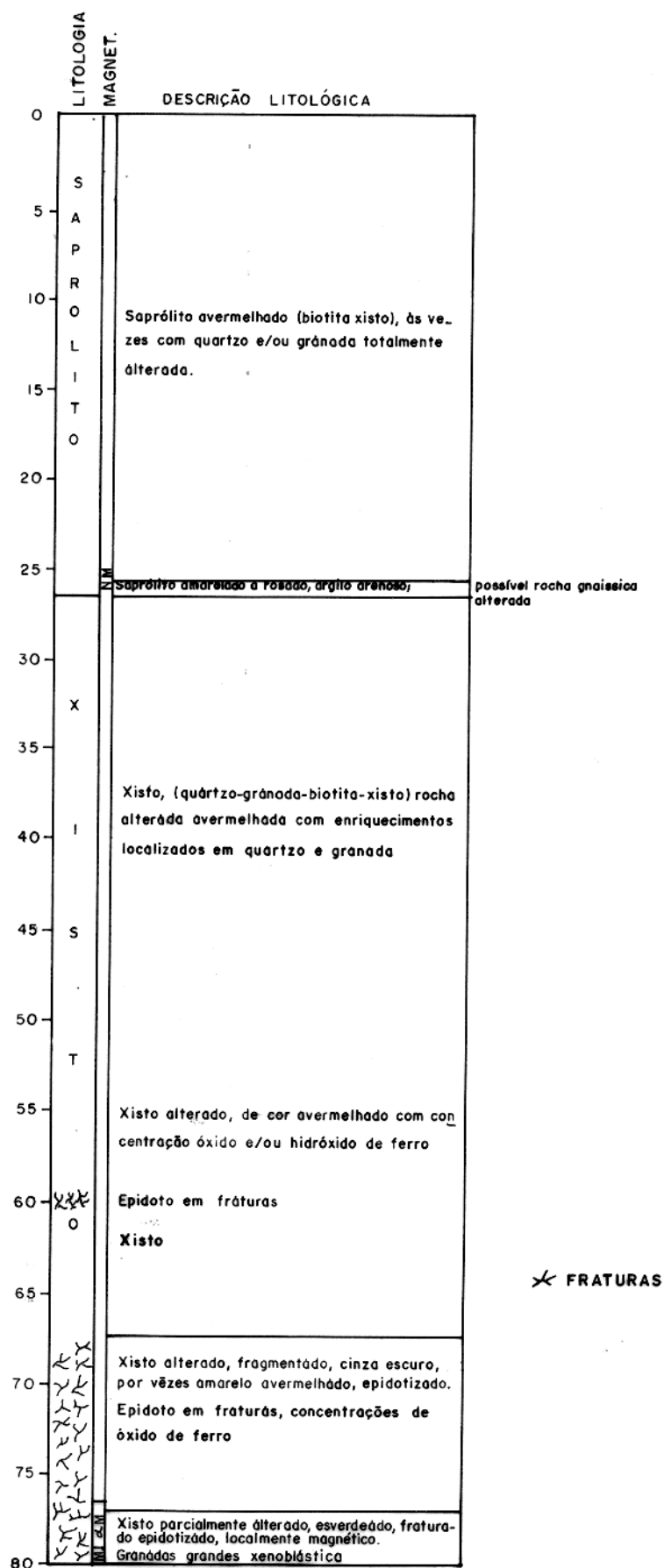
Dos minerais acessórios, o anfibólio é o menos resistente, desaparecendo próximo à base do perfil. A granada persiste na zona de alteração, de forma descontínua, chegando até a porção intermediária do perfil, aproximadamente. A biotita e a magnetita persistem mais longamente, ocorrendo no perfil até as proximidades da superfície, sendo que a segunda, apresenta-se de forma intermitente. O quartzo é, de todos, o mais resistente, ocorrendo em toda a extensão do perfil.

O grupo "b" (óxidos e silicatos de neoformação) é composto pelas espécies minerais formadas através do processo de alteração dos minerais primários, constituindo os principais



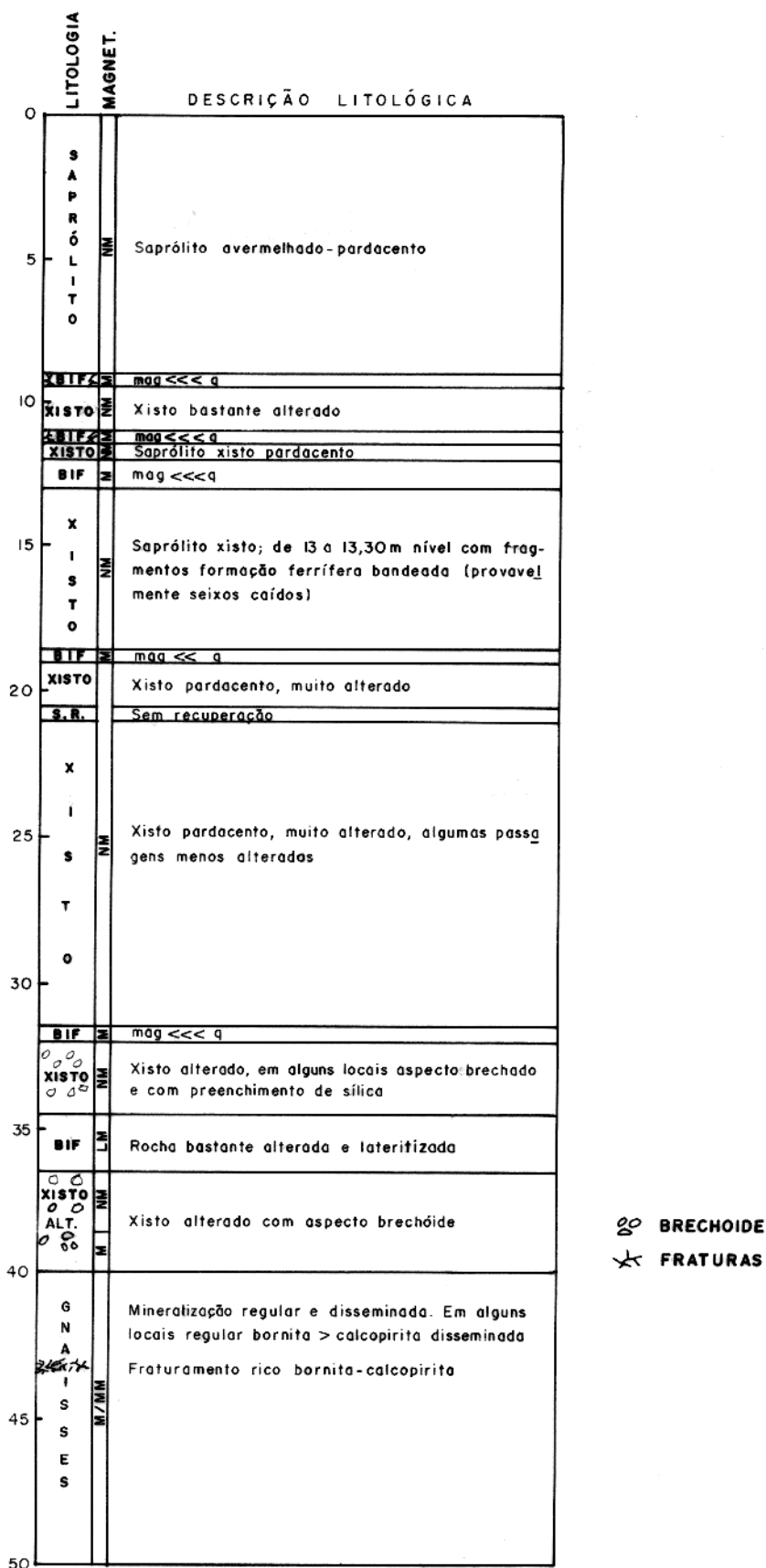
SALOBO - 3A

FIG. 8 - ESTRUTURAÇÃO DO PERFIL F-31 (DOCEGEO-1981).



SALOBO 3A

FIG. 9 - ESTRUTURAÇÃO DO PERFIL F-46 (DOCEGEO-1981).



SALOBO 3A

FIG. 10- ESTRUTURAÇÃO DO PERFIL F-47 (DOCEGO 1981).

Quadro 1 - Minerais de cobre detectados nos perfis estudados.

MINERAL	FÓRMULA QUÍMICA
Bornita	Cu_5FeS_4
Calcopirita	CuFeS_2
Calcócita	Cu_2S
Brochantita	$\text{Cu}_4\text{SO}_4(\text{OH})_6$

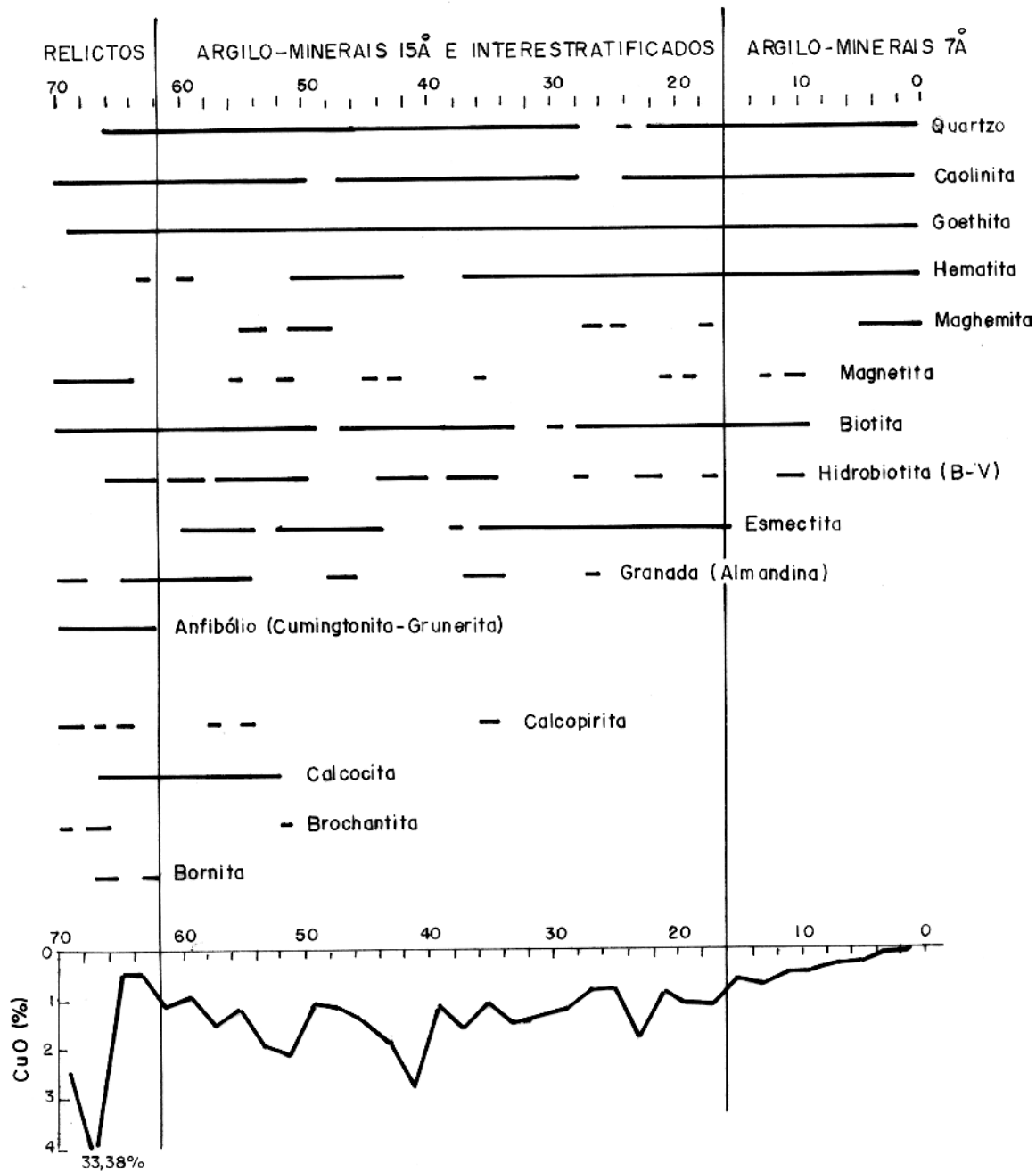


Fig. II - Mineralogia do Perfil F-31.

componentes do solo. Neste grupo estão incluídos: caolinita, goethita, hematita, maghemita, hidrobiotita (interestratificado biotita-vermiculita) e esmectita.

Caolinita, goethita e hematita, ocorrem ao longo de praticamente toda a extensão da zona de alteração, sendo que a hematita aparece no perfil a alguns metros acima da zona de primeiro aparecimento da goethita. A maghemita distribui-se de modo disperso ao longo do perfil, ocorrendo intermitentemente em vários pontos do mesmo, desde as proximidades de sua base até seu topo. Esmectita e hidrobiotita são característicos da zona intermediária do perfil, não ocorrendo nem na sua base nem no seu topo.

O grupo "c" (minerais de cobre) engloba tanto os minerais de cobre existentes na rocha fresca (mineralização primária), como aqueles formados pela ação do intemperismo. No primeiro caso estão a bornita, a calcopirita e a calcocita. No segundo caso está a brochantita. Todos esses minerais ocorrem de modo disperso no perfil, concentrando-se nas suas partes média e inferior.

6.2 Mineralogia do Perfil F-46

No perfil F-46 (Fig. 12), o grupo "a" (óxidos e silicatos primários) é constituído tal como no perfil F-31, pelos minerais que compõem a quase totalidade da rocha mãe (xistol). Os minerais componentes deste grupo são: quartzo, magnetita, biotita, granada (almandina), anfibólio (glaucofânio-riebeckita) e turmalina (dravita). Aqui também, quartzo e biotita são os minerais principais da rocha mãe enquanto que a granada, magnetita, anfibólio e turmalina ocorrem acessoriamente.

Obedecendo aos diversos graus de resistência ao intemperismo, os óxidos e silicatos primários estão assim distribuídos no perfil F-46: a turmalina encontra-se esparsadamente apenas na base e na parte média do perfil. A biotita está presente desde a base até aproximadamente um terço do perfil. O anfibólio aparece apenas, nos dois primeiros metros a partir da base do perfil. A granada, embora não tenha uma presença regular, aparece desde a base até o terço inferior do perfil. A magnetita, encontra-se de maneira muito esparça, da base até o topo

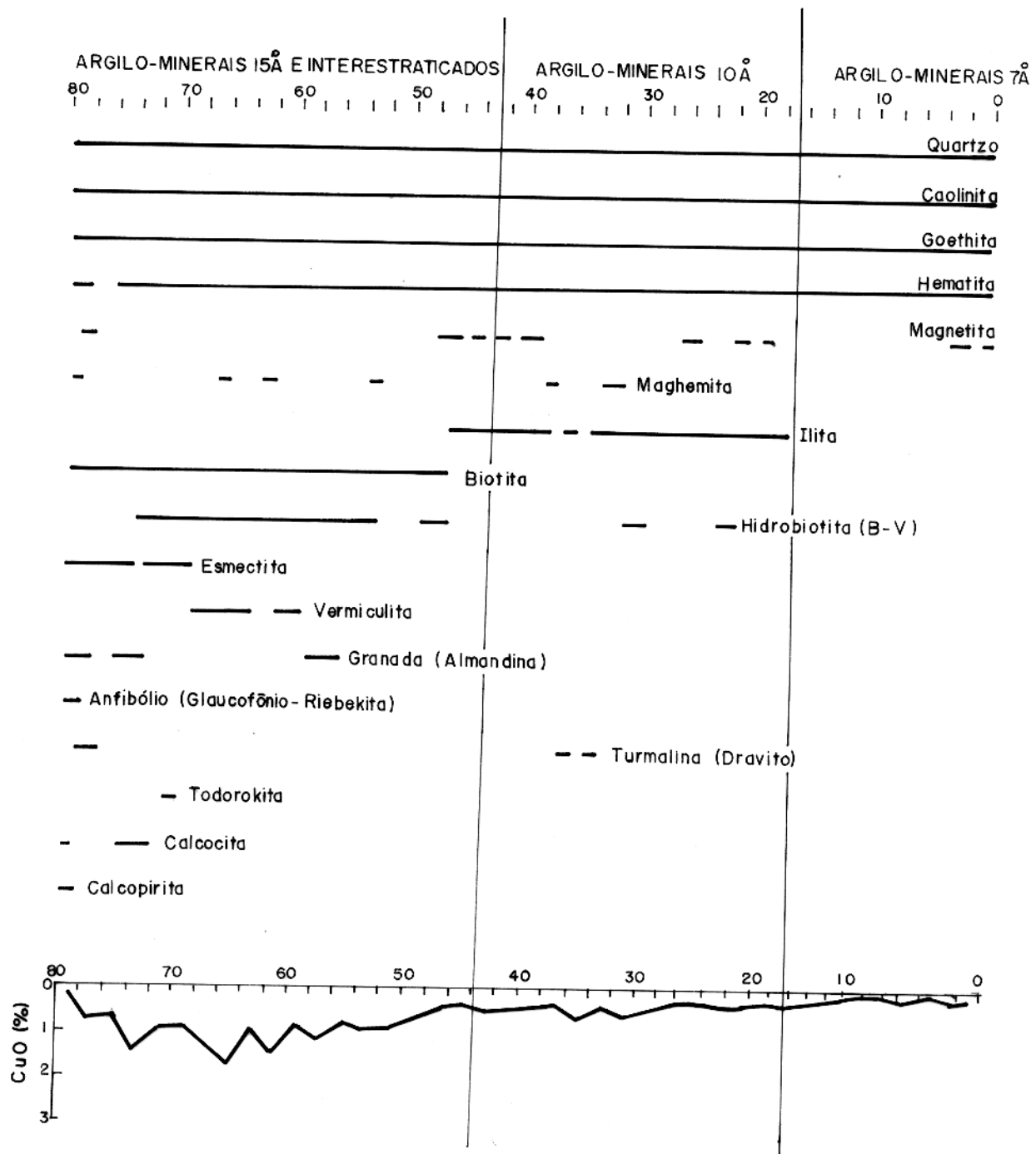


Fig. 12 - Mineralogia do Perfil F-46.

do perfil sendo que, apresenta maior frequência na parte intermediária deste. O quartzo (mineral mais resistente), está presente desde a base até o topo do perfil F-46.

O grupo "b" (óxidos e silicatos de neoformação) é composto por caolinita, goethita, hematita, maghemita, ilita, hidrobiotita (interestratificado biotita-vermiculita), vermiculita e esmectita, além de todorokita (Mn, Ca) $Mn_5O_{11} \cdot 4H_2O$.

Caolinita, goethita e hematita ocorrem ao longo de todo o perfil. A maghemita ocorre, de forma intermitente, desde a base até a parte média do perfil. A ilita é característica da zona intermediária, não ocorrendo nem na base nem no topo. A hidrobiotita aparece próximo à base, indo até o terço superior do perfil de forma intermitente. A esmectita aparece apenas na base do perfil enquanto que a vermiculita, aparecendo alguns metros acima da base, desaparece ainda no terço inferior do perfil. A todorokita aparece de forma isolada na parte inferior do perfil.

No grupo "c" (minerais de cobre), têm-se os minerais existentes na rocha mãe, calcocita e calcopirita, concentrando-se nas partes inferiores do perfil. Neste perfil, não foram detectados minerais de cobre de neoformação, como no perfil anterior.

6.3 Mineralogia do Perfil F.47

No perfil F.47 (Fig. 13), o grupo "a" (óxidos e silicatos primários) é constituído por: quartzo, magnetita, biotita, granada, plagioclásio, anfibólio e stilpnomelana, os quais compõem a quase totalidade das rochas que lhes deram origem (xisto e gnaissel. Destes, quartzo, plagioclásio e biotita são os minerais principais, diferenciando dos perfis F-31 e F-46, os quais se originaram apenas de xistos.

Magnetita, granada, anfibólio e stilpnomelana ocorrem apenas no terço inferior do perfil. A magnetita, persiste até às proximidades do topo, enquanto o quartzo, permanece desde a base até o topo do perfil estudado.

O grupo "b" (óxidos e silicatos de neoformação), constituindo os principais componentes do solo, compõe-se por caolinita, goethita, hematita, ilita, vermiculita e esmectita.

A esmectita, o mineral menos resistente ao intempe

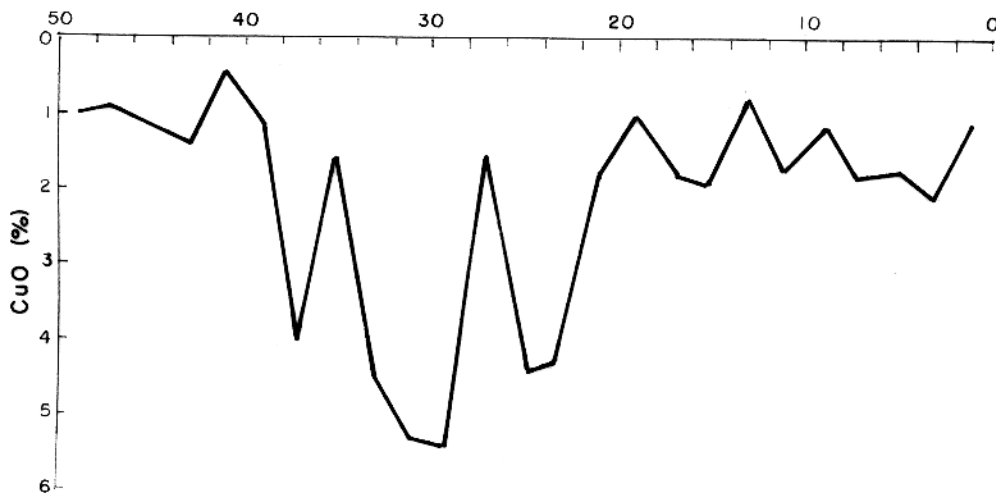
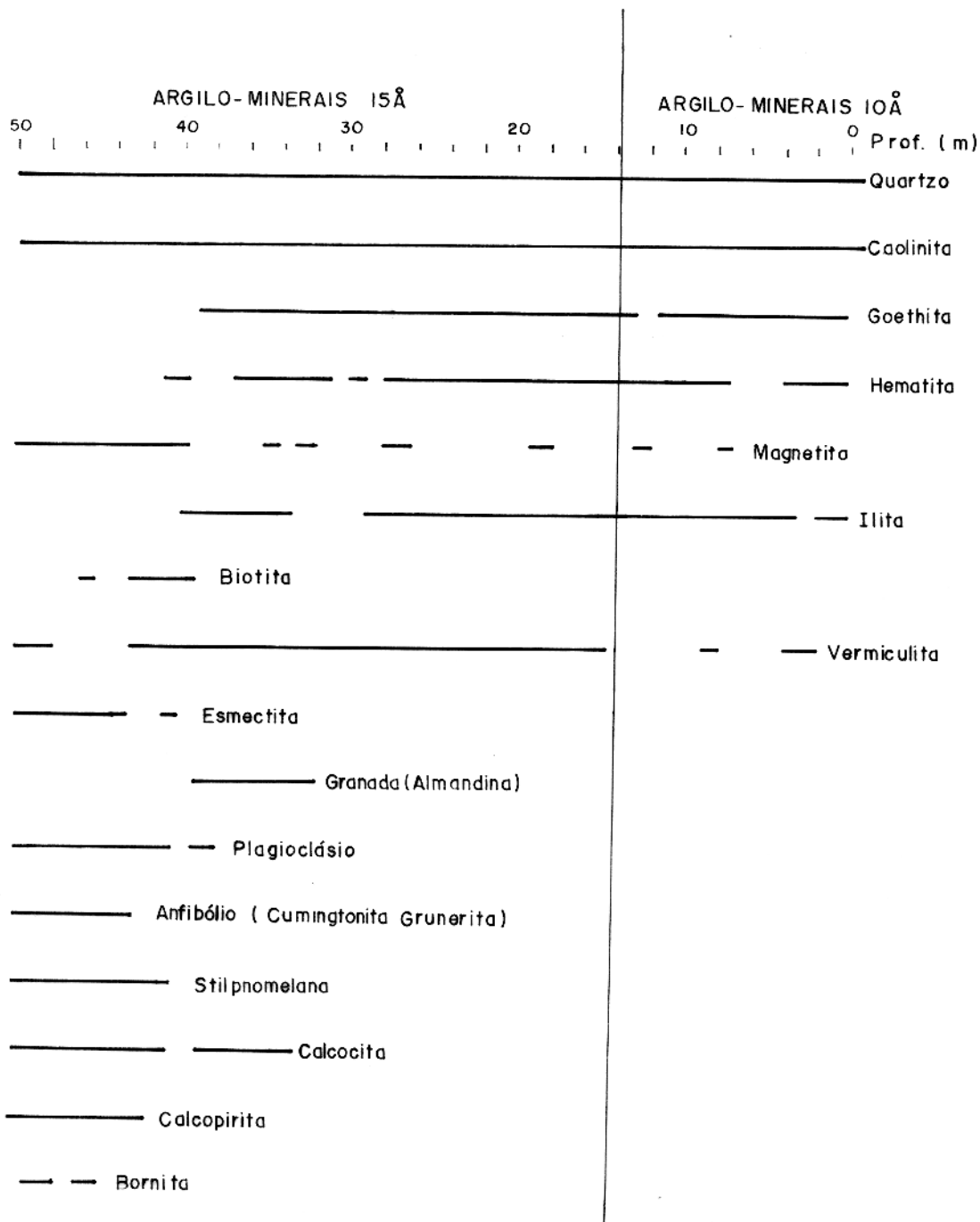


Fig.13 - Mineralogia do Perfil F-47.

nismo neste perfil, desaparece ainda próximo à base do mesmo. Bem mais resistente, indo até as proximidades do topo do perfil está a vermiculita. Segundo Tazaki et al. (1988) o teor de Mg sugere que a vermiculita é formada pelo intemperismo de biotita, Caolinita, goethita, hematita e illita, permanecem até o topo do perfil estudado, sendo que a goethita, hematita e illita só iniciam o seu aparecimento, alguns metros acima da base da zona de alteração.

Foram encontradas certas dificuldades, na identificação das vermiculitas tanto do perfil F-46 como do F-47 pois, tal como as vermiculitas observadas por Toledo-Groke (1986), este mineral a 14Å, não expansível, apresenta certa resistência ao fechamento durante os testes de aquecimento. Normalmente vermiculitas devem sofrer um fechamento de sua estrutura, passando de 14Å à 10Å, pela perda de água, após 1 h à temperaturas menores que 300°C (Carrol, 1974) ou a 200°C (Robert, 1975). No entanto, obtivemos fechamentos totais e algumas vezes apenas parciais, somente quando o aquecimento foi efetuado à temperatura de 500°C (Anexo 2).

O grupo "c" (minerais de cobre), é composto por calcocita, calcopirita e bornita, que constituem a mineralização primária.

Os minerais de cobre encontram-se desde a base até algumas dezenas de metros acima, desaparecendo na parte média inferior do perfil.

Neste perfil, não foram detectados minerais de cobre de neoformação, como ocorreu no perfil F-31.

6.4 Estruturação Geral dos Perfis Estudados

Existem dificuldades para visualizar a estruturação dos perfis estudados, em termos de horizontes definidos. Isto se deve, principalmente, às variações petrográficas que ocorrem no embasamento.

Uma possibilidade de se entender a estruturação desses perfis, é a definição dos horizontes, a partir do argilo-mineral que o caracteriza. Considerando que a complexidade da estrutura dos argilo-minerais é, via de regra, inversamente proporcional à sua resistência ao intemperismo (Longhnan, 1969), pode-se ter uma idéia da intensidade do processo de alteração, a

partir do registro do aparecimento e do desaparecimento de determinadas espécies de argilo-minerais nos perfis estudados. Assim sendo, nos perfis F-31, F-46 e F-47, observam-se quatro grupos principais de argilo-minerais.

Argilo-minerais 15Å e interestratificados: esmectita, vermiculita e hidrobiotita.

Argilo-minerais 10Å; illita

Argilo-minerais 7Å; Caolinita

Baseado na ocorrência desses quatro grupos de argilo-minerais, é possível subdividir os perfis estudados em diferentes horizontes (Figs. 11, 12 e 13). Então teríamos as seguintes estruturas:

Para o perfil F-31:

0 m - 16 m: horizonte de ocorrência predominante de argilo-minerais 7Å.

16 m - 62 m: horizonte de ocorrência de argilo-minerais 15Å e interestratificados.

62 m - base: zona de relictos (início de alteração, na qual ainda se encontram minerais primários preservados).

Para o perfil F-46:

0 m - 18 m: horizonte de ocorrência de apenas argilo-minerais 7Å.

18 m - 47 m: horizonte de ocorrência de argilo-minerais 10Å.

47 m - base: horizonte de ocorrência de argilo-minerais 15Å e interestratificados.

Para o perfil F-47:

0 m - 14 m: horizonte de ocorrência de argilo-minerais 10Å.

14 m - base: horizonte de ocorrência de argilo-minerais 15Å.

Observa-se mediante a sub-divisão baseada na ocorrência dos argilo-minerais que, o perfil F-46 é o mais bem desenvolvido, enquanto que o perfil F-47 é o mais imaturo, contendo minerais 15Å até próxima do seu topo.

Segundo Grim (1968), uma rocha ácida contendo considerável quantidade de potássio, tão bem quanto magnésio, sob condições de intemperismo permitindo ao K e Mg permanecerem no ambiente de intemperismo após a quebra dos minerais da rocha mãe,

dará illita e esmectita como produto de alteração. Se o teor de K é baixo esmectita será o único produto, sendo ao que parece o que ocorreu no perfil F-31. Se o teor de Mg é baixo, illita será o único produto, explicando provavelmente a existência desse mineral nos perfis F-46 e F-47. Parece no entanto, que a hipótese mais adequada é a de que houve, anteriormente, uma fase em que a alteração das biotitas produzia esmectita, de composição próxima ou francamente nontronítica. Esta transformação se deu com perda parcial de K interfoliar, oxidação e perda variável de ferro e Mg octaédrico, e ganho de Al octaédrico, procedente de camada tetraédrica ou de alteração dos outros minerais. Posteriormente, mudanças climáticas ou topográficas tornaram o ambiente mais lixivante, e a alteração prosseguiu, formando caolinita, com fase intermediária de "biotita alterada" (vermiculita e interestratificado biotita-vermiculita) (Toledo Groke, 1986).

No perfil F-47, observa-se o aparecimento de illita, ao mesmo tempo em que ocorre o desaparecimento do plagioclásio e da biotita. Pode estar ocorrendo o mesmo que o observado por Mitchell (1963), o qual sugeriu a formação de illita dioctaédrica a partir de plagioclásio, sendo o K necessário para a formação desta, produzido pelo intemperismo de biotitas. Pode ser também que a presença de illita deva-se apenas às heterogeneidades litológicas, comuns na área em estudo.

Nos perfis F-31 e F-46 foi também observada, embora com pouca frequência, a presença de um interestratificado 15-20Å, sempre associado às hidrobiotitas, podendo estar relacionados à reflexão 24Å deste mineral ou ser outro tipo de interestratificado.

Quanto à ocorrência de minerais de cobre no Salobo, Lindermayer et al. (1988) relataram a presença de sulfetos de cobre associados à magnetita, sendo tanto mais abundantes quanto mais magnetita houver na rocha. Isto está de acordo com o observado nos perfis F-31 e F-47 (Figs. 11 e 13). Segundo os mesmos autores, a composição dos sulfetos varia de acordo com a mineralogia da rocha hospedeira. A calcopirita ocorre em rochas formadas por fayalita, granada do tipo 1 e hastingsita incolor (grunerita), como nos perfis F-31 e F-47, onde dos minerais citados apenas a fayalita não foi detectada. Quando predomina o anfíbio, o sulfeto dominante é a bornita, o que provavelmente explica a ausência deste mineral no perfil F-46. A calcocita, asso-

cia-se preferencialmente à biotita-clorita.

7 GEOQUÍMICA

7.1 Generalidades

Os estudos geoquímicos foram desenvolvidos em amostras dos perfis F-31, F-46 e F-47, abrangendo os 70 m superiores do perfil F-31, os 80 m superiores do perfil F-46 e os 50 m superiores do perfil F-47. Considerando que foram submetidas a análises químicas, amostras coletadas a cada 2 m, foram então analisadas 35 amostras do perfil F-31, 40 amostras do perfil F-46 e 25 amostras do perfil F-47, perfazendo um total de 100 amostras analisadas.

As amostras coletadas a cada dois metros, foram analisadas determinando-se os teores de: Al_2O_3 , TiO_2 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , Na_2O , K_2O , CuO , MnO , Ni , Au , Ag , Co e P.P.C. (perda por calcinação).

O SiO_2 , devido a dificuldades encontradas para sua determinação, já referidas no Capítulo 5, foi determinado apenas em amostras coletadas a intervalos de aproximadamente dez metros. O mesmo intervalo de amostragem foi seguido para a determinação dos teores de Mo . Os teores de Au e Mo foram reportados de análises anteriormente realizadas pela DOCEGEO, segundo DOCEGEO (1981).

Os resultados obtidos nas análises químicas são apresentados nas Tabelas 1, 2 e 3.

Com os dados das Tabelas 1, 2 e 3, foram determinados coeficientes de correlação, os quais são apresentados nas tabelas 4, 5 e 6, sendo que os referidos coeficientes, foram calculados por horizontes em cada perfil, ficando assim especificados:

Perfil F-31

Horizonte argilo-minerais 7 \bar{A} : Tab. 4a

Horizonte argilo-minerais 15 \bar{A}

e interestratificados. : Tab. 4b

Zona de relictos : Tab. 4c

Perfil F-46

Horizonte argilo-minerais 7 \bar{A} : Tab. 5a

Horizonte argilo-minerais 10 \bar{A} : Tab. 5b

Horizonte argilo-minerais 15 \bar{A}

e interestratificados. : Tab. 5c

TABELA 1 - Análises químicas do perfil F-31.

Profund. (m)	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	TiO ₂ %	Fe ₂ O ₃ %	CaO %	MgO %	Na ₂ O %	K ₂ O %	CuO %	MnO %	Mo(b) %	Ni ppm	Au(b) ppm	Ag ppm	Co ppm	PPC %	Total %
F-31-1	28,55	14,17	0,78	45,66	0,02	0,06	0,24	-	0,10	0,70	...	40	0,09	8,0	70	8,52	98,80
3	...	13,99	0,81	47,54	-	0,06	0,37	-	0,13	0,98	...	40	0,15	5,5	90	8,50	...
5	...	13,99	0,84	40,57	0,01	0,08	0,29	0,02	0,34	0,85	0,004	30	0,08	-	140	9,26	...
7	...	12,72	0,82	40,57	-	0,05	0,12	0,03	0,39	0,75	...	40	0,09	6,3	160	8,08	...
9	...	10,72	0,69	36,01	-	0,15	0,27	0,53	0,52	0,82	...	50	<0,05	8,2	130	6,99	...
11	42,85	10,80	0,68	33,65	0,07	0,25	0,09	0,86	0,54	0,56	...	30	<0,05	3,1	80	6,82	97,17
13	...	11,45	0,76	47,00	0,06	0,48	0,20	1,84	0,75	2,31	...	80	0,10	8,2	260	7,75	...
15	...	10,36	0,79	36,82	0,02	0,49	0,08	2,37	0,64	0,77	0,002	40	<0,05	3,1	130	6,46	...
17	...	8,92	0,60	47,00	0,07	0,72	0,38	1,95	1,16	1,20	...	140	1,23	6,3	210	8,64	...
19	...	8,20	0,44	50,76	0,14	0,36	0,14	0,75	1,16	1,54	...	105	0,50	9,4	210	9,32	...
21	39,20	9,45	0,61	38,42	0,16	0,65	0,17	1,60	0,83	0,46	...	100	1,03	4,7	110	7,04	98,59
23	...	8,38	0,50	49,15	0,20	1,08	0,02	1,98	1,83	0,19	...	180	<0,05	11,0	120	8,40	...
25	...	5,17	0,26	50,22	0,30	1,11	0,06	0,99	0,81	0,65	0,003	140	0,12	15,7	80	9,48	...
27	...	6,78	0,63	55,58	0,44	1,32	0,06	0,99	0,96	0,56	...	120	0,52	11,0	110	5,54	...
29	...	7,67	0,41	60,17	0,07	0,19	0,02	0,07	1,29	1,08	...	50	<0,05	17,6	180	12,11	...
31	28,40	11,45	0,86	41,64	0,15	0,36	0,15	0,20	1,43	2,24	...	110	0,08	11,8	220	11,40	98,28
33	...	9,82	0,52	39,50	0,32	0,95	0,05	0,33	1,59	1,15	...	220	<0,05	7,1	140	11,74	...
35	...	13,20	0,69	41,10	0,35	2,79	0,05	0,89	1,14	0,69	0,001	380	<0,05	5,5	130	6,58	...
37	...	11,27	0,72	41,64	0,21	2,76	0,08	1,41	1,67	0,44	...	340	0,06	3,9	130	8,13	...
39	...	16,59	0,93	23,98	0,07	0,80	0,07	2,02	1,12	0,42	...	100	<0,05	10,4	130	8,38	...
41	44,05	13,31	0,90	24,24	0,07	2,08	0,10	1,88	2,85	1,22	...	120	<0,05	17,6	310	7,63	98,33
43	...	7,19	0,39	52,90	0,15	1,17	0,40	1,29	1,89	0,55	...	150	0,43	24,7	160	6,37	...
45	...	8,01	1,70	37,89	0,50	0,86	0,11	0,72	1,51	0,61	0,004	130	<0,05	14,5	110	8,86	...
47	...	6,58	0,23	52,80	0,47	0,55	0,02	0,38	1,18	0,43	...	110	0,11	5,9	80	7,39	...
49	...	2,74	0,70	67,32	0,31	0,39	0,12	0,07	1,09	0,32	...	110	<0,05	24,3	100	7,51	...
51	32,55	10,42	0,62	39,50	0,16	1,74	0,11	2,13	2,15	0,74	...	150	<0,05	21,2	140	7,80	97,92
53	...	11,96	0,62	29,99	0,10	2,61	0,06	3,01	1,93	0,43	...	210	<0,05	16,5	120	6,09	...
55	...	12,34	0,51	31,04	0,18	2,82	0,28	1,66	1,20	0,35	0,001	170	<0,05	34,5	120	5,15	...
57	...	10,22	0,30	37,89	0,37	1,24	0,03	2,51	1,57	2,49	...	220	<0,05	21,6	200	5,82	...
59	...	10,99	0,87	35,22	0,20	1,49	0,06	2,85	0,96	0,69	...	180	<0,05	11,8	130	4,84	...
61	47,80	11,19	0,80	25,02	0,17	1,68	0,22	3,01	1,18	0,47	...	170	<0,05	11,0	120	3,11	93,87
63	...	11,77	0,81	31,04	0,54	1,56	0,09	1,95	0,47	1,23	...	140	<0,05	14,9	100	0,13	...
65	...	10,99	0,83	43,79	0,79	1,05	0,30	0,25	0,47	2,04	0,001	100	<0,05	14,1	90	-	...
67	...	1,51	0,27	29,99	0,43	0,72	-	0,45	33,38	0,38	...	120	0,86	88,6	80	18,31	...
69	28,45	6,58	0,37	55,58	0,37	1,71	0,13	0,94	2,46	0,89	...	160	0,21	18,0	120	-	97,48

a)* F-31-1 = de 0 a 1 m de profundidade

b) Au e Mo: extraídos de DOCEGEO (1981)

TABELA 2 - Análises químicas do perfil F-46

Profund. (m)	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	TiO ₂ %	Fe ₂ O ₃ %	CaO %	MgO %	Na ₂ O %	K ₂ O %	CuO %	MnO %	Mo(b) %	Ni ppm	Au(b) ppm	Ag ppm	Co ppm	PPC %	Total %
F-46-1	25,55	17,38	0,93	46,56	0,56	0,04	0,07	0,16	0,21	0,26	...	31	0,18	5,2	48	8,55	100,27
3	...	15,72	0,90	46,78	0,13	0,08	0,03	0,12	0,24	0,71	...	24	0,18	5,2	74	7,73	...
5	...	15,69	0,94	41,10	0,03	0,07	0,12	0,10	0,13	0,38	<0,001	23	0,10	6,5	50	8,13	...
7	...	12,85	0,81	52,76	0,05	0,05	0,13	0,14	0,24	0,61	...	32	0,10	4,8	78	7,62	...
9	...	13,42	0,67	40,10	0,03	0,05	0,03	0,10	0,16	0,59	...	23	0,09	7,0	68	7,40	...
11	34,95	12,96	0,59	41,19	0,03	0,06	0,05	0,08	0,16	0,26	...	24	0,05	-	50	7,02	97,35
13	...	9,45	0,81	48,27	0,04	0,05	0,08	0,10	0,24	0,94	...	32	0,05	8,5	94	7,32	...
15	...	12,28	0,71	40,51	0,02	0,04	0,11	0,13	0,26	0,72	<0,001	28	0,05	5,2	74	7,92	...
17	...	13,23	0,68	42,23	0,03	0,04	0,05	0,11	0,38	1,07	...	34	0,36	4,4	114	8,35	...
19	...	12,85	0,66	42,34	0,03	0,09	0,01	0,55	0,34	1,76	...	36	0,12	6,4	185	7,31	...
21	35,45	11,88	0,59	40,37	0,03	0,07	0,01	0,44	0,40	1,19	...	36	0,11	7,3	164	7,45	97,88
23	...	12,47	0,91	43,91	0,23	0,23	0,13	0,57	0,40	0,29	...	47	0,10	5,5	78	8,46	...
25	...	12,09	0,76	34,94	0,06	0,26	0,35	1,73	0,33	0,25	<0,001	41	<0,05	1,7	67	6,09	...
27	...	12,47	0,44	31,98	0,05	0,17	0,04	1,23	0,34	0,77	...	58	<0,05	3,6	104	6,89	...
29	...	11,84	0,68	36,40	0,02	0,14	-	1,07	0,53	1,84	...	57	0,07	11,3	160	6,65	...
31	42,25	12,60	0,69	31,68	0,04	0,35	-	1,87	0,68	0,35	...	83	<0,05	5,2	81	5,89	96,40
33	...	10,58	0,58	32,77	0,41	0,08	0,04	0,38	0,49	3,55	...	53	<0,05	10,8	207	4,63	...
35	...	8,13	0,49	37,91	0,02	0,31	0,13	0,40	0,71	4,80	0,001	75	0,07	8,3	83	6,78	...
37	...	12,47	0,79	53,40	0,03	0,15	0,19	0,45	0,36	0,09	...	66	0,65	5,2	52	5,90	...
39	...	12,85	0,70	42,55	0,04	0,16	0,05	0,89	0,45	0,98	...	49	0,17	2,3	99	6,58	...
41	32,25	11,15	0,73	42,36	0,06	0,20	0,10	0,61	0,49	1,78	...	49	0,13	4,8	151	6,54	96,27
43	...	10,58	0,60	55,76	0,07	0,19	0,06	1,39	0,58	0,68	...	75	0,09	-	129	6,07	...
45	...	10,96	0,62	36,57	0,08	0,35	0,03	0,76	0,39	0,26	0,001	66	<0,05	2,4	81	5,60	...
47	...	9,83	0,57	40,37	0,03	0,23	0,02	1,06	0,49	0,49	...	62	<0,05	5,6	120	6,31	...
49	...	9,83	0,55	37,66	0,02	0,19	0,05	0,87	0,75	1,25	...	68	<0,05	2,6	169	7,07	...
51	35,15	11,34	0,65	36,67	0,02	0,38	0,01	1,95	0,93	3,12	...	89	0,13	2,7	204	7,36	97,58
53	...	8,69	0,58	45,16	0,03	0,34	0,04	1,51	0,98	3,16	...	98	0,12	14,1	206	6,90	...
55	...	13,23	0,74	37,66	0,03	0,25	0,01	1,11	0,81	1,23	0,001	62	0,16	1,9	153	7,34	...
57	...	11,71	0,66	36,13	0,04	0,36	0,02	1,69	1,18	2,53	...	75	<0,05	0,9	206	7,01	...
59	...	12,47	0,67	34,07	0,15	0,40	0,01	1,91	0,93	1,13	...	82	<0,05	3,8	127	5,94	...
61	37,45	10,60	0,73	37,93	0,02	0,52	0,01	2,01	1,57	1,00	...	107	0,06	2,3	151	5,63	97,47
63	...	10,58	0,69	40,10	0,07	0,52	-	2,65	0,98	1,70	...	85	<0,05	7,2	171	6,55	...
65	...	12,47	0,74	38,66	0,02	0,52	0,11	2,12	1,87	2,10	0,001	100	0,09	5,1	176	7,95	...
67	...	11,34	0,67	34,13	0,06	0,58	0,04	2,29	1,40	0,36	...	124	0,10	1,8	105	5,51	...
69	...	11,34	0,69	31,05	0,08	0,58	0,02	2,05	0,98	0,81	...	100	0,13	4,6	124	5,78	...

71	45,25	10,05	0,59	30,70	0,20	0,53	0,02	1,87	1,01	1,25	...	92	<0,05	120	5,14	96,61
73	...	12,47	0,76	40,29	0,16	0,52	-	2,06	1,44	2,53	...	102	<0,05	158	7,21	...
75	...	8,31	0,54	37,47	0,21	0,30	0,01	0,69	0,65	1,53	0,001	72	0,09	124	4,49	...
77	...	10,96	0,66	32,50	0,03	0,38	-	1,33	0,73	0,72	...	57	<0,05	102	6,99	...
79	56,8	8,20	0,41	30,85	0,56	0,19	0,01	0,68	0,18	1,76	...	40	<0,05	67	1,70	101,34

a) F=46-1 = de 0 a 1 m de profundidade

b) Au e Mo: estratidos de DOCEGEO C1981I

TABELA 3 - Análises químicas do perfil F-47.

Profund. (m)	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	TiO ₂ %	Fe ₂ O ₃ %	CaO %	MgO %	Na ₂ O %	K ₂ O %	CuO %	MnO %	Mo(b) %	Ni ppm	Au(b) ppm	Ag ppm	Co ppm	PPC %	Total %
F-47-1	33,80	16,12	1,01	38,78	-	0,03	0,32	0,08	1,08	0,95	...	41	0,16	5,8	229	9,32	101,49
3	...	14,48	0,76	34,40	-	0,46	0,26	1,02	2,09	0,27	...	83	0,06	0,4	106	7,55	...
5	...	11,98	0,70	32,50	-	0,38	0,41	1,97	1,70	0,77	0,001	76	0,08	0,8	130	7,19	...
7	...	11,68	0,77	34,69	-	0,38	0,23	1,80	1,29	1,32	...	70	<0,05	-	153	7,55	...
9	...	4,92	0,25	47,25	-	0,10	0,91	0,37	1,08	0,53	...	30	0,11	-	98	2,91	...
11	38,50	11,48	0,64	36,57	-	0,46	0,36	2,20	1,69	0,55	...	74	0,10	2,2	110	6,54	98,99
13	...	0,83	0,06	42,28	0,21	0,12	0,22	0,07	0,74	0,31	...	36	<0,05	-	39	0,48	...
15	...	11,86	0,63	38,05	-	0,45	0,20	0,82	1,90	0,72	0,002	91	0,16	4,8	121	7,42	...
17	...	11,68	0,67	32,65	-	0,55	0,74	0,95	1,75	0,53	...	117	<0,05	-	134	7,27	...
19	...	4,55	0,27	45,49	-	0,30	0,60	0,44	0,99	0,32	...	50	0,06	4,5	90	2,84	...
21	37,35	12,48	0,70	36,14	-	0,61	0,33	2,36	1,76	0,62	...	113	<0,05	-	157	7,37	99,72
23	...	9,89	0,58	38,05	-	0,53	0,31	0,58	4,33	0,39	...	117	0,09	-	129	6,18	...
25	...	11,09	0,65	35,27	-	0,46	0,26	0,74	4,44	0,62	0,001	117	0,13	1,9	134	7,59	...
27	...	10,09	0,58	36,89	0,17	0,30	1,22	0,62	1,50	0,27	...	78	<0,05	1,6	104	5,70	...
29	...	12,48	0,71	30,24	-	1,37	0,27	0,94	5,37	0,35	...	244	<0,05	-	172	7,74	...
31	40,50	11,58	0,59	33,53	-	0,98	0,44	0,75	5,27	0,34	...	173	0,11	4,3	161	6,66	100,64
33	...	11,08	0,58	34,54	0,24	0,66	0,27	0,75	4,42	0,90	...	167	0,08	2,0	144	5,76	...
35	...	12,28	0,42	39,50	0,31	0,32	0,27	1,13	1,56	1,64	0,001	80	<0,05	3,0	89	4,43	...
37	...	11,09	0,67	32,65	-	0,43	0,08	1,13	4,06	0,86	...	141	0,15	1,4	124	5,96	...
39	...	11,19	0,51	36,30	0,32	0,36	0,11	1,38	1,14	1,60	...	48	<0,05	4,5	94	2,02	...
41	44,90	12,28	0,62	32,65	0,20	0,83	2,16	1,70	0,44	0,15	...	46	<0,05	0,7	130	1,91	97,84
43	...	12,08	0,84	26,66	1,40	0,63	4,46	2,49	1,41	0,21	...	42	0,10	4,6	52	1,00	...
45	...	12,88	0,66	22,15	2,18	1,04	4,99	2,24	1,15	0,21	0,001	36	<0,05	2,95	49	1,00	...
47	...	13,68	0,97	23,16	1,52	0,51	5,77	3,57	0,90	0,13	...	28	<0,05	4,0	35	0,45	...
49	47,40	12,88	0,90	23,02	2,94	0,99	4,72	2,50	1,01	0,17	...	38	<0,05	-	52	1,08	97,61

a)* F-47-1 = de 0 a 1 m de profundidade

b.) Au e Mo: extraídos de DOCEGEO (1981)

Perfil F-47

Horizonte argilo-minerais 10Å : Tab. 6a

Horizonte argilo-minerais 15Å : Tab. 6b

7.2 Distribuição dos Elementos Maiores

SiO_2 - a sílica demonstra uma tendência de diminuição da base para o topo nos perfis F-46 e F-47, enquanto que no perfil F-31, apresenta-se bastante irregular (Fig. 14).

No perfil F-31, a sílica apresenta teores variáveis ao longo de seu desenvolvimento, com valores máximos de 47,80% SiO_2 , e mínimos de até 28,40% SiO_2 . Os valores máximos são observados na parte superior, abaixo do topo, logo abaixo da metade do perfil e próximo à base deste.

No perfil F-46, a sílica se empobrece genericamente, da base (56,80% SiO_2) para o topo (25,55% SiO_2), apresentando uma razoável concentração (42,25% SiO_2), próximo à metade do perfil.

No perfil F-47, o mais regular, a sílica se empobrece da base (47,40% SiO_2), para o topo (33,80% SiO_2).

Al_2O_3 - o alumínio ao contrário da sílica, aumenta os seus teores da base para o topo nos três perfis estudados (Fig. 15).

No perfil F-31, o mais irregular, o alumínio apresenta-se mais concentrado nas partes inferior e média do perfil, chegando a 16,59% Al_2O_3 , provavelmente devido à presença marcante de caolinita nessas regiões, e registrando um mínimo de 1,51% Al_2O_3 , próximo à base do perfil.

No perfil F-46, o mais regular, os teores de alumínio são de 8,20% Al_2O_3 na base, elevando-se para 17,38% Al_2O_3 no topo.

No perfil F-47, o alumínio mantém-se com valores aproximadamente constantes, em torno de 11,90% Al_2O_3 , da base até a metade do perfil, a partir de onde apresenta dois pontos de reduções bruscas, chegando a 4,97% e 4,55% Al_2O_3 , justificados pela diminuição da caolinita nesses pontos e certamente relacionados às heterogeneidades litológicas primárias (Anexo 3). Os teores máximos, por volta de 16,12% Al_2O_3 , são registrados no topo do perfil.

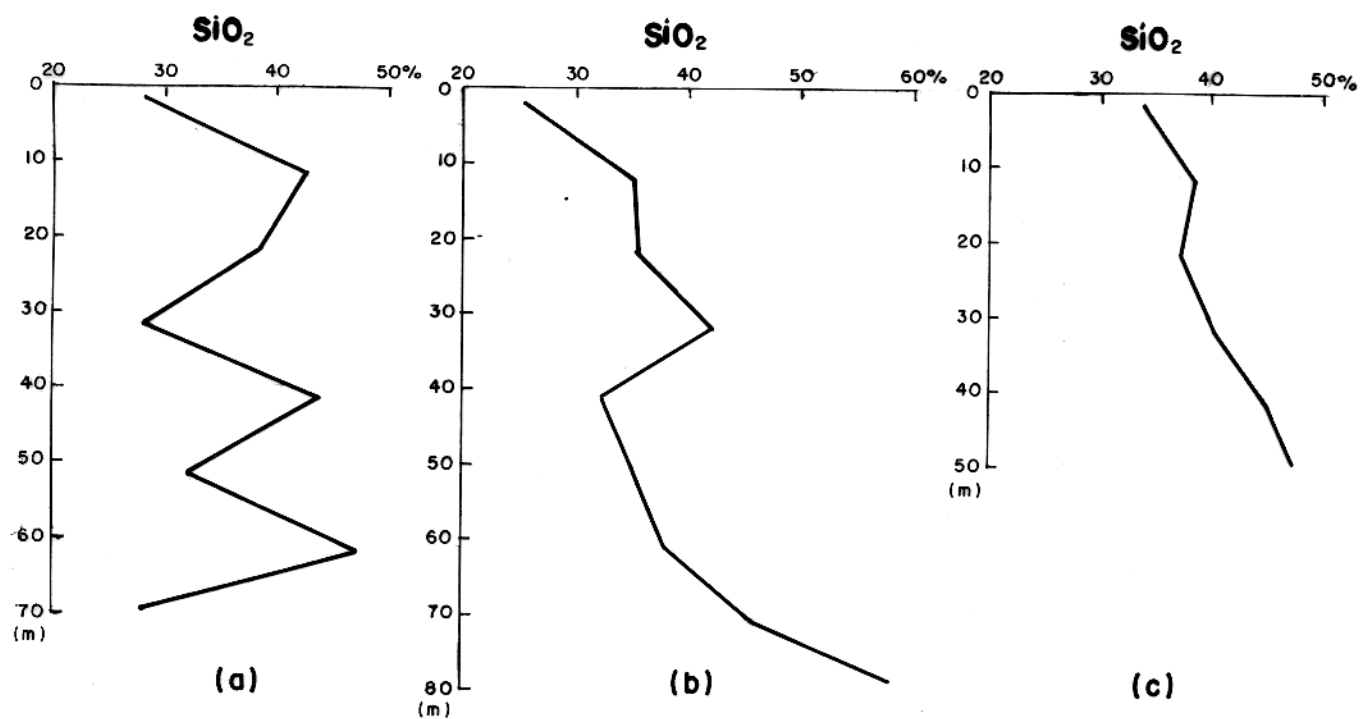


Fig. 14 - Distribuição de SiO_2 : (a) F-31; (b) F-46; (c) F-47.

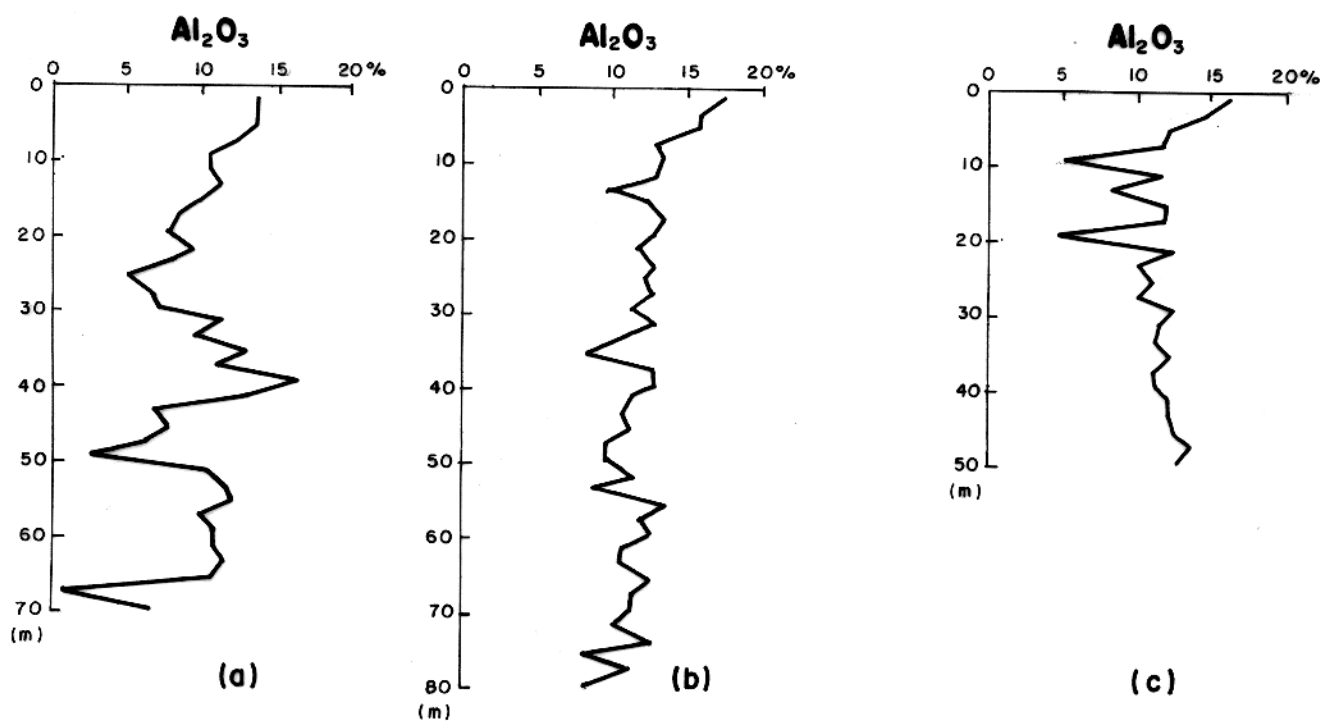


Fig. 15 - Distribuição de Al_2O_3 : (a) F-31; (b) F-46; (c) F-47.

TiO_2 - o titânio, de um modo geral, aumenta levemente seus teores, da base para o topo nos três perfis (Fig.16).

No perfil F-31, o titânio passa de 0,37% TiO_2 na base, para 0,78% TiO_2 no topo, de forma irregular, apresentando um pico próximo à metade do perfil, onde o titânio apresenta-se com teores elevados (1,70% TiO_2), em relação ao restante do mesmo, provavelmente associado à biotita que encontra-se bem pronunciada neste ponto.

No perfil F-46, o aumento nos teores de titânio também se dá da base (0,41% TiO_2) para o topo (0,93% TiO_2), havendo entretanto, alguns pontos localizados na metade superior do perfil, onde os valores se repetem, ou se aproximam dos valores máximos observados no topo, de forma irregular.

No perfil F-47, o titânio diminui seus teores da base (0,90% TiO_2), até a alguns metros acima da metade do perfil, de forma pouco regular, chegando a 0,27% TiO_2 , a partir de onde começa a se elevar irregularmente, em direção ao topo (1,01% TiO_2).

Fe_2O_3 - o ferro comporta-se de maneira irregular nos três perfis (Fig. 17), embora os perfis F-46 e F-47 demonstrem uma certa elevação de teores no topo, em relação à base.

No perfil F-31, o ferro apresenta-se com teores elevados na base, com um máximo de 55,58% Fe_2O_3 , possivelmente devido à presença marcante de magnetita e biotita. A algumas dezenas de metros acima da base do perfil, o ferro volta a apresentar teores elevados, variando de 52,90% a 63,32% Fe_2O_3 , em pontos esparsos, distribuídos até a parte média superior do perfil, onde se encontram predominâncias de goethita e hematita, justificando esses teores. Decréscimos acentuados nos teores de ferro, são observados na parte média e inferior do perfil, chegando a valores de até 23,98% Fe_2O_3 .

No perfil F-46, os teores de ferro elevam-se irregularmente da base (30,85% Fe_2O_3), até a porção intermediária do mesmo, chegando a teores da ordem de 55,76% Fe_2O_3 , após o que decresce, até valores de 31,68% Fe_2O_3 , voltando a crescer em direção ao topo do perfil (46,56% Fe_2O_3). Nas regiões de maiores concentrações, a goethita e hematita têm papel preponderante no perfil.

No perfil F-47, a irregularidade na distribuição

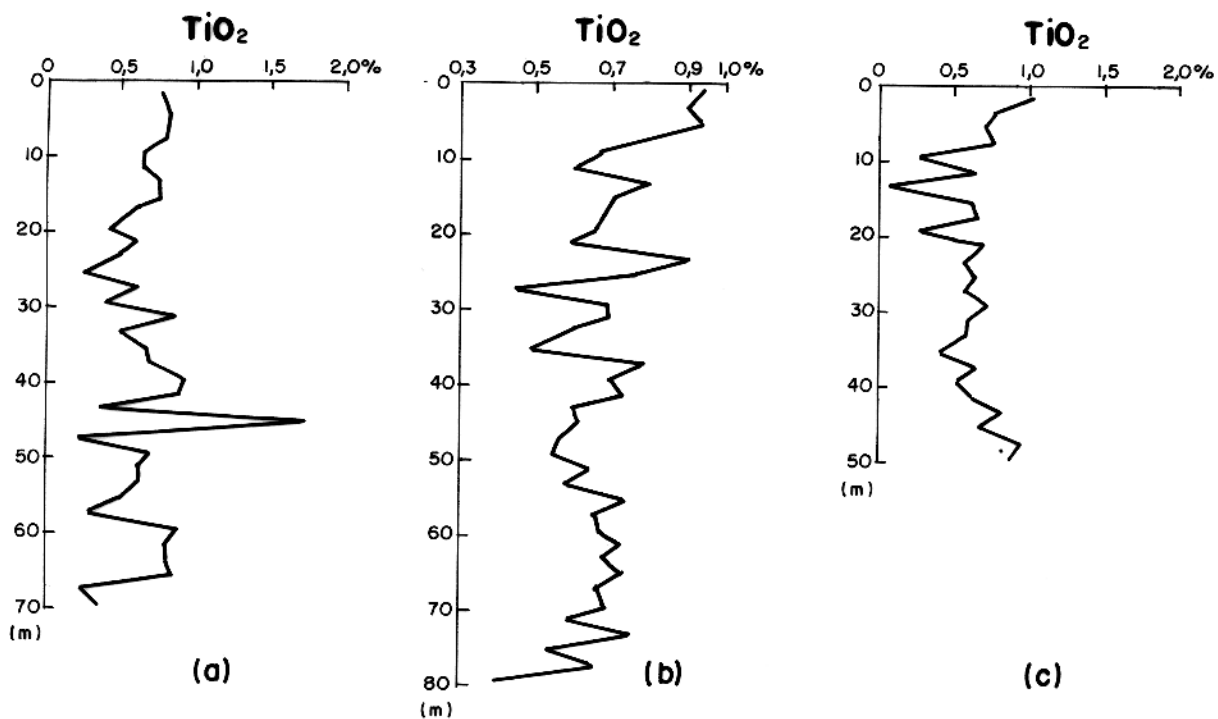


Fig. 16 - Distribuição de TiO_2 : (a) F-31; (b) F-46; (c) F-47.

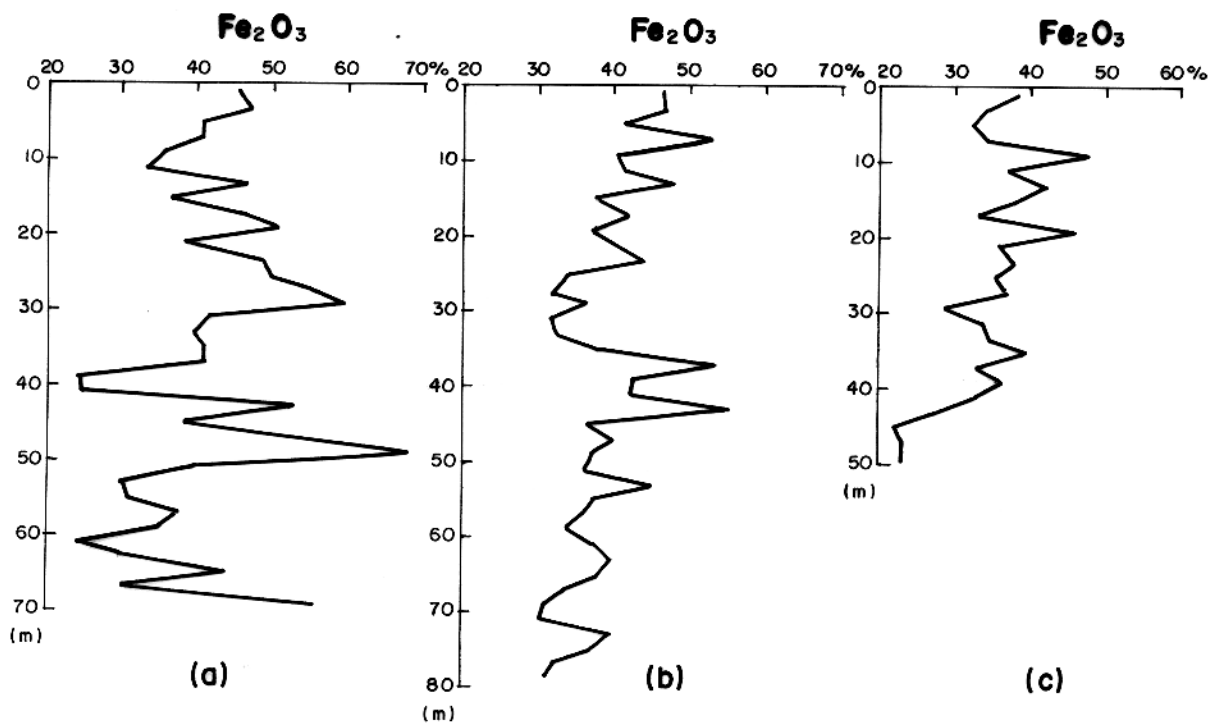


Fig. 17 - Distribuição de Fe_2O_3 : (a) F-31; (b) F-46; (c) F-47.

dos teores de ferro, se deve a que nas regiões onde ocorrem teores mais elevados, o perfil é cortado por BIF (formação ferrífera bandeada), como se pode observar na Figura 10, chegando a teores da ordem de 47,25% Fe_2O_3 . Esses pontos, de maiores concentrações em ferro, iniciam o seu aparecimento a alguns metros da base (23,02% Fe_2O_3 na base) e terminam alguns metros abaixo do topo (38,78% Fe_2O_3 no topo).

CaO - o cálcio tem comportamento semelhante nos perfis F-31 e F-47 (Fig. 18), diminuindo os teores, da base para o topo.

No perfil F-31, o empobrecimento em cálcio é pouco regular, oscilando os teores entre 0,79% próximo à base, e 0,44% CaO próximo a parte média, até praticamente seu desaparecimento em direção ao topo.

No perfil F-46, o cálcio encontra-se mais concentrado em três regiões: na base, com teores de até 0,56% CaO, na parte média superior, com teores entre 0,41% e 0,23% CaO e no topo, com teores de 0,56% CaO. Nas regiões mais pobres, os teores chegam a 0,02% CaO.

No perfil F-47, o cálcio demonstra uma redução que vai de 2,94% CaO na base, onde encontramos plagioclásio e stilpnomelana retratando a rocha mãe (gnaisse), até o seu desaparecimento quase completo, a partir da metade até o topo do perfil.

Os teores, relativamente elevados, de cálcio na base do perfil F-47, em relação ao perfil F-31 e F-46, evidenciam a rocha mãe, que no caso, trata-se de um gnaisse enquanto que nos demais, trata-se de xistos.

MgO - o magnésio tem comportamento geral, semelhante ao cálcio, diminuindo os teores, da base para o topo, nos três perfis estudados (Fig. 19).

No perfil F-31, o mais irregular dos três existem duas regiões de maiores teores em magnésio: uma no terço inferior, chegando a teores de 2,82% MgO e outra na parte média do perfil, chegando a teores de 2,79% MgO, justificados pela presença de esmectitas, enquanto que, em direção ao topo, os teores vão decrescendo até 0,06% MgO. Aos 29 m de profundidade, apresenta um mínimo em Mg (0,19% MgO), justificado pela retração da esmectita neste ponto (Anexo 4).

No perfil F-46, com distribuição um pouco menos

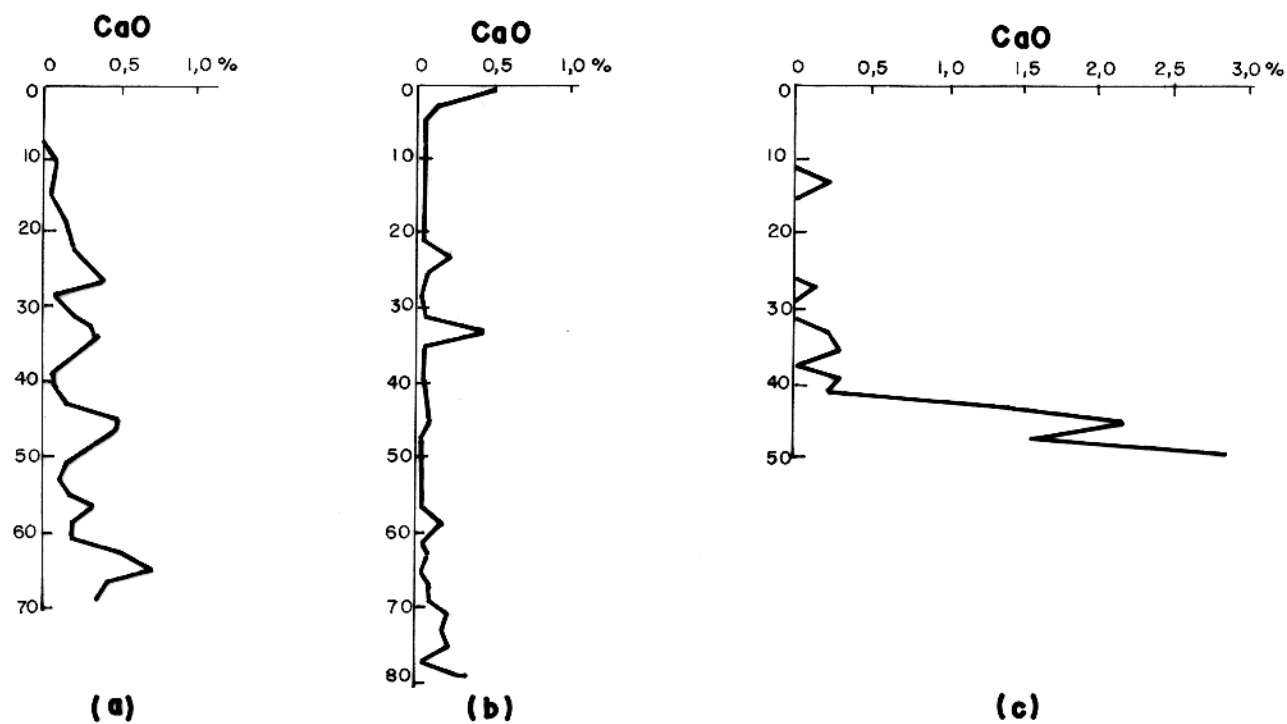


Fig. 18 - Distribuição de CaO: (a) F-31; (b) F-46; F-47.

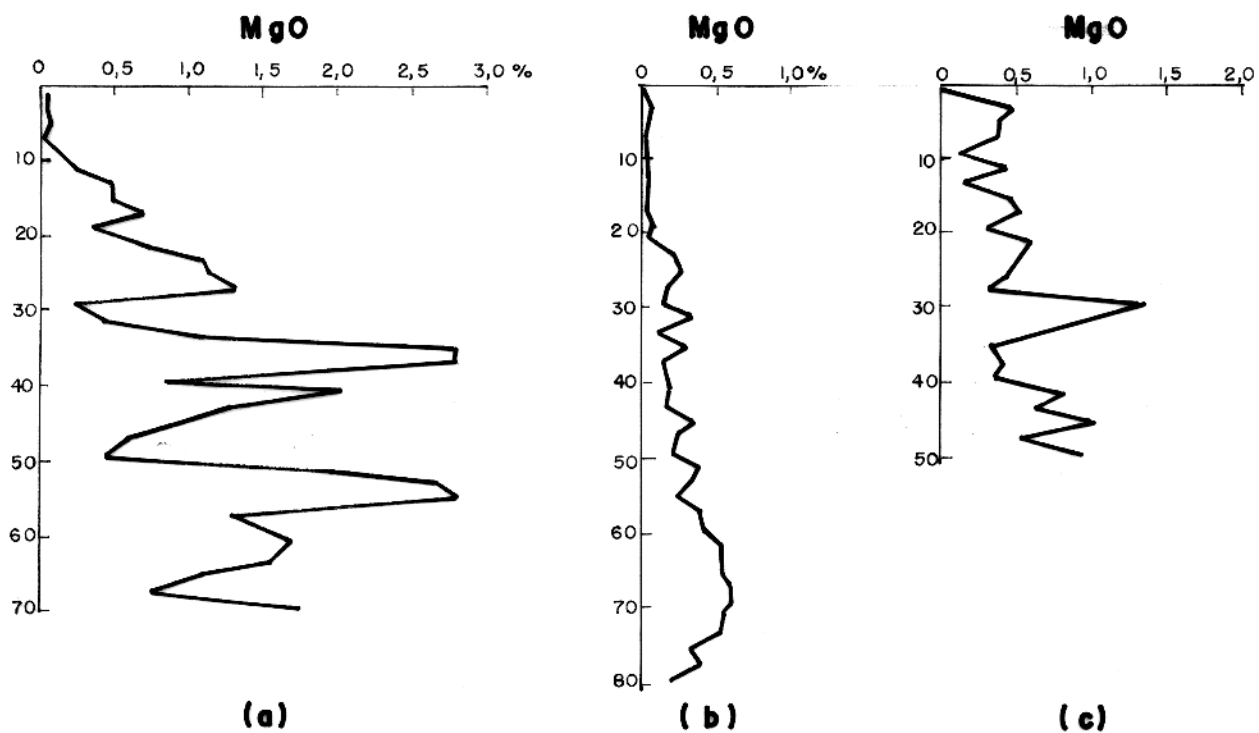


Fig. 19 - Distribuição de MgO: (a) F-31; (b) F-46; (c) F-47

irregular que no perfil F-31, o magnésio tem seus teores aumentados da base (0,19% MgO), até alguns metros acima desta (0,58% MgO) devidos à presença de esmectitas e vermiculitas, empobrecendo para cima, de forma mais ou menos irregular, chegando a teores de 0,04% MgO no topo.

No perfil F-47, os teores de magnésio são da ordem de 0,99% MgO na base, notando-se uma região de maiores teores, aproximadamente na parte média do perfil, chegando a 1,37% MgO, provavelmente devido ao aumento de vermiculita neste ponto. A partir daí, vai decrescendo, de forma relativamente irregular, chegando ao topo com 0,03% MgO.

Na_2O - o sódio tem comportamentos diferentes nos três perfis em estudo (Fig. 20).

No perfil F-31, o sódio se distribui de maneira muito irregular, com teores mais elevados em diversos pontos ao longo do perfil, chegando a teores máximos de 0,40% Na_2O e mínimos de 0,02% Na_2O , até seu desaparecimento, registrado próximo à base do mesmo.

No perfil F-46, os teores de sódio apresentam-se bastante reduzidos, havendo apenas dois pontos, próximos à parte média do perfil, onde os teores elevam-se para 0,19% e 0,35% Na_2O . De uma maneira geral, entretanto, nota-se um aumento na concentração, da base (0,01% Na_2O) para o topo (0,07% Na_2O).

No perfil F-47, o sódio encontra-se acentuadamente mais concentrado na base, onde atinge teores de até 5,77% Na_2O , devidos à presença dos minerais primários plagioclásio e stilpno melana empobrecendo-se em direção ao topo, onde apresenta apenas 0,32% Na_2O .

K_2O - o potássio diminui seus teores, da base para o topo nos três perfis (Fig. 21), porém cada um, com um desenvolvimento particular ao longo do perfil.

No perfil F-31, o potássio apresenta vários pontos de maiores concentrações, da base até próximo ao topo, com teores variando de 1,98% K_2O até 3,01% K_2O nas partes mais ricas, e nas mais pobres, chegando mesmo a desaparecer, como ocorre no topo. Esses altos teores, devem-se à presença marcante de biotita nesses pontos.

No perfil F-46, o teor de potássio se eleva da base (0,68% K_2O) até aproximadamente um terço do perfil, chegando

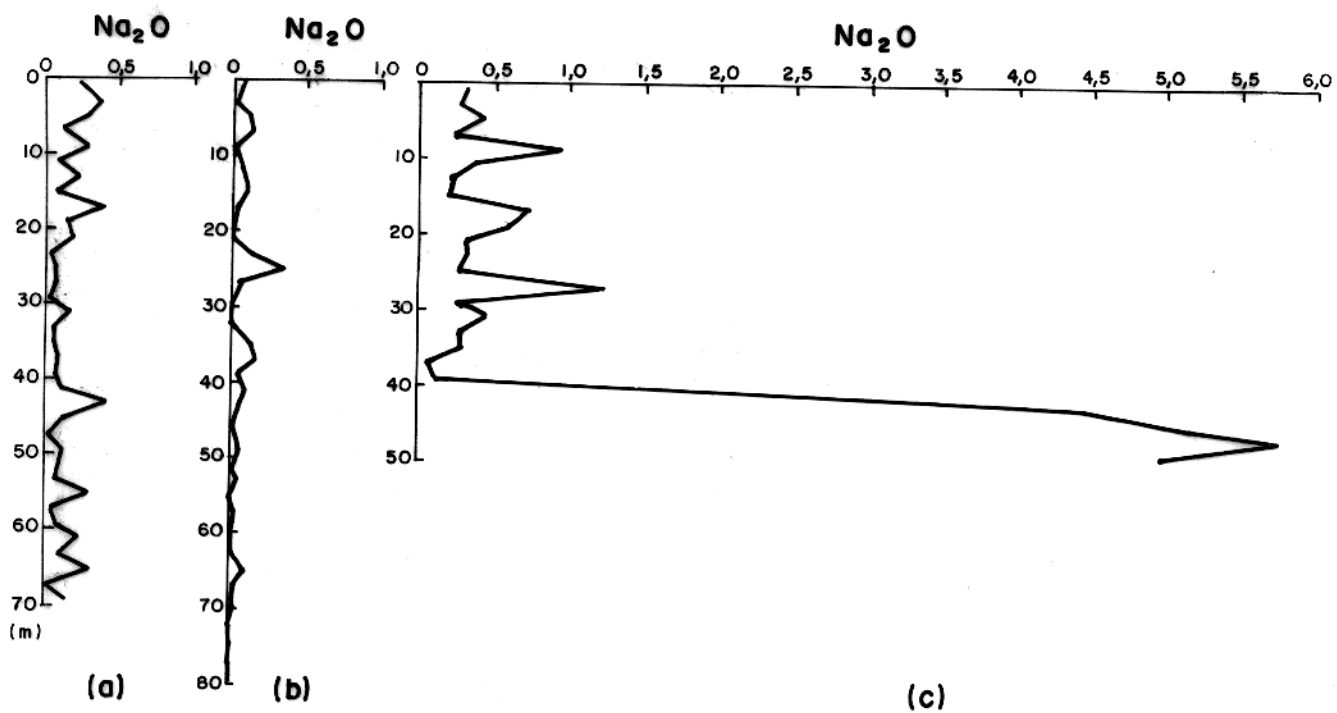


Fig. 20 - Distribuição de Na_2O : (a) F-31; (b) F-46; (c) F-47.

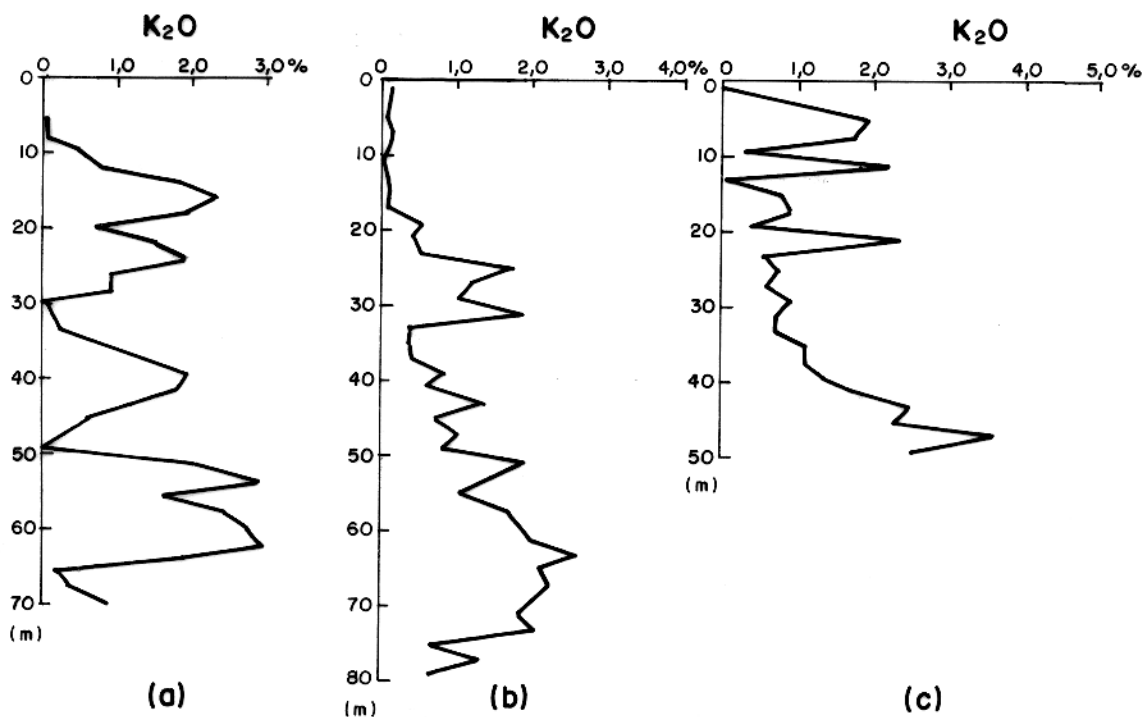


Fig. 21 - Distribuição de K_2O : (a) F-31; (b) F-46; (c) F-47.

a valores como 1,65% e 1,95% K_2O , devidos a presença de biotitas, após a que decresce até aproximadamente a parte média (0,38% K_2O), apresentando logo acima desta, dois picos: um com 1,87% K_2O e outro com 1,72% K_2O , locais estes, onde predominam illitas. A partir daí, os teores de potássio decrescem sensivelmente em direção ao topo, onde se registram apenas 0,16% K_2O .

No perfil F-47, o potássio apresenta comportamento bastante irregular, tal como o perfil F-31. Na base, registram-se os maiores valores, chegando a 3,5% K_2O , devidos à presença de stilpnomelana, e biotita. Esses teores decrescem acentuadamente em direção à metade do perfil, chegando a 0,58% K_2O . A partir da metade do perfil, os teores de potássio se elevam irregularmente, apresentando quatro pontos de maiores concentrações, chegando a valores como 2,36% K_2O , provavelmente ligados à illita. A partir daí, os teores diminuem em direção ao topo.

CuO - o cobre apresenta-se com teores mais elevados, preferentemente, na parte média inferior dos três perfis estudados, estando ainda, no perfil F-31, com teores excessivamente elevados, na base (Fig. 22).

No perfil F-31, os teores de cobre excessivamente elevados, registrados na base (33,38% CuO), são devidos a uma alta concentração de minerais de cobre, especificamente brochantita, e em menor quantidade calcopirita. Poucos metros acima da base, os teores de cobre caem para 0,47% CuO , embora ainda contenham minerais de cobre como bornita, calcocita e calcopirita, porém em quantidades bem menores. A partir daí, os teores de cobre voltam a se elevar, de forma irregular, até valores de 2,85% CuO , registrados próximo à parte média do perfil. Em seguida decresce, apresentando, contudo, um pico de 1,83% CuO , no terço superior do perfil. Após este pico, os teores de cobre voltam a decrescer em direção ao topo, onde chegam com 0,10% CuO . Neste perfil, o cobre apresenta um padrão de distribuição semelhante ao magnésio (Tab. 4a), potássio e titânio (Tab. 4c).

No perfil F-46, os teores de cobre partem da base com 0,18% CuO , crescendo irregularmente até 1,87% CuO , a alguns metros acima desta, a partir de onde decrescem em direção ao topo, onde se registra um teor de 0,21% CuO .

Neste perfil, o cobre demonstra um padrão de distribuição semelhante ao manganês (Tab. 5a), titânio e potássio (Tab. 5c).

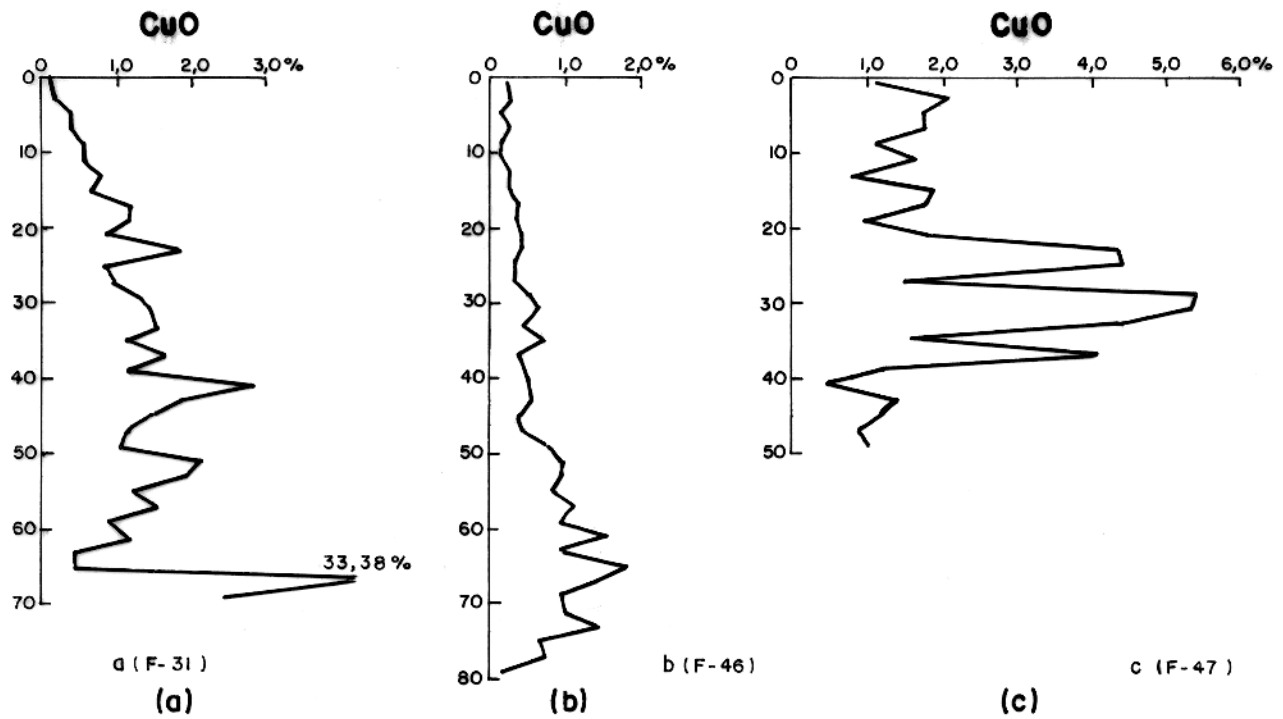


Fig. 22 - Distribuição de CuO: (a) F-31; (b) F-46; (c) F-47.

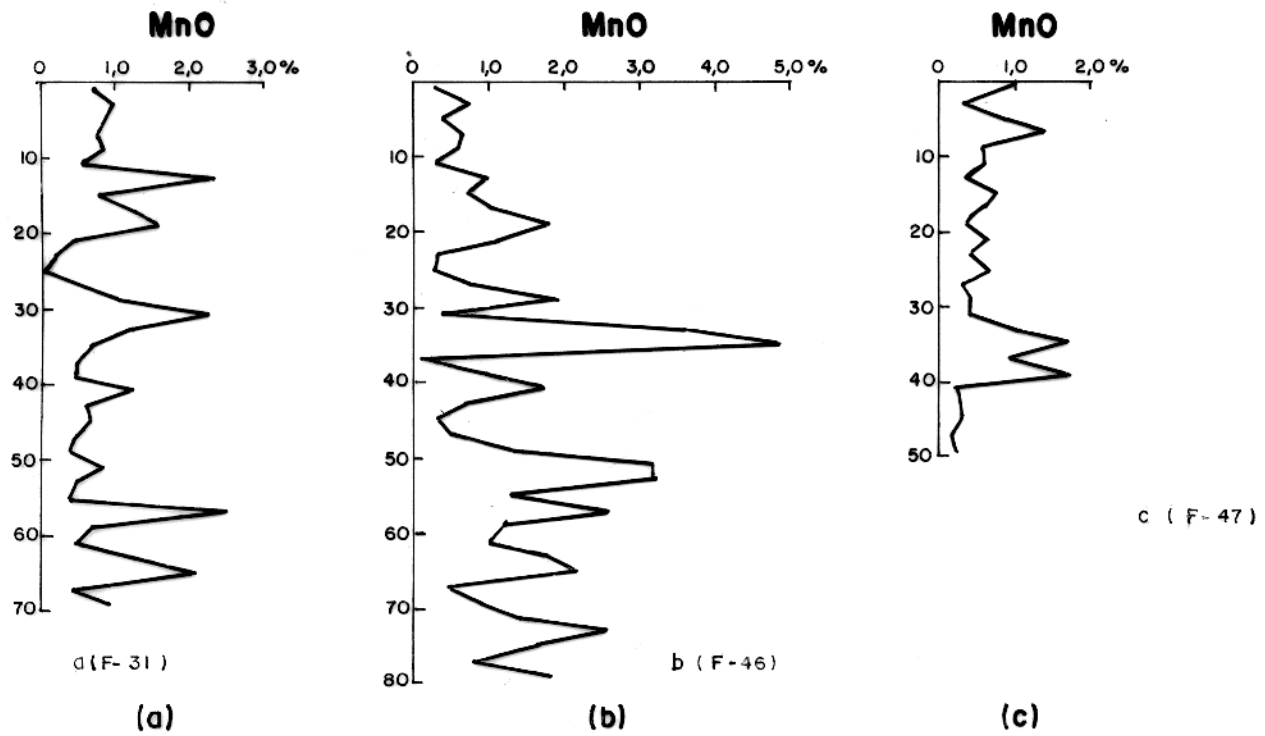


Fig. 23 - Distribuição de MnO: (a) F-31; (b) F-46; (c) F-47.

No perfil F-47, o cobre apresenta-se na base, com um teor de 1,01% CuO. Esses teores se elevam irregularmente em direção à parte média do perfil, chegando a valores de 4,06% a 5,37% CuO. A partir da metade do perfil, os teores de cobre se mantêm razoavelmente constantes, com uma média de 1,51% CuO, chegando ao topo com 1,08% CuO. Neste perfil o cobre apresenta padrão de distribuição semelhante ao magnésio e potássio (Tab. 6a).

MnO - o manganês, tal como os demais elementos, distribui-se de forma irregular nos três perfis (Fig. 23).

No perfil F-31, o manganês apresenta-se com 0,89% MnO na base, elevando os teores para 2,04% e 2,49% MnO, alguns metros acima desta. A seguir, os teores mantêm-se relativamente baixos, numa média de 0,74% MnO, até próximo à metade do perfil, onde volta a crescer, chegando a 2,24% MnO decrescendo novamente. Na parte média superior, apresenta até 2,35% MnO, chegando ao topo com 0,70% MnO.

No perfil F-46, o manganês apresenta-se com 1,76% MnO na base do perfil elevando os teores, de forma muito irregular, até 4,80% MnO, registrados um pouco acima da sua parte média, voltando a decrescer em direção ao topo, onde chega com 0,26% MnO.

No perfil F-47, o manganês demonstra teores bem reduzidos (0,17% MnO) na base, elevando substancialmente esses teores até 1,60% e 1,66% MnO alguns metros acima desta, no terço inferior do perfil. Em seguida, os teores decrescem para uma média de 0,46% MnO, até próximo ao topo, onde volta a crescer até 1,32% MnO. A partir daí decresce, chegando ao topo com 0,95% MnO.

7.3 Distribuição dos Elementos Traços

Mo - o molibdênio apresenta-se com valores muito baixos nos três perfis (Fig. 24).

No perfil F-31, o mais rico, o Mo apresenta-se com 0,001% Mo na base, elevando-se para 0,004% Mo próximo à parte média do perfil, a partir de onde decresce para 0,001%, voltando a elevar seus teores para 0,003% Mo, chegando ao topo com 0,004% Mo.

No perfil F-46, o molibdênio mantém-se com 0,001% Mo até a parte média do perfil, a partir de onde, os valores são sempre menores que 0,001%, até o topo.

No perfil F-47, o molibdênio mantém-se com 0,001 % Mo até a metade do perfil, aumentando a partir deste ponto para 0,002% Mo e voltando a decrescer em direção ao topo, onde chega com 0,001% Mo.

Ni - o níquel apresenta comportamentos diferentes nos três perfis estudados (Fig. 25).

No perfil F-31, o níquel mantém-se da base até próximo à metade do perfil, com uma média de 146 ppm Ni. Na parte média, os teores se elevam até 380 ppm, voltando a decrescer em direção ao topo, onde chega com 40 ppm Ni. Nesse perfil, a distribuição do Ni se assemelha às do manganês (Tab. 4a) e magnésio (Tab. 4b).

No perfil F-46, registram-se 40 ppm Ni na base, elevando-se progressivamente esses valores para 124 ppm Ni, ainda na parte inferior, próximo à base do perfil. A partir deste ponto, os teores decrescem, de forma irregular, até atingir 31 ppm Ni no topo. Nesse perfil, a distribuição do Ni se assemelha às do cobre (Tab. 5a e 5b), magnésio (Tab. 5b e 5c) e potássio (Tab. 5c).

No perfil F-47, o Ni apresenta-se na base, com 38 ppm Ni, elevando os teores até 244 ppm, próximo à parte média do perfil; a partir de então, decresce irregularmente, chegando ao topo com 41 ppm Ni. Nesse perfil, a distribuição do Ni se assemelha as do magnésio, cobre e potássio (Tab. 6a).

Au - o ouro comporta-se também, irregularmente, nos três perfis estudados (Fig. 26).

No perfil F-31 são registrados 0,86 ppm Au, próximo à base do perfil, decrescendo em seguida para teores menores que 0,05 ppm, até próximo à parte média, onde então apresenta dois picos, de 0,43 e 0,52 ppm Au. No terço superior do perfil são registrados os maiores teores, chegando a 1,23 ppm Au, diminuindo em seguida, para uma média de 0,15 ppm, até o topo. Nesse perfil a distribuição do Au se assemelha às do alumínio e ferro (Tab. 4a) e às do ferro e manganês (Tab. 4c).

No perfil F-46, o ouro apresenta-se com teores muito baixos por quase todo o perfil, registrando apenas dois picos de maiores concentrações: um próximo à parte média, com 0,65 ppm Au e outro, próximo ao topo, com 0,36 ppm Au. Nesse perfil a distribuição do Au se assemelha às do Cu (Tab. 5a) e Fe (Tab. 5b).

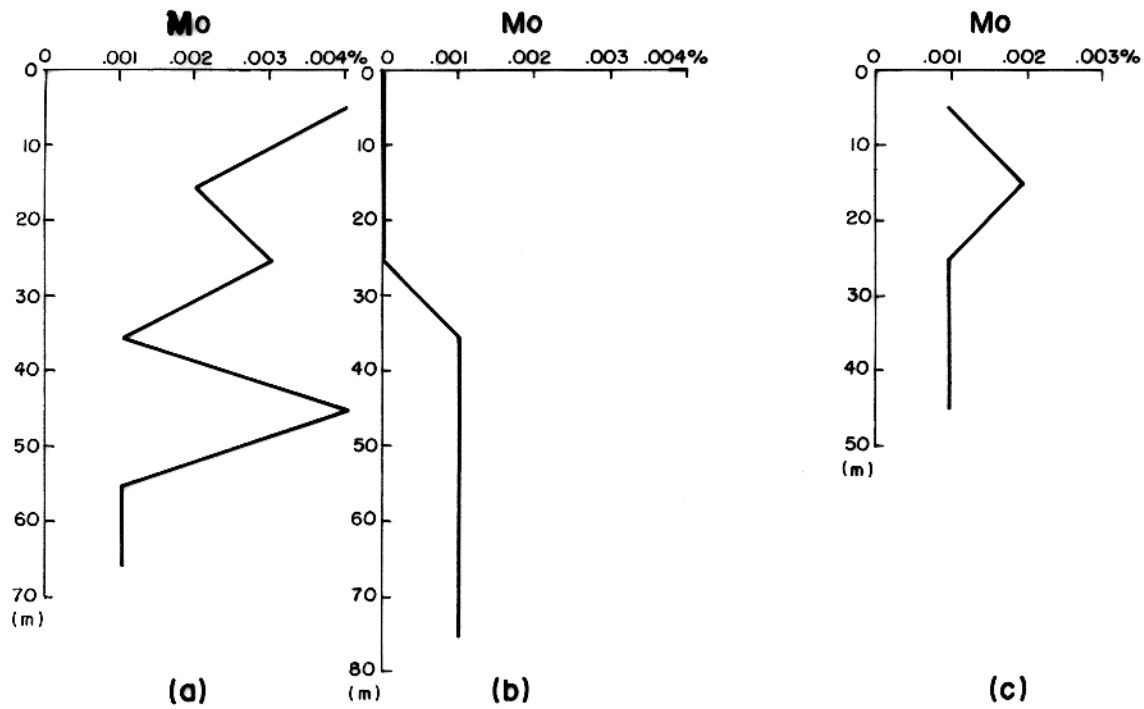


Fig.24 - Distribuição de Mo: (a) F-31; (b) F-46; (c) F-47.

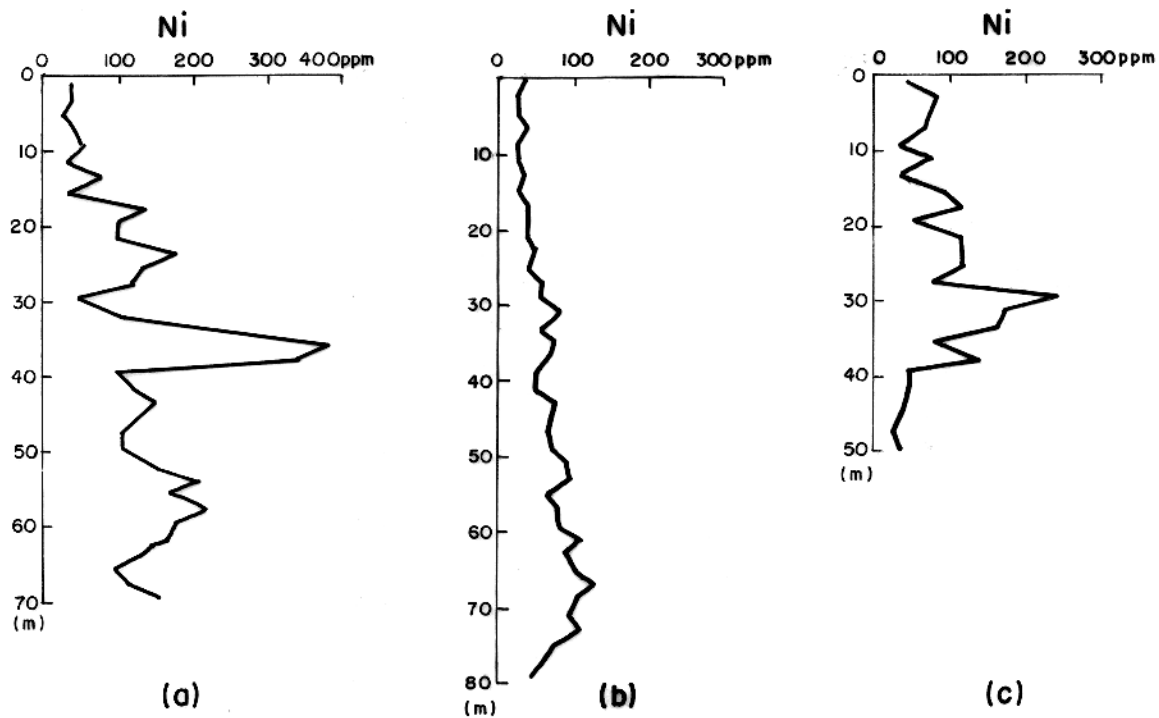


Fig.25 - Distribuição de Ni: (a) F-31, (b) F-46; (c) F-47.

No perfil F-47, o ouro apresenta, na base, valores inferiores a 0,05 ppm. Ao longo do perfil, apresenta vários picos de concentrações mais elevadas, chegando a valores máximos, de 0,16 ppm Au, valor este também registrado no topo do perfil. Nesse perfil a distribuição do Au se assemelha à da Ag (Tab. 6a).

Ag - com comportamentos diferentes nos três perfis estudados (Fig. 27), a prata está assim distribuída:

No perfil F-31, apresenta um pico de 88,6 ppm Ag próximo à base. Alguns metros acima da base apresenta outro pico, menor, de 34,5 ppm Ag e ainda outro de 24,7 ppm Ag, próximo à parte média do perfil. A partir daí, os teores vão decrescendo, irregularmente, em direção ao topo, onde chega com apenas 8,0 ppm Ag. Nesse perfil, não se observa boa correlação da Ag com nenhum outro elemento maior (Tab. 4a, b, c).

No perfil F-46, a prata apresenta-se ao longo do perfil com um valor médio de 4,3 ppm Ag chegando mesmo a desaparecer em três pontos, demonstrando apenas três picos de maiores concentrações: o primeiro, alguns metros abaixo da parte média do perfil, com 14,1 ppm Ag; o segundo e terceiro, logo acima desta, com 10,8 e 11,3 ppm Ag, respectivamente. Aqui, a prata acompanha razoavelmente o manganês (Tab. 5b) e o Fe (Tab. 5c).

No perfil F-47, a prata está ausente na base do perfil. Ao longo deste, embora desaparecendo em alguns pontos, a prata se apresenta com uma média de 2,91 ppm Ag, chegando ao topo com seu maior valor, cerca de 5,8 ppm Ag. Nesse perfil, a distribuição da Ag se assemelha a do ouro (Tab. 6a).

Co - esse elemento tem comportamento algo semelhante nos perfis F-31 e F-46, porém, totalmente distinto destes, no perfil F-47 (Fig. 28).

No perfil F-31, tem-se na base, 120 ppm Co. Próximo à parte média do perfil, observa-se um pico de 310 ppm, e um de 260 ppm Co alguns metros abaixo do topo (70 ppm Co). No restante do perfil, o cobalto apresenta-se com teor médio de 122 ppm. Nesse perfil, a distribuição do cobalto se assemelha às do manganês (Tab. 4a e b), titânio e potássio (Tab. 4c).

No perfil F-46, o cobalto apresenta na base, um teor de 67 ppm, elevando-se os teores, de forma irregular, até 206 ppm, registrados alguns metros abaixo da parte média do perfil. A partir daí, os teores decrescem, apresentando contudo, na par-

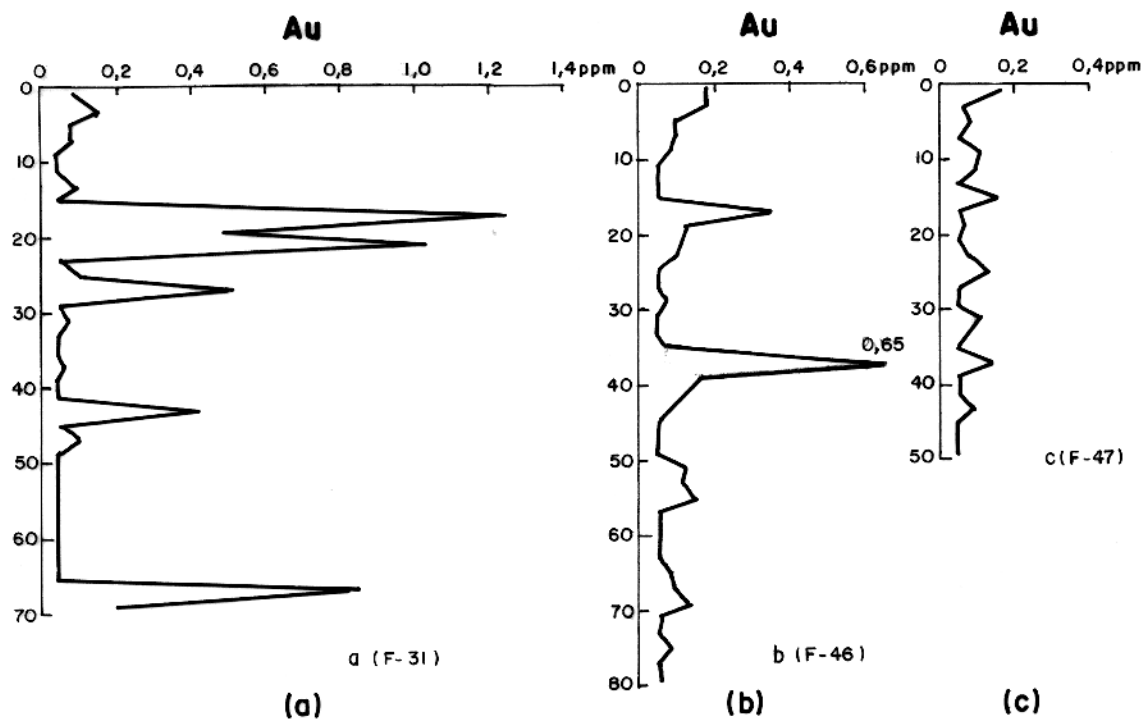


Fig. 26 - Distribuição de Au: (a) F-31; (b) F-46; (c) F-47.

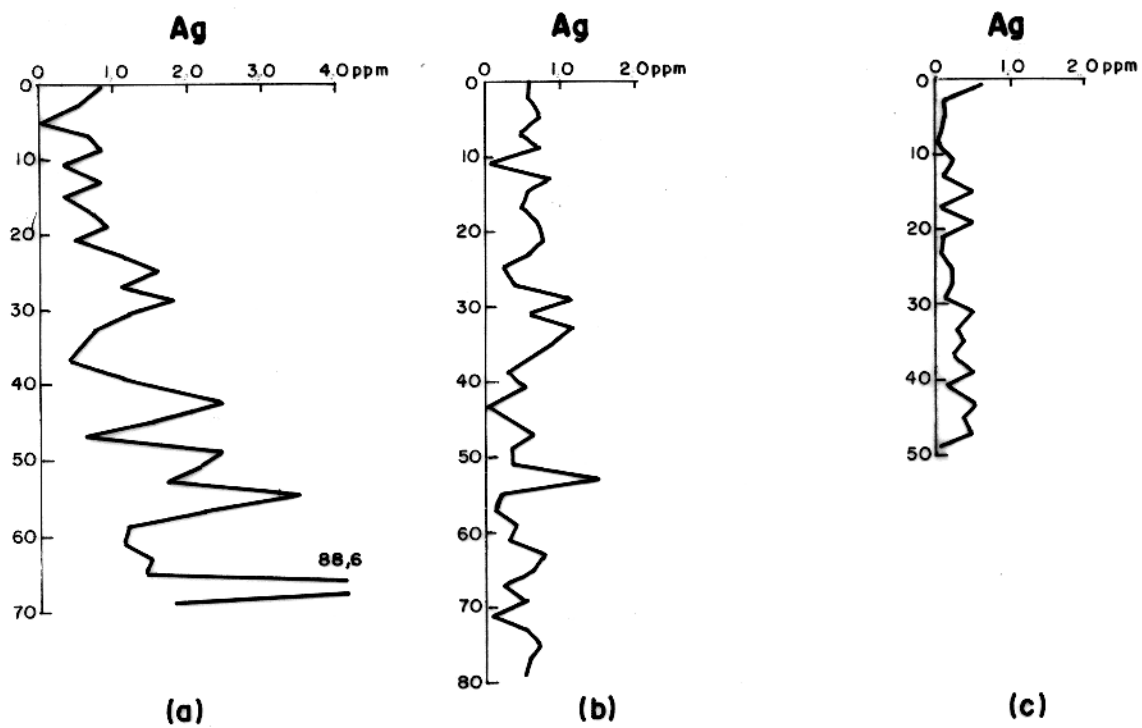


Fig. 27 - Distribuição de Ag: (a) F-31; (b) F-46; (c) F-47.

te superior do perfil, alguns picos que chegam a 207 e 135 ppm Co. Deste ponto em diante os teores decrescem até 48 ppm Co, registrados no topo. Nesse perfil, a distribuição do cobalto se assemelha às do manganês (Tab. 5a e 5c), cobre (Tab. 5a) e ferro (Tab. 5c).

No perfil F-47, o cobalto apresenta, na base, 52 ppm, elevando-se os teores até 172 e 157 ppm na parte média do perfil. A partir de então, os teores decrescem irregularmente, chegando a 39 ppm Co, na parte média superior, voltando a crescer até 229 ppm, registrados no topo. Nesse perfil, a distribuição do cobalto se assemelha às do alumínio, titânio e manganês (Tab. 6a) e cobre (Tab. 6b).

Vale ressaltar que uma melhor visão da distribuição dos elementos determinados poderia ser obtida caso fosse possível compará-la com a composição mineralógica quantitativa das amostras ao longo do perfil. Infelizmente não é possível, com as informações disponíveis, determinar essa composição mineralógica quantitativa. Até mesmo a possibilidade de se fazer uma estimativa das proporções minerais em cada amostra, a partir dos resultados das análises químicas, é inviabilizada pela complexidade da composição mineralógica e pelas semelhanças de quimismo entre as várias espécies minerais presentes.

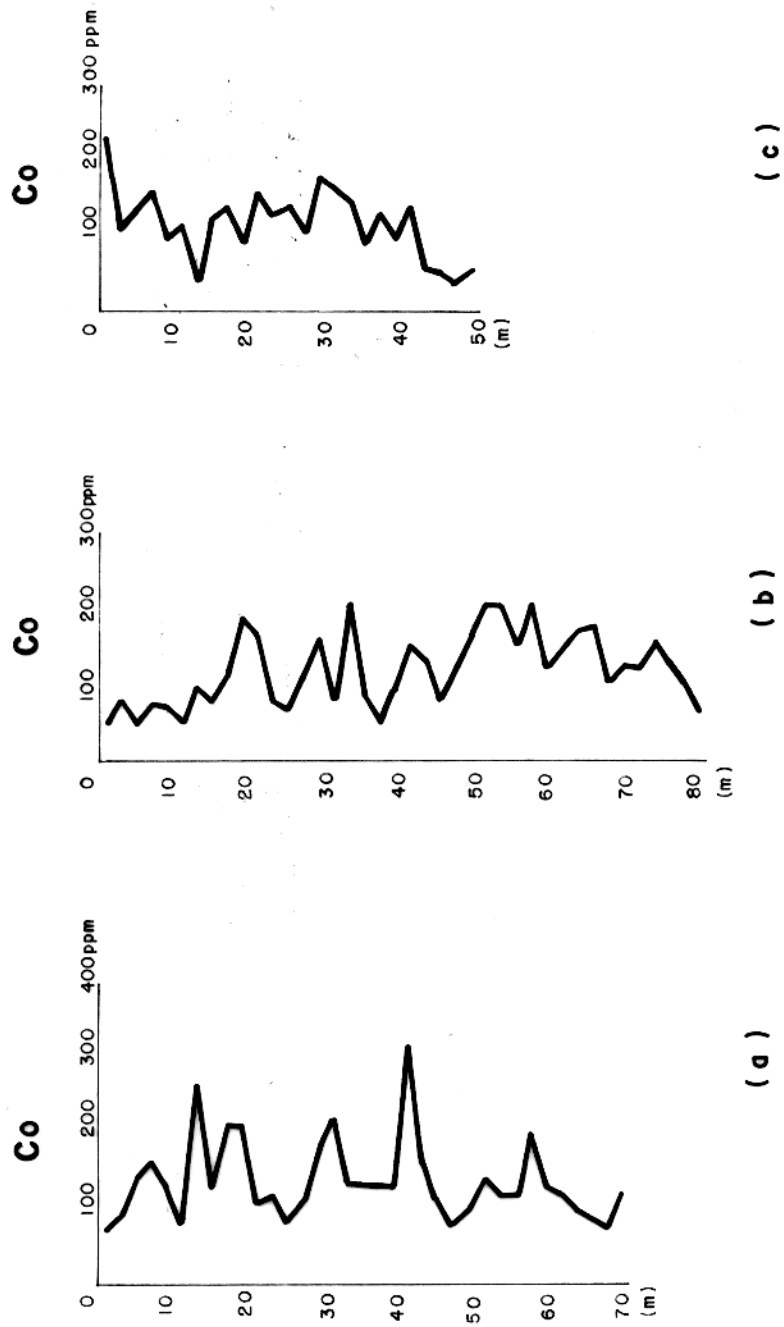


Fig. 28 - Distribuição de Co: (a) F-31, (b) F-46; (c) F-47

8 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Des dados obtidos nesta pesquisa, alguns pontos devem ser ressaltados. Deve-se levar em conta que os perfis estudados apresentam graus de desenvolvimento claramente menores que os de outras lateritas da Amazônia, tais como as lateritas fosfáticas estudadas por Oliveira (1980), Oliveira (1977), Oliveira e Costa (1984), Costa (1982), Costa (1980), Costa et al. (1980), as lateritas níquelíferas estudadas por Correa (1982), Schwab, et al. (1985) e as bauxitas de Paragominas estudadas por Kotschoubey e Truckenbrodt (1981) dentre outras, pois embora espessos não formam horizontes bem definidos nem compactos. Também não se observam crostas ferruginosas, comuns em outros perfis lateríticos da Amazônia além do que, apresentam minerais de estrutura complexa até próximo ao topo.

Esse desenvolvimento parece ser justificado pela interação dos fatores topografia e mergulho da xistosidade, implicando numa diminuição da drenagem e conseqüente estagnação do ambiente, com formação de minerais mais saturados do tipo 2:1 (Toledo-Grake 1989, comunicação oral) num ambiente tropical, quente e úmido, em princípio favorável à monossilicização.

Na tentativa de separar os horizontes em cada perfil, lançou-se mão da natureza dos argilo-minerais presentes, como único critério possível, dado as dificuldades encontradas, já referidas anteriormente, concernentes à imaturidade dos mesmos.

Levando-se em conta que a transição normal dos argilo-minerais expostos a ação climática seria: argilo-minerais 15Å \rightarrow 7Å , observa-se que em apenas um dos três perfis (F-31) esta seqüência foi seguida. A não ocorrência desta seqüência nos outros perfis parece reforçar a evidência de que ocorrem heterogeneidades faciológicas das litologias atravessadas pelos perfis estudados, e que o processo intempérico ainda não ocasionou uma homogeneização total do manto de alteração.

Dentro desse contexto, é natural que cada perfil apresente suas particularidades, tanto do ponto de vista mineralógico, como do geoquímico. Porém de maneira geral, apesar das limitações, é possível compor um quadro evolutivo esquemático para os minerais presentes nos perfis estudados (Fig. 29).

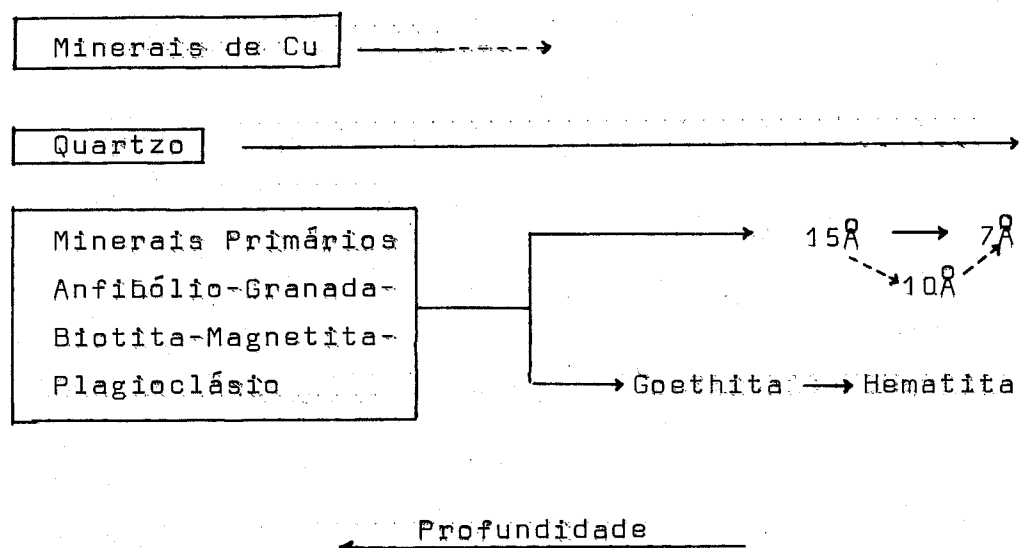


Fig. 29 - Evolução esquemática dos minerais nos perfis estudados - Salão 3A.

Como já citado, dos três perfis em questão, apenas um, o F-31, apresentou a evolução normal esquematizada na Fig. 29. No perfil F-46, observa-se a presença de argilo-minerais 10\AA entre os argilo-minerais 15\AA e 7\AA , assim como no perfil F-47, acima dos argilo-minerais 15\AA , encontram-se argilo-minerais 10\AA indo até o topo do perfil. É interessante ressaltar que nos perfis F-46 e F-47, o aparecimento do argilo-mineral 10\AA (ilita) se dá exatamente a partir do ponto em que desaparece a biotita. É possível que a ilita se origine a partir do K liberado na desestabilização da biotita, o qual é provavelmente capturado pela esmectita, tal como ocorre em sedimentos marinhos (Krauskopf, 1972). Pode-se também considerar a possibilidade do aparecimento da ilita ser apenas consequência de eventuais - ainda que não comprovadas - variações da rocha mãe.

A pouca maturidade dos perfis parece ser a principal responsável pela ocorrência de padrões pouco nítidos de distribuição dos elementos.

Al, Si e Fe são os elementos principais em toda a extensão do perfil. Seus óxidos somados perfazem quase sempre cerca de 86% do peso da rocha. Embora seja esperado um processo de laterização, aumentos significativos nos teores de Fe, da base para o topo, ainda não podem ser observados, como demonstrado nos diagramas triangulares $\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Fe}_2\text{O}_3$ (Fig. 30), seja pela heterogeneidade das litologias, seja pelo baixo grau de desenvol-

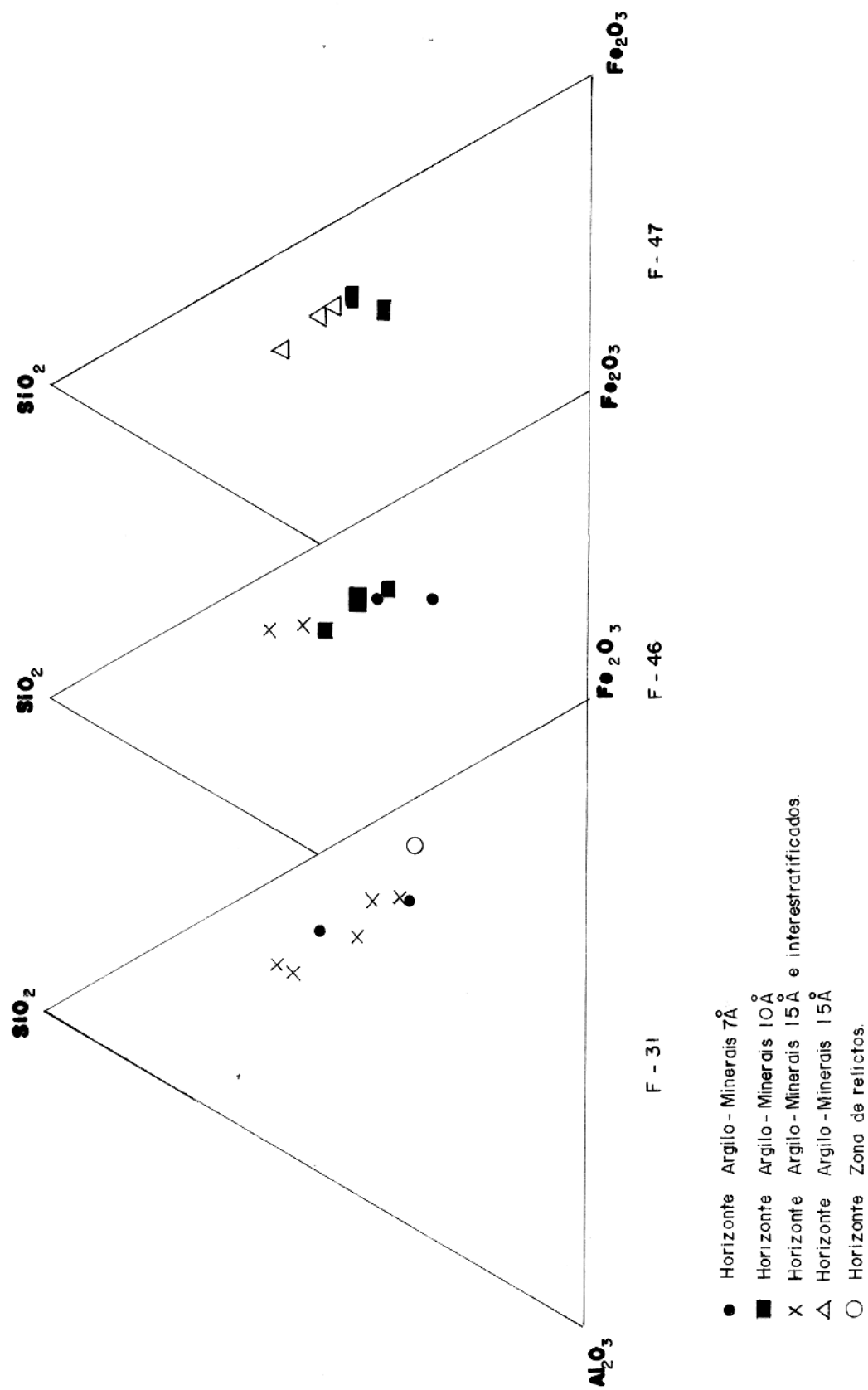


Fig-30- Diagramas triangulares SiO₂ - Al₂O₃ - Fe₂O₃ das análises químicas dos perfis F-31, F-46 e F-47

vimento dos perfis.

Alguns elementos maiores são característicos de determinados minerais ocorrentes no perfil. Por exemplo, Mg e K ocorrem nas biotitas; Mg também ocorre com teores elevados (10,64 %) em alguns anfibólios (Toledo-Groke, 1986), na esmectita e na vermiculita. O Fe está nos anfibólios, granadas, esmectitas, magnetitas, goethitas, maghemitas e hematitas. O Si está nos anfibólios, granadas e quartzo. O Mn está na stilpnomelana e granadas.

A associação dos elementos traços no perfil a esses elementos chaves, pode fornecer uma indicação sobre sua fixação aos minerais ocorrentes. Isto no entanto deve ser considerado como uma tentativa de explicação posto que, nesse material de litologia tão heterogêneo e mineralogia tão variada e complexa, as reais correlações podem ficar muitas vezes mascaradas.

Cu - no perfil F-31, o cobre tem uma ótima correlação com o K (0,99) no horizonte "zona de relictos" (início de alteração, na qual ainda se encontram minerais primários preservados) (Tab. 4c). Isso poderia sugerir uma ligação do Cu com a biotita presente nesse horizonte. No entanto, as biotitas são analisadas por Toledo-Groke (1986) e Tazaki et al. (1988) não apresentaram Cu na sua composição. O que pode estar ocorrendo nesse horizonte, é a existência de vários minerais de Cu, principalmente minerais primários como bornita, calcocita e calcopirita além da brochantita, e biotita são ou pouco alterada, gerando uma alta correlação positiva, puramente casual.

No horizonte "argilo-minerais 15A e interestratificados", o Cu não apresenta boa correlação com nenhum outro elemento maior (Tab. 4b), não podendo-se portanto, associá-lo a um mineral específico por esse método. No entanto, nota-se claramente na Fig. 11, que a zona onde o cobre encontra-se em maiores concentrações, é justamente nesse horizonte, o qual é caracterizado pela presença de esmectita e hidrobiotita. Segundo Toledo-Groke (1986), as esmectitas, formadas em épocas e condições anteriores, também se apresentam enriquecidas em Cu em relação às biotitas primárias, mas em menores proporções que a fase "biotita alterada", a qual engloba vermiculitas e interestratificados biotita-vermiculita (apesar das características geoquímicas atípicas), estes últimos denominados por Gruner (1934) (in Basset, 1958) de hidrobiotitas. Melfi (1982) concluiu que as biotitas frescas ou pouco alteradas do Salobo não apresentam valores significativos de

cobre, enquanto que as vermiculitas e os interestratificados mica-vermiculita são ricos em cobre. Farias e Saueressig (1981), através de estudos da mineralogia de intervalos amostrados na Galeria G1 do Salobo, e respectivos teores de cobre, demonstraram ser a fração mineral mica, composta predominantemente por biotita e hidrobiotita, a fração mais rica em cobre (3,44 % Cu).

Henley e Brown, (1974 [in Veiga, 1983]) também detectaram em xistos de Ukarapunga (Austrália), hidrobiotitas com cerca de 2,0 % CuO. Mosser e Zeegers (1988) estudaram a mineralogia e geoquímica de dois perfis de intemperismo ricos em cobre, em Burkina Faso (África), semelhantes ao Salobo, e encontraram em um dos perfis, como fases minerais mais ricas em cobre, a fração "filito não transformado", isto é, interestratificados clorita-vermiculita e biotita-vermiculita (6.000 a 11.000 ppm Cu) e minerais de argila, onde as esmectitas são as mais ricas em cobre (7500 a 8300 ppm Cu).

Tazaki et al. (1988) também encontraram cobre associado com hidrobiotita do Salobo, acreditando ter sido originada durante o intemperismo da rocha.

Mediante o exposto, consideramos provável a hipótese de ser a hidrobiotita a principal responsável pela retenção do cobre nesse horizonte, podendo uma pequena parte estar ligada à esmectita.

No horizonte "argilo-minerais 7^A", o cobre apresenta boa correlação com o potássio (0,83) e com o magnésio (0,85) (Fig. 31 e Tab. 4a), podendo o mesmo permanecer associado à hidrobiotita, já rara neste horizonte, e/ou talvez num início de alteração, nas biotitas.

Neste horizonte o cobre declina de forma gradativa, após o desaparecimento total da hidrobiotita e da biotita. Embora neste horizonte os teores de cobre já estejam bastante reduzidos, é provável que após a desestabilização total da biotita e hidrobiotita, grande parte deste tenha sido carregado pelas águas de percolação, permanecendo uma pequena fração adsorvida na estrutura mal organizada e porosa dos hidróxidos de ferro. Os processos de lixiviação, atuantes sobre o manto de alteração, eliminam então o cobre desta fase hidróxido mal organizada provocando a cristalização de goethita, a qual é isenta de cobre (Melfi, 1982).

No perfil F-46 o cobre demonstra uma razoável correlação positiva com o potássio (0,70), com o magnésio (0,72) e com

titânio (0,75) (Tab. 5c e Figs. 32 e 33) no horizonte "argilo-minerais 15Å e interestratificados". Embora aparente boa correlação com esses três elementos, alguma influência pode advir da presença de biotita (que é isenta de cobre) neste horizonte, mascarando um pouco a correlação, assim como da presença de minerais primários de cobre, na base do perfil. Entretanto, também encontram-se neste horizonte, as presenças de hidrobiotita, vermiculita e esmectita.

Baseado nas mesmas justificativas dadas para o perfil anteriormente discutido (F-31), onde foram citados trabalhos de Toledo-Groke (1986), Basset (1958), Melfi (1982), Farias e Saueressig (1981), Mosser e Zeegers (1988) e Tazaki et al. (1988), e levando em conta que, como se observa na Fig. 12, este horizonte, caracterizado pelos argilo-minerais 15Å e interestratificados, é também o mais rico em cobre nesse perfil, podemos supor como minerais portadores deste elemento a hidrobiotita, a vermiculita e talvez em menor escala a esmectita, uma vez que esta ainda permanece no perfil após a desestabilização dos minerais primários de cobre, e levando-se em conta o seu poder de adsorção de metais (Farrah e Pickering, 1976).

Na transformação da vermiculita, da hidrobiotita e da esmectita em caolinita, ocorrerá a liberação do cobre aprisionado,

No horizonte "argilo-minerais 10Å" o cobre não demonstra boa correlação com nenhum dos elementos maiores. Neste horizonte o cobre apresenta-se bastante lixiviado, com teores sempre abaixo de 1% em peso, demonstrando não haver nesta parte do perfil, um mineral capaz de preservá-lo em concentrações apreciáveis. Embora ainda se encontrem alguns indícios de hidrobiotita neste horizonte, o que o caracteriza de fato é a presença de illita.

De todos os metais bases, o cobre tem a mais forte tendência à adsorção sobre superfícies de óxidos e argilas (Farrah e Pickering, 1979). Farrah e Pickering (1976) em estudos sobre a adsorção de espécies de cobre por argilas (illita, montmorilonita e caolinita) concluíram que para illita e caolinita o controle do processo parece ser a formação de espécies hidroxipoliméricas agregadas a sítios particulares sobre a argila e por conseguinte, a adsorção de cobre aumenta com o aumento do pH. Koppelman e Dillard (1977) obtiveram valores de adsorção da ordem de

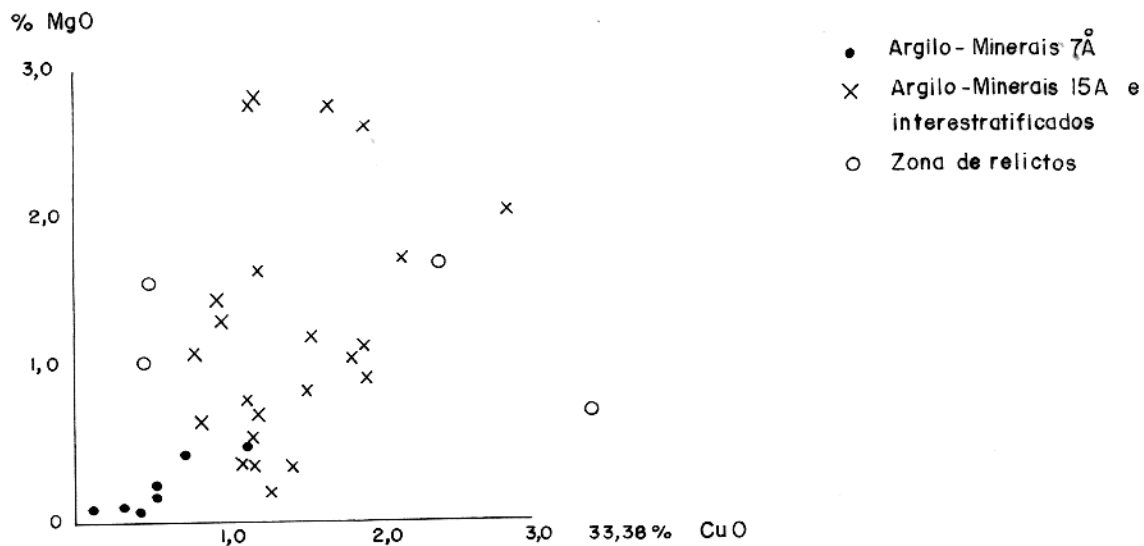


Fig. 31 - Relação entre os teores de CuO e MgO no perfil F-31

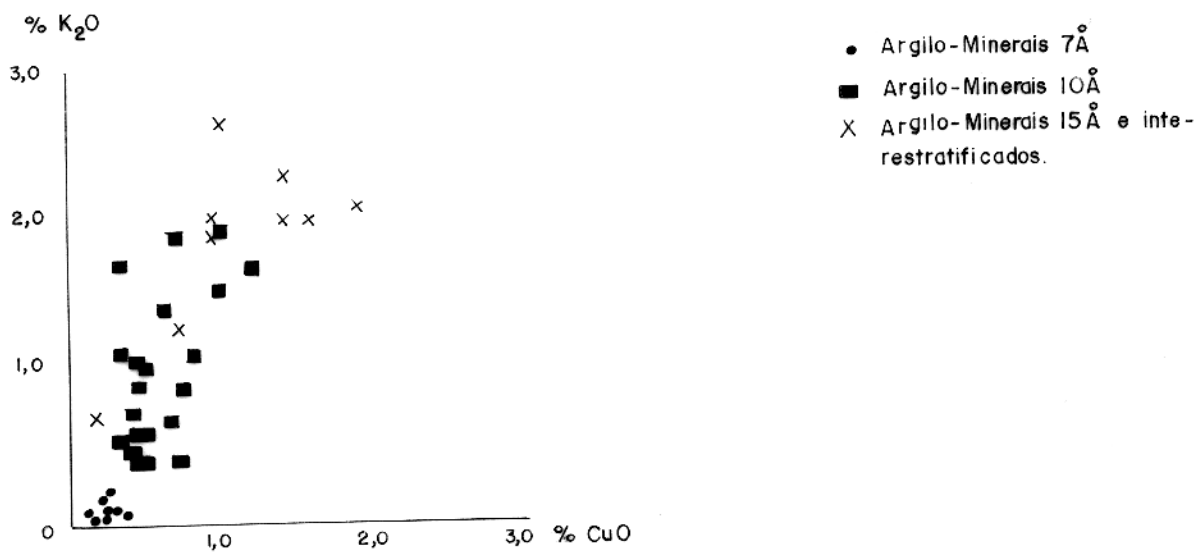


Fig- 32- Relação entre os teores de CuO e K₂O no perfil F-46

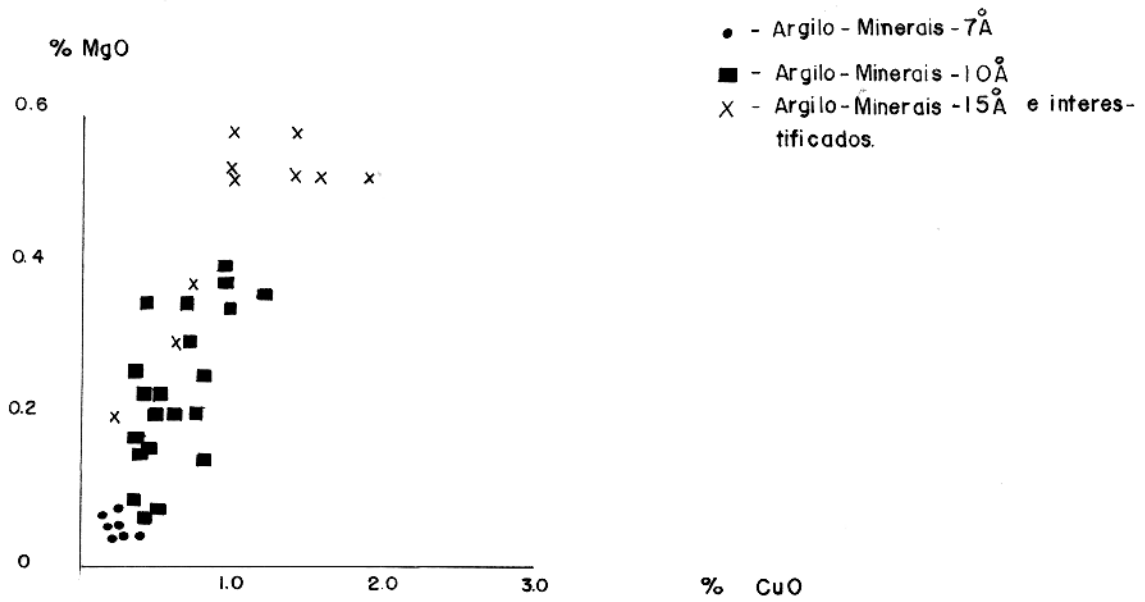


Fig. 33 - Relação entre os teores de CuO e MgO no perfil F-46

2,52 moles Cu (III)/g de argila em ílitas. Thornber (1985) demonstrou através da compilação de dados de adsorção de cátions sobre goethita como uma função do pH, que a adsorção do cobre aumenta com o aumento do pH.

Para as argilas a adsorção se dá numa faixa de pH: 4-7, e para a goethita numa faixa de pH: 4-6, em ambos aumentando a quantidade adsorvida com o aumento do pH. Tanto a ílita como a goethita (também presentes) podem ser os portadores dos pequenos teores de cobre ainda remanescente no referido horizonte, pois embora a Tab. 5b demonstre uma correlação negativa do cobre com o ferro, pode estar ocorrendo um mascaramento, dado aos diversos minerais portadores deste último, também presentes, ocasionando resultados discrepantes com a realidade.

No horizonte "argilo-minerais 7Å", encontramos razoável correlação do cobre com o manganês (0,79) (Tab. 5a). Toledo-Groke (1986) faz referência a esse tipo de correlação (produtos secundários do sistema fissural - criptomelana e oxihidróxidos de ferro). Santos et al. (1988), analisando frações minerais, encontraram teores de 10,3% MnO para correspondentes 2,32% CuO, parecendo revelar certa associação local entre manganês e cobre. Embora não tenhamos identificado minerais de manganês neste horizonte, Toledo-Groke (1986) confirmou a existência de criptomelana em amostras do Salobo, Tazaki et al. (1988) também sugerem que o cobre e enxofre têm sido mobilizados e depositados com produtos manganésiferos nos processos de intemperismo do Salobo. Suarez e Langmuir, 1976 (in Nardi, 1978) constataram que em solos de pH neutro ou levemente ácido, a capacidade de sorção dos óxidos de manganês excede a dos óxidos de ferro, sendo até 10 vezes superior em casos como o do cobre.

No perfil F-47, no horizonte "argilo-minerais 15Å", o cobre não apresenta boa correlação com nenhum dos elementos maiores, porém encontram-se mais concentrado neste horizonte, dentro do perfil (Tab. 6b). Como pode-se observar na Fig. 13, esmectitas e biotitas desaparecem muito cedo, próximo à base do perfil, onde embora contendo ainda minerais primários de cobre (bornita, calcocita e calcopirita), não demonstra teores elevados deste elemento. Um pouco abaixo do local de desaparecimento da paragénese primária e da esmectita, aparece a vermiculita. É interessante observar que o intervalo de predominância da vermiculita, coincide com a faixa de maiores concentrações de cobre em todo o perfil. Se

considerarmos a vermiculita como fase suporte do cobre, fica justificada a falta de correlação mais nítida entre o cobre e os elementos maiores, dada a complexidade da composição da mesma, tão bem como pela variedade mineralógica apresentada neste horizonte, tornando inviável uma conclusão por este método.

Fisher e Notebaart (1976) e Notebaart (1978) (in Toledo-Groke, 1986), registraram a ocorrência de fases filosilicáticas em Chingola (Zâmbia), dentre as quais, uma fase a 10\AA (clorita) que não apresentou cobre, bem como uma fase a 14\AA (clorita) e uma fase interestratificada com vermiculita que apresentaram até 8% em cobre.

Usando como argumento as observações de Toledo-Groke (1986), Melfi (1982) e Bassett (1958) já referidas para o perfil F-31, podemos supor que a vermiculita é o principal argilo-mineral responsável pelo aprisionamento do cobre neste horizonte, o que foi confirmado em trabalhos mais recentes (Parisot, 1989, comunicação oral).

No horizonte "argilo-minerais 10\AA " o cobre apresenta uma boa correlação com o magnésio (0,90) e com o potássio (0,76) (Tab. 6a). Observa-se neste horizonte, embora mais rara, a presença de vermiculita justificando, possivelmente, a correlação apresentada entre cobre e magnésio. Na desestabilização da vermiculita, poderia a ílita estar adsorvendo o cobre liberado, gerando a correlação observada entre o cobre e o potássio. Segundo Kolpelman e Dillard (1977), a quantidade de íon metálico adsorvido em argilas varia da maneira clorita > ílita > caolinita.

Como se observa, em nenhum dos três perfis estudados o cobre apresenta boa correlação com o ferro, em qualquer dos horizontes, estando mesmo com correlação negativa em alguns perfis, como no F-31, onde nos três horizontes aparece inversamente correlacionado com o cobre, como pode ser observado nas Tabelas 4 (a, b, c) 5 (a, b, c) e 6 (a, b). Entretanto, como já referido anteriormente, não se deve desprezar a possibilidade de mascaramento das correlações, não sendo portanto, definitivas mas sim tentativas as deduções obtidas por esse método.

Ni - O níquel é um elemento sidérofílo e em menor grau calcófilo. Em depósitos de sulfetos ocorre em associação com Co, Cu e Pt. Segundo A.L.M. Barbosa (in BRASIL, DNPM, 1974) o comportamento do níquel em meio silicatado depende de seu raio atômico. Os raios dos cátions bivalentes $\text{Fe}^{2+} = 0,83\text{\AA}$, $\text{Co}^{2+} = 0,82\text{\AA}$,

$Mg^{2+} = 0,73\bar{0}$ e $Ni^{2+} = 0,78\bar{0}$ mostram que o níquel e o cobalto devem alojar-se na estrutura dos silicatos ferro-magnesianos em condições idênticas as do magnésio e do ferro, mais ainda, que o níquel deve acompanhar o magnésio de preferência ao ferro. Durante o intemperismo o níquel é facilmente mobilizado, permanecendo em solução enquanto o pH for abaixo de 6. Ele será entretanto coprecipitado com óxidos de ferro e manganês (Wedepohl, 1970). Suarez e Langmuir (1976) (in Nardi, 1978), constataram que em solos de pH neutro ou levemente ácido, a capacidade de sorção dos óxidos de manganês excede a dos óxidos de ferro, sendo até dez vezes superior, no caso do Ni, Co, Cu e Zn. O níquel poderá também ser adsorvido por argilas, numa faixa de pH menos ácida.

No perfil F-31, no horizonte "zona de relictos", o níquel não demonstra uma boa correlação com nenhum elemento maior (Tab. 4cl. Sendo este no entanto, um horizonte ainda em início de alteração, é possível que a maior parte do níquel ainda esteja ligada aos seus minerais de origem, os minerais ferro-magnesianos (granadas e anfíbolios).

No horizonte "argilo-minerais 15 \bar{A} e interestratificados", o níquel tem razoável correlação com o magnésio (0,73) (Tab. 4bl. Corpea et al. (1984) estudando perfis lateríticos níquelíferos de Carajás, encontraram que os teores mais elevados de níquel são detectados no horizonte argiloso, na zona rica em esmectita. Como pode-se observar nas figuras 11 e 25a, os mais elevados teores em níquel deste perfil são encontrados justo neste horizonte, o qual envolve a presença de esmectitas.

No horizonte "argilo-minerais 7 \bar{A} ", o níquel tem boa correlação com o manganês (0,92) (Tab. 4al, estando ao que parece, coprecipitação com os óxidos de manganês como o observado por Wedepohl (1970) e de acordo com citações de Suarez e Langmuir, 1976 (in Nardi, 1978).

Dos três perfis estudados, este (F-31) é que apresenta maiores teores em níquel demonstrando que ou sua mobilidade era pequena, devido a presença de esmectita, ou simplesmente por apresentar um baixo grau de lixiviação por motivos topográficos ou morfológicos.

No perfil F-4E, no horizonte "argilo-minerais 15 \bar{A} e interestratificados", o níquel apresenta boa correlação com magnésio (0,82) e potássio (0,76) (Tab. 5cl. A correlação com o potássio pode estar sendo causada pela presença de biotita. Porém,

como anteriormente citado, o níquel acompanha facilmente o magnésio podendo, pelo menos na parte inferior do perfil, estar associado à esmectita (apesar de seu baixo teor de Mg) e posteriormente à vermiculita ou estar simplesmente na granada, a qual permanece embora esporádica neste horizonte, gerando uma correlação casual com o magnésio.

No horizonte "argilo-minerais 10^A", o níquel não apresenta boa correlação com nenhum elemento maior. Poderá no entanto estar adsorvido na illita. Koppelman e Dillard (1977) obtiveram valores de adsorção de até 2,52 moles Ni (II)/g argila para illitas.

No horizonte "argilo-minerais 7^A", o níquel também não demonstra boas correlações. Nessa parte do perfil, rica em oxihidróxido de ferro e bastante pobre em níquel, este poderá possivelmente permanecer adsorvido pelos óxidos e/ou hidróxidos de ferro. Em estudos de fertilidade de solos e controle de poluição, Jenne (1968) reconheceu os óxidos hidratados de ferro e manganês como os principais controladores da concentração de Co, Ni, Cu e Zn em solos e águas.

Nesse perfil, nos três horizontes, o Ni demonstra um padrão de distribuição semelhante ao Cu.

No perfil F-47, no horizonte "argilo-minerais 15^A", o Ni não apresenta boa correlação com nenhum dos elementos maiores (Tab. 6b) porém a faixa de maiores concentrações, coincide com a presença de vermiculita. Uma vez que o padrão de distribuição do Ni se assemelha à do Cu neste horizonte, com coeficiente de correlação 0,89 e sabendo-se que o Ni acompanha bem o Mg, seria razoável considerar a vermiculita como sendo a fase mineral portadora de tal elemento. A goethita também poderia ser a detentor do Ni pois observando-se as figuras 13 e 25c percebeu-se certa coincidência entre teores de Ni e presença desse mineral. Segundo Thornber (1985) a adsorção máxima de Ni por goethita se dá numa faixa de pH entre 7 e 8, faixa esta na qual o Ni encontra-se praticamente sem mobilidade. Por não dispormos de dados bibliográficos que justifiquem a primeira suposição, concluímos como possível fase suporte de Ni, nesse horizonte, a goethita, apesar da muito baixa correlação com o Fe observada na Tab. 6b, o que poderá se constituir em mais um mascaramento, dado aos demais minerais portadores de Fe presentes, os quais nada têm a ver com o Ni.

No horizonte "argilo-minerais 10^A", o Ni tem boa

correlação com o Mg (0,95) e o K (0,82) (Tab. 6a). Com base nestes dados pode-se supor como sendo a vermiculita e a illita as responsáveis pelo aprisionamento do Ni nesse horizonte. Embora sem respaldo bibliográfico, através de observações das figuras 13 e 25c, verifica-se que o Ni apresenta teores mais elevados justamente onde aparecem os últimos minerais de vermiculita. Por outro lado, adsorção de Ni sobre illitas tem sido reportado na bibliografia (Koppelman e Dillard, 1977). No entanto a goethita, considerada anteriormente a fixadora do Ni, permanece nesse horizonte podendo também ser a responsável pelos reduzidos teores de Ni registrados no mesmo, apesar da correlação inversa (-0,90) demonstrada entre Fe e Ni, motivada talvez por razões já expostas para o horizonte anterior.

Co - O cobalto é um elemento siderófilo e em menor grau calcófilo. Em depósitos de sulfetos ocorre em associações com Fe, Cu, Ni e Ag. Em rochas ocorre em minerais ferromagnesianos. Sua mobilidade é relativamente alta durante o intemperismo, diferindo do Ni por não formar minerais residuais silicáticos. A distribuição do Co em perfis de solo é determinada pelo fato da formação da fase óxido de Fe e Mn. Riehn et al., 1960 (in Wedepohl, 1970) relatam uma boa correlação entre Co e Fe total em rochas graníticas e metamórficas (W-Alemanha). Em rochas graníticas a correlação do Co é principalmente com o Mg. O efeito do pH, Mg^{2+} e Ca^{2+} sobre a adsorção de Co^{2+} por montmorilonitas tem sido demonstrado por Hodgson et al., 1964 (in Wedepohl, 1970).

No perfil F-31, no horizonte "zona de relictos", o Co tem boa correlação com o Ti (0,81), K (0,97) e Cu (0,99) (Tab. 4c). Ao que parece, estes valores, tal como o que ocorreu com o Cu neste mesmo horizonte, são puramente casuais exceto quanto ao próprio Cu pois como já citado, Co e Cu encontram-se associados em depósitos de sulfetos. Nesse horizonte portanto, o Co provavelmente ainda encontra-se ligado aos minerais ferromagnesianos.

No horizonte "argilo-minerais 15Å e interestratificados" o Co demonstra razoável correlação com o Mn (0,73) (Tab. 4b). Isto está de acordo com Hawkes e Webb (1962), os quais fazem referência à coprecipitação do Co com limonita e MnO_2 .

No horizonte "argilo-minerais 7Å" o Co parece acompanhar o Ni (0,82) (com quem também está associado em depósitos de sulfetos) e o Mn (0,86) (Tab. 4a), podendo como no horizonte anterior, estar coprecipitado com o MnO_2 .

No perfil F-46, no horizonte "argilo-minerais 15A" e interestratificados" o Co apresenta razoável correlação com Fe (0,73) e Mn (0,71) (Tab. 5cl, Segundo Hawkes e Webb (1962) e Riehm et al. (1960) (in Wedepohl, 1970) e Alves et al. (1984) , Correa et al. (1984), nos perfis de solo a distribuição do Co é determinada pela formação da fase óxido de Fe e Mn.

No horizonte "argilo-minerais 10A" o Co demonstra uma leve correlação com a Ag (0,52) (Tab. 5B), com quem encontra-se normalmente associado em depósitos de sulfetos.

No horizonte "argilo-minerais 7A" o Co demonstra ótima correlação com o Cu (0,86) e Mn (0,97) (Tab. 5cl). Nesse horizonte o Co parece estar, tal como o Cu adsorvido nos óxidos de Mn (Correa et al., 1984; Wedepohl, 1970; Nardi, 1978).

No perfil F-47, no horizonte "argilo-minerais 15A" o Co acompanha razoavelmente o comportamento do Ni (0,83) (Tab. 6bl) o qual parece estar adsorvido na goethita. Segundo Thornber (1985) o comportamento de Co e Ni na adsorção sobre goethitas é muito semelhante, sendo que o Co eleva a quantidade adsorvida para valores de pH mais altos (pH: 7-8) enquanto que o máximo do Ni se encontra aproximadamente a pH 7.

No horizonte "argilo-minerais 10A" o Co demonstra boa correlação com Al (0,80), Ti (0,87) e Mn (0,70) (Tab. 6a). Posto que a bibliografia consultada faz referência a correlações do Co em solos apenas com óxidos de Fe e Mn, podemos esperar que as demais (Al e Ti) sejam apenas casuais e não retratem a realidade estando ao que parece o Co ligado a esses óxidos, apesar de demonstrar correlação negativa com o Fe constituindo-se em mais um mascaramento.

Au - O ouro é um elemento siderófilo. Embora não forme sulfetos estáveis na natureza, o Au é frequentemente encontrado em associação com minerais de sulfeto. Significativa associação geoquímica positiva de Au é encontrada com Fe, Cu, V e Co (Wedepohl, 1970). O metal é tão inerte que mesmo soluções tão corrosivas quanto as provenientes da oxidação do S, pouco o afetam e o Au nativo persiste indefinidamente sob condições da superfície, como é claramente testemunhado pelos depósitos de aluviões auríferos. No entanto, um ligeiro enriquecimento supergênico do Au e encontros ocasionais de Au em películas e pequenos cristais no cascalho, sugerem que traços do metal são oxidados e dissolvidos durante a climatização (Krauskopfh, 1972).

Wedepohl (1970) relata alguns estudos sobre a distribuição do Au nos vários horizontes do solo; em solos de Yakutia (USSR), o Au está associado com hidróxido de Fe e argilas. Em solos da área de Kyzylkum, Tamyndyn (USSR), os mais altos teores em Au são formados a profundidades de 100 a 140 cm onde o metal está em associação fechada com minerais secundários de Fe. O horizonte superior do solo é geralmente empobrecido. Logo, a distribuição do Au em horizontes do solo parece altamente variável e generalizações serão feitas com devido cuidado.

Pinto da Silva (1988) observou no Salobo, nítida correlação positiva entre os teores de Au e Fe na zona de saprólito ferruginoso (zona rica em oxi-hidróxido de Fe, comumente magnético, com teor em Fe >40%), sugerindo uma afinidade primária do metal com os xistos mais ricos em magnetita. Observou também que o Au em si não sofreu um processo muito acentuado de mobilidade química, estando restrito aos produtos de alteração dos xistos mais magnéticos, os quais foram provavelmente o sítio primário do metal.

No perfil F-31, no horizonte "zona de relictos", o Au apresenta uma boa correlação com o Fe (0,79) (Tab. 4c) podendo, pela própria natureza do horizonte, estar ligado ainda aos xistos mais magnéticos, sítio primário do metal segundo Pinto da Silva (1988).

No horizonte "argilo-minerais 15^A e interestratificados" o Au não demonstrou boa correlação com nenhum elemento maior. No entanto, observando as figuras 17a e 27a pode-se perceber que esse horizonte é o mais rico em Fe assim como em Au, podendo estar o mesmo relacionado com os hidróxidos de Fe, embora uma correlação adequada não possa ser observada.

No horizonte "argilo-minerais 7^A" o Au apresenta boa correlação com o Fe (0,88), e razoável com o Al (0,71) (Tab. 4a). Estas correlações podem indicar uma associação do Au com hidróxidos de Fe e argilas, como o relatado por Wedepohl (1970).

No perfil F-46 o Au encontra-se de modo geral, em concentrações bastante baixas, provavelmente devido à própria natureza da litologia primária, que originalmente deveria ser pobre nesse metal.

No horizonte "argilo-minerais 15^A e interestratificados" o Au não apresenta boa correlação com nenhum elemento

maior ocorrendo o mesmo nos demais horizontes; "argilo-minerais 10A" e "argilo-minerais 7A". Segundo Pinto da Silva (1988), o Au do Salobo está restrito aos produtos de alteração dos xistos mais magnéticos, o que pode-se observar não ocorrer, nas figuras 9 e 12.

Conclui-se que nesse perfil, os prováveis portadores dos baixos teores de Au, são os minerais secundários de Fe, apesar da correlação positiva adequada não haver sido observada.

No perfil F-47, o Au está genericamente mais reduzido que no perfil F-46 e não apresenta boas correlações com elementos maiores em nenhum dos horizontes. Apesar do perfil F-47 apresentar várias intercalações de formações ferríferas bandeadas (BIF) localmente magnéticas, onde se poderia esperar concentrações elevadas de Au, pode estar ocorrendo o observado por Pinto da Silva (1988), o qual verificou que mesmo dentro da zona do "saprólito ferruginoso", ocorrem nítidas variações dos teores de Au, estando estas variações provavelmente relacionadas a controles litológicos/estruturais da rocha primária.

Ag - A prata é um elemento calcófilo. Não há uma relação óbvia entre a Ag e nenhum outro elemento, em silicatos comuns. Boyle, 1968 (in Wedepohl, 1970) expõe os fatores que governam a mobilidade e fixação da Ag em solos, esclarecendo que o potencial de oxidação (Eh) afeta o comportamento desta somente indiretamente - porém muito profundamente - em cada caso, como a hidrólise e precipitação de Fe e Mn (Mn em solos em particular, exibindo forte capacidade de adsorção para Ag) produção de íons S^{2-} e a oxidação de matéria orgânica. Desde que o íon Ag^+ representa o único estado de oxidação normalmente estável, a média dos valores de Eh encontrados em solos terão um efeito direto mínimo sobre a mobilidade e concentração de Ag. O pH do solo exerce muitos efeitos, direta e indiretamente. Sais de Ag são geralmente mais solúveis e mais móveis em ambientes ácidos; em meio alcalino, o óxido ou óxido hidratado pode ser precipitado diretamente porém, sob essas condições, o concomitante comportamento do Fe, Mn, Al e matéria orgânica são muito mais importantes no controle do que acontece com a Ag. Por essas razões, Boyle concluiu que a Ag é mais imóvel em solos onde o pH é maior que 4.

No perfil F-31, horizonte "zona de relictos", a Ag não demonstra boa correlação com nenhum elemento maior. Através da Fig. 27a observa-se nesse horizonte, um pico correspondente a

88,6 ppm Ag, sensivelmente maior que os teores médios do restante do perfil. Wedepohl (1970) cita casos em que a calcopirita pode ter apreciável substituição de Cu por Ag na sua estrutura, podendo o mesmo estar ocorrendo no referido horizonte, onde se registra a presença de calcopirita, no local onde a Ag está em maior quantidade em todo o perfil.

Nos horizontes "argilo-minerais 15Å e interestratificados" e "argilo-minerais 7Å", a Ag também não demonstra boas correlações com os elementos maiores. Percebe-se através da Fig. 27a, que no horizonte "argilo-minerais 15Å e interestratificados" a Ag encontra-se com teores médios mais elevados nesse perfil. Segundo compilações de Wedepohl (1970), em muitas correntes (+1.000 mg/litro de material em suspensão), montmorilonita e illita provavelmente adsorverão 2-30% da Ag presente em solução e caolinita muito menos; hidróxido férrico adsorverá cerca de 60% de Ag (enquanto óxido férrico mostra adsorção negligenciável), e dióxido de manganês, de 80-90% Ag. Com base nestes dados, podemos esperar que Ag remanescente ao longo desse horizonte, possa estar ligado tanto à goethita como à esmectita ou MnO_2 , não tendo sido possível obter correlações que permitissem conclusões mais diretas.

No perfil F-46, horizonte "argilo-minerais 15Å e interestratificados", a Ag apresenta leve correlação com o Fe (0,62) (Tab. 5c), a qual embora baixa, pode estar indicando a relação entre a Ag e os hidróxidos de Fe, num perfil onde o metal encontra-se com teores bastante reduzido em relação ao anterior (F-31).

No horizonte "argilo-minerais 10Å" a Ag apresenta também leve correlação com o Mn (0,63) (Tab. 5b). Conforme dados compilados por Wedepohl (1970), em sedimentos a Ag pode ocorrer adsorvida sobre Fe coloidal e composto de Mn.

No horizonte "argilo-minerais 7Å", a Ag não demonstra boas correlações com outros elementos, podendo no entanto, estar associada aos hidróxidos de Fe, dado as suas características geoquímicas.

No perfil F-47, horizonte "argilo-minerais 15Å e "argilo-minerais 10Å", a Ag também não apresenta boas correlações com elementos maiores. Este perfil é, dos três estudados, o mais pobre em Ag, contendo teores inferiores a 1,0 ppm ao longo de todo o perfil. Todavia no horizonte superior,

observa-se uma boa correlação da Ag com o Au (0,85) (Tab. 6a). Segundo Wedepohl (1970), a Ag tende a tornar-se concentrada com Au em depósitos lateríticos eluviais, representando depósitos detriticos de Au e Ag, conhecidos no Brasil e outras partes da América do Sul e Central.

Mo - O molibdênio é um elemento siderófilo e em menor grau calcófilo. Sua mobilidade é de extremamente alta a moderada, limitada por: a) velocidade da solução MoS_2 primário; b) adsorção sobre limonita para formar ferrimolibdenita a pH 2,5 - 7,0, e em menor extensão sobre minerais de argila a pH 2-4; c) pela precipitação em ambientes ricos em carbonatos. Por outro lado, a mobilidade do Mo é independente das variações de pH (Hawkes e Webb, 1962). Nenhum dos minerais formadores de rocha é um concentrador de Mo, e poucos minerais contendo este elemento, como constituinte principal, têm sido relatados. Os teores de Mo encontrados em minerais formadores de rochas são ainda explicados por inclusões microscópicas de molibdenita (fase independente), em microfissuras e poros e em planos de clivagem (Wedepohl, 1970; Pakalov et al., 1982).

Em solos, o teor de Mo frequentemente assemelha-se com sua rocha mãe, com médias entre 1 e 3 ppm. Solos contendo grandes concentrações de matéria orgânica, como humus, podem reter apreciáveis quantidades de Mo de águas do solo, especialmente onde o pH do solo é baixo (< 5) (Wedepohl, 1970).

Em Thornber (1985), dos cátions e ânions estudados (Mn, Cd, Ni, Co, Zn, Pb, Cu, Si, Se, As, P, Mo, Cl^- , SO_4^-), o Mo foi o que apresentou maior adsorção sobre goethita em pH 3-5. Segundo Oliveira e Schwab (1980), o Mo ($r = 0,73 \text{ \AA}$) pode substituir o Fe^{+++} ($r = 0,73 \text{ \AA}$) na hematita.

No Salobo, o mineral primário de Mo é a molibdenita, a qual foi detectada em rocha fresca segundo DOCEGEO (1981):

Dos três perfis estudados o F-31 foi o que apresentou-se mais rico em Mo, chegando a teores de até 0,004% Mo em peso. No perfil F-46, os teores de Mo mantiveram-se constantes (0,001%) da base até aproximadamente a metade do perfil. A partir de então, os teores estiveram abaixo do limite de detecção da metodologia empregada. O perfil F-47 manteve-se no limite de detecção da metodologia utilizada (0,001%) na maior parte do perfil, havendo apenas um pico a 15 m de profundidade, onde alcançou 0,002% Mo em peso.

Os dados analíticos do Mo para os três perfis estudados, foram extraídos de DOCEGEO (1981) e contém apenas informações à cada 10 m de profundidade, tornando-se inoperante a construção de tabelas de coeficientes de correlação com os demais elementos presentes, não sendo por esse motivo possível associar o Mo aos minerais presentes nos perfis, por esse método. Pode-se no entanto, com base na bibliografia consultada, propor como possíveis fases suporte do Mo, a hematita e/ou goethita, assim como as argilas.

TABELA 4a - Coeficientes de Correlação do Perfil F-31 (Horizonte Argilo-Minerais 7Å)

	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	CuO	MnO	Ni	Au	Ag	Co
Al ₂ O ₃	1,00												
TiO ₂	0,68	1,00											
Fe ₂ O ₃	0,67	0,53	1,00										
CaO	-0,43	-0,51	-0,14	1,00									
MgO	-0,73	-0,26	-0,15	0,59	1,00								
Na ₂ O	0,64	0,26	0,58	-0,48	-0,53	1,00							
K ₂ O	-0,76	-0,24	-0,22	0,50	0,98	-0,56	1,00						
CuO	-0,86	-0,41	-0,42	0,54	0,85	-0,59	0,83	1,00					
MnO	-0,10	0,04	0,56	0,38	0,53	0,13	0,43	0,48	1,00				
Ni	-0,27	-0,15	0,45	0,29	0,53	0,05	0,47	0,52	0,92	1,00			
Au	0,71	0,54	0,88	-0,26	-0,35	0,64	-0,40	-0,55	0,34	0,18	1,00		
Ag	0,07	-0,31	0,39	-0,30	-0,00	0,13	-0,01	-0,06	0,38	0,65	0,21	1,00	
Co	0,26	0,12	0,26	0,23	0,53	-0,12	0,46	0,67	0,86	0,82	0,06	0,23	1,00

TABELA 4b - Coeficientes de Correlação do Perfil F-31 (Horizonte Argilo-Minerais 15Å e Interestratificados).

	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	CuO	MnO	Ni	Au	Ag	Co
Al ₂ O ₃	1,00												
TiO ₂	0,29	1,00											
Fe ₂ O ₃	-0,86	-0,40	1,00										
CaO	-0,43	0,09	0,29	1,00									
MgO	0,51	0,06	-0,51	-0,05	1,00								
Na ₂ O	-0,03	0,01	-0,03	-0,36	0,01	1,00							
K ₂ O	0,50	0,06	-0,67	-0,36	0,49	0,13	1,00						
CuO	0,28	0,13	-0,30	-0,27	-0,33	-0,01	0,22	1,00					
MnO	0,17	-0,05	-0,06	-0,08	-0,26	-0,01	-0,08	0,19	1,00				
Ni	0,34	-0,01	-0,23	0,20	0,73	-0,14	0,22	-0,12	-0,05	1,00			
Au	-0,20	-0,14	0,20	-0,20	-0,30	0,56	0,01	0,30	0,05	-0,25	1,00		
Ag	-0,12	-0,09	0,02	-0,10	0,16	0,27	0,08	0,25	0,00	-0,22	-0,31	1,00	
Co	0,32	0,05	-0,20	-0,49	-0,06	0,19	0,05	0,55	0,73	-0,13	0,13	0,07	1,00

TABELA 4c - Coeficientes de Correlação do Perfil F-31 (Horizonte Zona de Relictos)

	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	CuO	MnO	Ni	Au	Ag	Co
Al ₂ O ₃	1,00												
TiO ₂	-0,30	1,00											
Fe ₂ O ₃	0,58	-0,68	1,00										
CaO	0,61	-0,52	0,11	1,00									
MgO	0,60	0,50	-0,22	0,34	1,00								
Na ₂ O	0,80	0,01	0,64	0,01	0,51	1,00							
K ₂ O	-0,81	0,68	-0,93	-0,40	-0,04	-0,71	1,00						
CuO	-0,73	0,79	-0,94	-0,42	0,09	-0,59	0,99	1,00					
MnO	0,27	0,41	0,38	-0,59	0,27	0,79	-0,26	-0,15	1,00				
Ni	-0,27	-0,73	0,56	-0,17	-0,92	-0,22	-0,33	-0,45	-0,16	1,00			
Au	0,21	-0,17	0,79	-0,51	-0,26	0,65	-0,57	-0,64	0,78	0,46	1,00		
Ag	-0,16	-0,87	0,52	0,11	-0,86	-0,31	-0,37	-0,51	-0,40	0,95	0,24	1,00	
Co	-0,77	0,81	-0,89	-0,53	0,03	-0,56	0,97	0,99	-0,06	-0,39	-0,43	-0,49	1,00

TABELA 5a - Coeficientes de Correlação do Perfil F-46 (Horizonte Argilo-Minerais 7A)

	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	CuO	MnO	Ni	Au	Ag	Co
Al ₂ O ₃	1,00												
TiO ₂	0,54	1,00											
Fe ₂ O ₃	-0,08	0,45	1,00										
CaO	0,65	0,51	0,26	1,00									
MgO	0,28	0,35	0,02	-0,22	1,00								
Na ₂ O	-0,13	0,32	0,30	-0,11	-0,17	1,00							
K ₂ O	0,43	0,52	0,50	0,70	-0,38	0,31	1,00						
CuO	-0,25	-0,17	0,19	-0,05	-0,45	-0,09	0,27	1,00					
MnO	-0,58	-0,18	0,13	-0,44	-0,23	-0,10	-0,08	0,79	1,00				
Ni	-0,31	0,02	0,53	0,22	-0,68	0,26	0,47	0,76	0,52	1,00			
Au	0,35	0,07	0,00	0,22	-0,16	-0,34	0,22	0,70	0,41	0,43	1,00		
Ag	-0,16	0,49	0,19	0,00	-0,06	0,17	0,17	0,01	0,41	0,14	-0,06	1,00	
Co	-0,56	-0,26	0,19	-0,40	-0,32	-0,11	-0,06	0,86	0,97	0,64	0,51	0,28	1,00

TABELA 5b - Coeficientes de Correlação do Perfil F-46 (Horizonte Argilo-Minerais 10A)

	Al ₂ O ₃	TiO	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	CuO	MnO	Ni	Ag	Co	
Al ₂ O ₃	1,00												
TiO ₂	0,50	1,00											
Fe ₂ O ₃	0,02	0,33	1,00										
CaO	-0,06	0,12	-0,18	1,00									
MgO	-0,28	0,04	-0,23	-0,22	1,00								
Na ₂ O	0,02	0,42	0,14	0,00	0,21	1,00							
K ₂ O	0,22	0,00	-0,23	-0,29	0,44	0,13	1,00						
CuO	-0,59	-0,26	-0,07	-0,05	0,41	-0,27	0,16	1,00					
MnO	-0,63	-0,45	-0,25	0,26	-0,16	-0,12	-0,48	0,49	1,00				
Ni	-0,42	-0,26	0,06	-0,13	0,62	-0,15	0,33	0,70	0,04	1,00			
Au	0,28	0,38	0,61	-0,17	-0,24	0,29	-0,33	-0,26	-0,23	0,05	1,00		
Ag	-0,26	-0,12	-0,36	0,31	-0,36	-0,32	-0,47	0,24	0,63	-0,11	-0,05	1,00	
Co	-0,07	-0,28	-0,11	0,32	-0,70	-0,54	-0,33	-0,01	0,44	-0,43	-0,32	0,52	1,00

TABELA 5c - Coeficientes de Correlação do Perfil F-46 (Horizonte Argilo-Minerais 15Å e Inter-estratificados).

	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	CuO	MnO	Ni	Au	Ag	Co
Al ₂ O ₃	1,00												
TiO ₂	0,85	1,00											
Fe ₂ O ₃	0,00	0,27	1,00										
CaO	-0,49	-0,69	-0,44	1,00									
MgO	0,37	0,62	-0,07	-0,30	1,00								
Na ₂ O	0,09	0,07	0,20	-0,26	0,10	1,00							
K ₂ O	0,50	0,68	0,12	-0,42	0,88	0,08	1,00						
CuO	0,54	0,75	0,34	-0,57	0,72	0,50	0,70	1,00					
MnO	-0,08	-0,06	-0,59	-0,02	-0,20	0,09	0,01	0,06	1,00				
Ni	0,28	0,55	0,27	-0,47	0,82	0,30	0,76	0,80	0,00	1,00			
Au	0,20	0,21	0,18	-0,32	-0,02	0,15	-0,02	0,02	0,12	0,19	1,00		
Ag	-0,41	-0,16	0,62	-0,02	-0,09	0,08	-0,06	-0,10	0,41	0,03	0,17	1,00	
Co	0,24	0,37	0,73	-0,65	0,00	0,25	0,28	0,41	0,71	0,28	0,23	0,22	1,00

TABELA 6a - Coeficientes de Correlação do Perfil F-47 (Horizonte Argilo-Minerais 10R)

	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	CuO	MnO	Ni	Au	Ag	Co
Al ₂ O ₃	1,00												
TiO ₂	0,98	1,00											
Fe ₂ O ₃	-0,69	-0,68	1,00										
CaO	-0,76	-0,72	0,35	1,00									
MgO	0,38	0,30	-0,75	-0,37	1,00								
Na ₂ O	-0,30	-0,34	0,66	-0,30	-0,34	1,00							
K ₂ O	0,37	0,34	-0,71	-0,48	0,87	-0,18	1,00						
CuO	0,65	0,57	-0,78	-0,64	0,90	-0,26	0,76	1,00					
MnO	0,41	0,55	-0,32	-0,42	-0,01	-0,14	0,30	0,15	1,00				
Ni	0,60	0,53	-0,90	-0,45	0,95	-0,46	0,82	0,94	0,09	1,00			
Au	-0,37	0,39	0,28	-0,41	-0,52	0,38	-0,31	-0,32	0,16	-0,40	1,00		
Ag	0,58	0,62	-0,07	-0,27	-0,36	-0,15	-0,21	-0,19	0,26	-0,15	0,85	1,00	
Co	0,60	0,67	-0,31	-0,64	-0,15	-0,09	0,03	0,16	0,70	0,07	0,67	0,77	1,00

TABELA 6b - Coeficientes de Correlação do Perfil F-47 (Horizonte Argilo-Minerais 15Å)

	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	CuO	MnO	Ni	Au	Ag	Co
Al ₂ O ₃	1,00												
TiO ₂	0,73	1,00											
Fe ₂ O ₃	-0,72	-0,85	1,00										
CaO	0,41	0,59	-0,79	1,00									
MgO	0,45	0,40	-0,59	0,35	1,00								
Na ₂ O	0,41	0,67	-0,82	0,89	0,29	1,00							
K ₂ O	0,61	0,75	-0,76	0,72	0,21	0,83	1,00						
CuO	-0,02	-0,05	0,13	-0,44	0,31	-0,51	-0,51	1,00					
MnO	0,00	-0,46	0,45	-0,35	-0,45	-0,55	-0,29	0,06	1,00				
Ni	0,02	-0,10	0,20	-0,56	0,38	-0,62	-0,53	0,89	0,10	1,00			
Au	-0,07	0,00	0,17	-0,29	-0,19	-0,31	-0,32	0,47	0,08	0,26	1,00		
Ag	-0,20	-0,21	0,11	0,05	-0,32	0,14	0,05	-0,22	0,19	-0,36	0,28	1,00	
Co	-0,10	-0,31	0,48	-0,79	0,17	-0,81	-0,63	0,68	0,15	0,83	0,24	-0,41	1,00

9 CONCLUSÃO

Estudos mineralógicos empregando difratometria de raios-X demonstraram certa heterogeneidade entre os três perfis estudados (F-31; F-46 e F-47), causadas pela diferença de maturidade entre os mesmos, e em parte também devido a diversidade de rochas-mães. Devido a imaturidade dos perfis, uma tentativa de separação dos horizontes em cada perfil só foi possível recorrendo-se à natureza dos argilo-minerais presentes, como único critério possível. Assim sendo, foram identificados no perfil F-31 os horizontes: zona de relictos (início de alteração, na qual ainda se encontram minerais primários preservados), argilo-minerais 15Å e interestratificados (caracterizado por esmectita e hidrobiotita) e argilo-minerais 7Å (caolinita); no perfil F-46 foram identificados os horizontes: argilo-minerais 15Å e interestratificados (esmectita, vermiculita e hidrobiotita), argilo-minerais 10Å (ilita) e argilo-minerais 7Å (caolinita); no perfil F-47 foram identificados os horizontes: argilo-minerais 15Å (esmectita e vermiculita) e argilo-minerais 10Å (ilita).

A análise dos perfis com seus respectivos horizontes, permitiu observar que o perfil F-46 é o mais maduro enquanto que o F-47 é o mais imaturo, registrando a presença de argilo-minerais 15Å até próximo ao seu topo.

Embora com algumas limitações, foi possível compor um quadro evolutivo esquemático para os minerais presentes em cada perfil: a) os minerais de Cu, aparecendo na base e desaparecendo ainda próximos a esta; b) o quartzo persistindo ao longo de todo o perfil; c) os minerais primários (anfíbólio-granada-biotita-magnetita-plagioclásio) transformando-se em goethita e esta em hematita e em argilo-minerais 15Å e estes em argilo-minerais 7Å. A evolução normal esquematizada acima foi observada apenas no perfil F-31; no perfil F-46 observou-se presença de argilo-minerais 10Å (ilita) entre os argilo-minerais 15Å e 7Å e no perfil F-47, acima dos argilo-minerais 15Å, encontrou-se argilo-minerais 10Å (ilita) indo até o topo. Considerou-se a ilita presente nos perfis F-46 e F-47 como originada a partir da captura, por parte da esmectita, do K liberado na desestabilização da biotita. Foi também admitida a possibilidade do aparecimento da ilita ser apenas consequência de eventuais variações da rocha-mãe.

As análises mineralógicas e geoquímicas permitiram

concluir que o Cu, assim como os traços Ni, Co, Au e Ag encontram-se distribuídos em diversas fases ao longo dos perfis estudados.

A medida em que vai ocorrendo a desestabilização dos sulfetos, principais minerais primários portadores de Cu no Salobo 3A, este vai associando-se aos produtos de alteração das biotitas, minerais do tipo 2:1 (hidrobiotita e vermiculita). Na desestabilização intempérica destes minerais, o Cu então poderá passar à novas fases suporte, tais como ilita, goethita ou óxidos de manganês. Todavia as fases mais importantes, inclusive quantitativamente, são precisamente os minerais hidrobiotita e vermiculita, os quais são responsáveis pelos relativamente elevados teores de Cu nos solos da jazida Salobo 3A, embora os teores relativamente elevados sejam apenas consequência da imaturidade dos perfis. No perfil F-46, o mais maduro, os teores de Cu diminuem sensivelmente ao longo do perfil enquanto que no perfil F-47, o mais imaturo, os teores médios mantêm-se relativamente elevados ao longo do mesmo.

Pode-se concluir que não há na verdade, um perfil de enriquecimento laterítico em Cu mas sim, uma conservação temporária deste elemento, nas fases intermediárias de alteração das biotitas, as quais uma vez alteradas até o ponto de filossilicatos 1:1, com o amadurecimento do perfil, tenderão a perder esse Cu, lixiviado pelas águas de percolação.

O níquel, que após sua liberação dos minerais primários (ferro-magnesianos) acompanha bem o Mg, parece estar ligado à esmectita e em alguns casos à vermiculita, quando em profundidade. Ao aproximar-se da superfície ou em perfis mais maduros, o Ni parece estar associado aos oxi-hidróxidos de Fe e Mn.

Por sua vez, o cobalto, liberado na desestabilização dos minerais ferro-magnesianos da rocha mãe, parece ainda permanecer nos perfis por adsorção aos óxi-hidróxidos de Fe e Mn, tendendo no entanto, na maioria deles a desaparecer por lixiviação.

O ouro, provavelmente originado dos xistos mais magnéticos do Salobo, parece encontrar-se no alterado, associado principalmente aos minerais secundários de Fe podendo também estar adsorvido em argilas, próximo à superfície. Em um dos perfis, o F-47, não foi possível relacionar o Au a nenhum outro mineral presente podendo nesse caso, o mesmo, estar na forma nativa ou tal-

vez também em associação com os minerais secundários de Fe, estando entretanto, se for o caso, com a correlação mascarada. Porém de modo geral, o Au não aparenta estar-se acumulando em nenhum horizonte dos perfis.

No perfil F-31, o qual se originou de xistos mineralizados (>0,8% Cu), a Ag parece estar contida na calcopirita, substituindo parte do Cu, na base do perfil. À medida que o perfil evolui, as possíveis fases portadoras de Ag poderão ser a esmectita, goethita ou MnO_2 , em ordem crescente de capacidade de adsorção, sendo necessário entretanto, o estudo de cada mineral isoladamente, para identificar qual o que realmente é o responsável pela retenção da Ag nesse perfil. Um relativo acúmulo de Ag no topo do perfil foi atribuído a adsorção do metal por substâncias húmicas. Nos demais perfis, são provavelmente os óxidos de Mn e hidróxidos de Fe os responsáveis pela fixação da Ag, embora em teores reduzidos.

A metodologia empregada nesta pesquisa, não permitiu uma definição mais sólida do comportamento do Mo em relação a mineralogia presente nos perfis estudados. O Mo, originalmente presente na forma de molibdenita, em rocha fresca, poderá estar fracamente adsorvido sobre oxi-hidróxidos de Fe, ou sobre minerais de argila sendo contudo necessárias análises mais acuradas a fim de se precisar o comportamento desse elemento nos solos do Salobo 3A.

Do exposto pode-se concluir que, tanto o Cu como os demais traços estudados (Ni, Co, Au, Ag, Mo) não estão de fato se concentrando nos solos do Salobo, estando os mesmos ainda presentes, devido ao baixo grau de maturidade dos perfis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEXANDER, L.T.; CADY, J.G. - 1962 - Genesis and Hardening of laterite in Soils. *Tec. Bull.* 1282; 12-14.
- AL-HASHIMI, A.R.K.; BROWNLOW, A.H. - 1970 - Copper Content of Bitrites from the Boulder Batholith, Montana. *Econ. Geol.*; 65: 985-992.
- ALVES, C.A.; BERNARDELLI, A.L.; BEISIEGEL, V.R. - 1984 - A Jazida de Níquel Laterítico do Vermelho, Serra dos Carajás. Pará. In: *Symposium Amazônico*, 2, Manaus-AM. V. 14, p. 339-353.
- ALVES, C.A.; BERNARDELLI, A.L.; BEISIEGEL, V.R. - 1986 - A Jazida de Níquel Laterítico do Vermelho, Serra dos Carajás. Pará. In: *Brasil. Departamento Nacional de Produção Mineral. Principais depósitos minerais do Brasil. Brasília. V. 2*, p. 325-334.
- ANDRADE, M.R.; BOTELHO, L.C.A. - 1974 - Perfil analítico do níquel. Rio de Janeiro, DNPM. *Bol. n° 33*, 90 p.
- ANGINO, E.E.; BILLINGS, G.K. - 1972 - *Atomic absorption spectrometry in geology*. 2 ed. New York, Elsevier Pub. 191 p.
- APRIL, R.H. - 1980 - Regularly interstratified chlorite/vermiculite in contact metamorphosed red beds. Newark Group, Connecticut Valley. *Clays Clay Min.*, 28(1): 1-11.
- BARTHOLOMÉ, P. - 1974 - Gisements stratiformes et Provinces Cuprifères. Liège, Soc. Geol. Belgique. 427 p.
- BASSET, W.A. - 1958 - Copper vermiculites from Northern Rhodesia. *Am. Min.*, 43 (11/12): 1112-1113.
- BEISIEGEL, V.R.; BERNARDELLI, A.L.; DRUMOND, N.F.; RUFF, A.W.; TREMAINE, J.W. - 1973 - Geologia e recursos minerais da Serra dos Carajás. *Rev. Bras. Geoc.*, 3: 215-242.
- BEISIEGEL, V.R.; FARIAS, N.F. - 1978 - Ocorrências de cobre na Serra dos Carajás. In: *Cong. Bras. Geol.* 30, Recife-PE. *Anais v.4*, p. 1419-1426.
- BERNARDELLI, A.L. - 1982 - Jazida de Manganês do Azul. In: *Simpósio de Geologia da Amazônia*, 1, Recife-PE. Anexo aos *Anais*, Belém, p. 47-60.
- BERNARDELLI, A.L.; BEISIEGEL, V.R. - 1979 - Geologia Econômica da Jazida de Manganês do Azul. In: *Cong. Bras. Geol.*, 30 Recife, SBG, v. 4, p. 1431-1444.
- BERNARDELLI, A.L.; MELFI, A.J.; OLIVEIRA, S.M.B.; TRESCASES, J. J. - 1983 - The Carajás Nickel Deposits. In: *II Internac. Semin. on Lateritisation Processes*, São Paulo. IUGS/IAGC. p.107-

118.

- BRADLEY, W.F.; WEAVER, C.E. - 1956 - A regulary interstratified chlorite-vermiculit clay minerals. Am. Min. 41: 497-504.
- BRASIL. DNPM. PROJETO RADAL - 1974 - Folha SB-22-Araguaia e parte da folha SC-22 Tocantins. Geologia, geomorfologia, solos, vege tação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, DNPM (levantamento de Recursos Naturais, v. 4).
- CAILLÈRE, S.; HENIN, S. - 1963 - Minéralogie des argiles, Paris, Masson. 355 p.
- CARROLL, D. - 1974 - Clay Minerals: A Guide to Their X-Ray Identification. Califórnia, Geol. Soc. Am. 126, 80 p.
- COELHO, C.E.; RODRIGUES, O.T. - 1986 - Jazida de Manganês do Azul, Serra dos Carajás-Pará. In: BRASIL. DNPM. Principais depósitos minerais do Brasil. V. 2, p. 145-152.
- COLE, W.F.; LANCUCKI, C.J. - 1976 - Montmorillonite pseudomorphs after amphibole from Melbourne, Australia. Clays Clay Min., 24 (2): 79-83.
- CORREA, S.L.A. - 1982 - Aspectos mineralógicos geoquímicos da laterita níquelífera da Área do Vermelho, Serra dos Carajás (Pará). Tese de Mestrado em Geoquímica. Belém, UFPA/NCGG. 73 p.
- CORREA, S.L.A.; OLIVEIRA, N.P.; SCHWAB, R.G. - 1984 - Alguns aspectos mineralógicos e geoquímicos da laterita níquelífera do Vermelho, Serra dos Carajás, e suas implicações genéticas. In: Cong. Bras. Geol., 33, Rio de Janeiro. Anais. V. 10, p. 4838-4849.
- COSTA, M.L. - 1980 - Geologia, Mineralogia, Geoquímica e Gênese dos fosfatos de Jandiá, Cansa Perna e Itacupim no Pará, e Trauíra e Pirocaua no Maranhão. Tese de Mestrado em Geologia. Belém, UFPA/NCGG. 132 p.
- COSTA, M.L. - 1982 - Petrologisch-geochemische Untersuchungen zur Genese der Bauxite and Phosphat - Laterite der Region Gurupi (Ostamazonien). Tese de Doutorado R.F.A. Erlangen, Univ. Erlangen-Nuremberg. 190 p.
- COSTA, M.L.; COSTA, W.A. - 1987 - Distribuição dos Terras Raras na Solução Sólida Crandalita-Goyazita de Sapucaia (Bonito-- Pará). In: Cong. Bras. Geol. 1, Porto Alegre, SBGq, p. 53-57.
- COSTA, M.L.; COSTA, W.A.; SCHWAB, R.G. - 1980 - Mineralogia das ocorrências de fosfatos lateríticos do Pará e Maranhão (Brasil). In: Cong. Bras. Geol., 31, Camboriú-SC. Anais... Camboriú. SBG, v. 4. p. 1982-1966.

- COSTA, M.L.; SÁ, J.H.S. - 1980 - Os fosfatos lateríticos da Amazônia Oriental: Geologia, Mineralogia, Geoquímica e Correlação com as Bauxitas da Amazônia. In: Cong. Bras. Geol., 31, Camboriú. v. 3, p. 1459-1472.
- DENNEN, W.H.; NORTON, H.A. - 1977 - Geology and Geochemistry of bauxite deposits in the lower Amazon Basin. Ec. Geol., 77:82-89.
- DOCEGEO - 1981 - Projeto Cobre - Carajás: Jazida Salobo 3A e 4A. Relatório de Pesquisa para o DNPM. Belém. 4 v.
- DOCEGEO - 1988 - Revisão Litoestratigráfica da Província Mineral de Carajás. In: Cong. Bras. Geol., 35, Belém. Anexo aos Anais. p. 11-54.
- DUARTE, A.L.S. - 1982 - Contribuição ao conhecimento dos depósitos de bauxita refratária na Amazônia. In: Simpósio de Geol. Amaz., 1, Belém. v. 2, p. 30-34.
- FARIAS, N.F.; SAUERESSIG, R. - 1981 - Projeto Cobre Carajás: Jazidas Salobo 3A e 4A. Relatório de Pesquisa. Belém, Rio Doce Geologia e Mineração. v. 1.
- FARIAS, N.F.; SAUERESSIG, R. - 1982a - Pesquisa Geológica da Jazida de Cobre Salobo 3A. In: Simpósio de Geol. da Amaz., 1, Belém. Anais. v. 2, p. 39-45.
- FARIAS, N.F.; SAUERESSIG, R. - 1982b - Jazida de Cobre Salobo 3A. In: Simpósio de Geol. da Amaz. 1, Belém. Anexo aos Anais. p. 65-72.
- FARRAH, H.; PICKERING, W. - 1976 - The sorption of copper species by clays. II illite and Montmorillonite. Aust. J. Chem., 29: 1177-1184.
- FARRAH, H.; PICKERING, W. - 1979 - pH effects in the adsorption of heavy metal ions by clays. Chem. Geol., 25: 317-326.
- FERREIRA FILHO, C.F. - 1985 - Geologia e Mineralizações Sulfetadas do prospecto Bahia, Província Mineral de Carajás. Tese de Mestrado. Brasília, Fundação Universidade de Brasília. 112 p.
- FONSECA, L.R.; RIGON, J.C. - 1984 - Ocorrências de titânio do Complexo Ultramáfico-Alcalino de Maracaná no Estado do Pará. In: Cong. Bras. Geol., 33, Rio de Janeiro. Anais. v. 8, p. 3841-3852.
- FORMOSO, M.L.L. - 1980 - Difractometria de raios-X. In: Cong. Bras. Geol., 31, Camboriú, Bol. nº 4 - técnicas analíticas instrumentais aplicadas à geologia. p. 5-26.
- GARRELS, R.M.; CHRIST, C. - 1965 - Solution, minerals and equili

- bria. New York, Harper and Row. 450 p.
- GARRELS, R.M.; MACKENZIE, F.T. - 1971 - Evolution of sedimentary Rocks. New York, W.W. Norton. 397 p.
- GIBBS, A.K.; WIRTH, K.R.; HIRATA, W.K.; JR. OLSZEWSKI, W. J. - 1986 - Age and composition of the Grão Pará Group Volcanics, Serra dos Carajás. Rev. Bras. Geoc., 16(2): 201-211.
- GILKES, R.J.; SUDDHIPRAKARN, A. - 1979 - Biotite alteration in deeply weathered granite. I: Morphological, mineralogical, and chemical properties. Clays Clay Min., 27(5): 349-360.
- GOLDSCHMIDT, V.M. - 1958 - Geochemistry. Oxford, Oxford at the Clarendon Press. 730 p.
- GONÇALVES, E.; SERFATY, A. - 1976 - Perfil analítico do manganês. Brasília, DNPM. Bol. nº 37, 149 p.
- GRIM, R.E. - 1968 - Clay Mineralogy. 2. ed. New York, McGraw-Hill Book. 596 p.
- HAWKES, H.E.; WEBB, J.S. - 1962 - Geochemistry in mineral exploration. New York, Carey Croneis, Harper's Geoc. Ser. 415 p.
- HAYASHI, H.; OTSUKA, R.; IMAI, N. - 1969 - Infrared study of sepiolite and playgorskite on heating. Am. Min., 54: 1613-1624.
- HERNALSTEENS, C.M.O. - 1982 - Bauxita de Porto Trombetas. In: Cong. Bras. Geol., 32, Salvador. Anais. v.2, p. 1100-1113.
- HIRATA, W.K.; RIGON, J.C.; KADEKARU, K.; CORDEIRO, A.A.C.; MEIRELES, E.M. - 1982 - Geologia Regional da Província Mineral de Carajás. In: Simp. Geol. Amaz., 1, Belém. Anais. v. 1, p. 100-109.
- ISSLER, R.S. - 1980 - Rare-earth Elements in the Seis Lagos Carbonate Complex. Mineração Metalurgia, 43(417): 20-23.
- JCPDS - 1974 - Powder Diffraction Data for Minerals. Swarthmore, PA. 833 p.
- JENNE, E.A. - 1968 - Controls on Mn, Fe, Co, Ni, Cu and Zn concentrations in soils and water: the significance of hydrous Mn and Fe oxides. Adv. Chem. Ser., 73: 337-387.
- JUSTO, L.J.E.C.; SOUZA, M.M. - 1984 - Jazida de nióbio de Morro de Seis Lagos. In: Symp. Amaz., 2, Manaus-AM. M.M.E.; DNPM. Anais. p. 467-472.
- KOLTHOFF, I.M.; SANDELL, E.B.; MEEHAN, E.J.; BRUCKENSTEIN, S. - 1969 - Análises químico quantitativa. Buenos Aires, Nigor. 1231 p.
- KOPPELMAN, M.H.; DILLARD, J.G. - 1977 - A study of the adsorption of Ni (II) and Cu (II) by clay minerals. Clays Clay Min.,

- 25(6): 457-462.
- KOTSCHOUBEY, B.; TRUCKENBRODT, W. - 1981 - Evolução poligenética das bauxitas do Distrito de Paragominas-Açailândia (Estado do Pará e Maranhão). Rev. Bras. Geoc. 11: 193-202.
- KRAUSKOPF, K.B. - 1972 - Introdução à geoquímica. São Paulo, Polígono. 2 v.
- KRONBERG, B.I.; COUSTON, J.F.; STILIANIDI FILHO, B.; FYFE, W.S.; NASH, R.A.; SUGDEN, D. - 1979 - Minor element geochemistry of the Paragominas Bauxite, Brazil. Ec. Geol., 74: 1869-1975.
- KRONBERG, B.I.; FYFE, W.S.; MCKINNON, B.J.; STILIANIDI FILHO, B.; NASH, R.A. - 1982 - Model for bauxite formation Paragominas (Brasil). Chem. Geol. 35(314): 311-320.
- LEMONS, V.P. - 1982 - Alteração supergênica das rochas básicas do Grupo Grão-Pará - Implicações sobre a gênese do depósito de bauxita de N5 - Serra dos Carajás. Tese de Mestrado em Geoquímica. Belém, UFPA/NCGG. 97 p.
- LEMONS, V.P.; COSTA, M.L. - 1987 - Participação dos terras raras em lateritos fosfáticos de Maicuru-Pará. In: Cong. Bras. Geol., 1, Porto Alegre, SBGq, p. 83-97.
- LINDENMAYER, Z.G.; FYFE, W.; MACHADO, N. - 1988 - Depósito do Salobo: Efeitos do Metamorfismo e Metassomatismo sobre a Mineralização. In: Cong. Bras. Geol., 35, Belém, v.3, p. 1243-1250.
- LOUGHNAN, F.C. - 1969 - Chemical weathering of the silicate minerals. New York, Am. Elsevier Publ. 154 p.
- MARTINS, L.P.B.; SAUERESSIG, R.; VIEIRA, M.A.M. - 1982 - Aspectos petrográficos das principais litologias da seqüência Salobo. In: Simp. Geol. Amaz., 1, Belém. Anais. v.2, p. 253-262.
- MASON, B. - 1971 - Princípios de geoquímica. São Paulo, Polígono. 403 p.
- MAXWELL, J.A. - 1968 - Rock and mineral analysis. New York. Interscience Pub. 584 p.
- MELFI, A.J. - 1982 - Estudo geoquímico e mineralógico do material oxidado do depósito Salobo 3A (Primeiro Relatório Parcial - DOCEGEO). 27 p. (inédito).
- MELFI, A.J.; TRESCASES, J.J.; OLIVEIRA, S.M.B. - 1980 - Les "laterites" nickélicifères du Brésil. Cah. ORSTOM, Sér. Géol., 9 (1): 15-42.
- MERINO, E.; RANSON, B. - 1982 - Free energies of formation of illite solid solutions and their compositional dependence. Clays Clay Min., 30(1): 29-39.

- MEYER, D.J.K.: - 1981 - Cobre nos Carajás. *Jornal da APGAM*. Belém, 1(3): 4.
- MEYER, D.J.K.; FARIAS, N.F. - 1980 - O depósito de Cobre Salobo 3A - Serra dos Carajás. In: *Cong. Bras. Geol.*, 31, Balneário de Camboriú. *Anais. Bol. nº 2, Resumos*, p. 382.
- MITCHELL, W.A. - 1963 - Mineralogical aspects of soil formation on a granitic till. In: *Proc. Int. Clay Conf.*, Stockholm, 1.p. 131-138.
- MONTEIRO, R.W.; OLIVEIRA, N.P. - 1982 - Estudo da solubilidade dos Fosfatos de Pirocaua e Trauíra (MA) e Itacupim e Jandiá (PA) a diferentes temperaturas visando seu aproveitamento agrícola. In: *Encontro de Prof. da Química da Amazônia*, 3, Manaus-Am. *Anais.* p. 221-231.
- MOSSER, C.; ZEEGERS, H. - 1988 - The Mineralogy and geochemistry of two copper - rich weathering profiles in Burkina Faso, West África. In: *Journal of Geochemical Exploration*, 30: 145-166.
- MOURA, C.A.V. - 1982 - Tratamento estatístico de dados geoquímicos e sua aplicação no mapeamento geológico e definição de anomalias geoquímicas no Alvo 2 - Corpo 4, Província Mineral de Carajás. Tese de Mestrado. Belém, UFPA/NCGG. 109 p.
- NARDI, L.V.S. - 1978 - Estudo geoquímico de solos aplicado à prospecção de mineralizações cupríferas na região de Bagé - Caçapava do Sul, RS. Tese de Mestrado em Geociências. Porto Alegre, UFRGS. 110 p.
- OLIVEIRA, N.P. - 1977 - Fosfato da Região de Santa Luzia, Nordeste do Estado do Pará. Tese de Mestrado. Belém, UFPA/NCGG. 74 p.
- OLIVEIRA, N.P. - 1980 - Mineralogie und Geochemie der Phosphatfuehren den Laterite von Itacupim und Trauíra, Nordbrasilien. Tese de Doutorado. Erlangen, R.F.A., Universidade Erlangen-Nuremberg. 159 p.
- OLIVEIRA, N.P.; COSTA, M.L. - 1984 - Os fosfatos aluminosos do Pará e do Maranhão: Estágio atual de conhecimento e estratégia para o aproveitamento econômico. *Ciências da Terra*, 10: 16-19.
- OLIVEIRA, N.P.; SCHWAB, R.G. - 1980 - Itacupim: Um exemplo da influência do fósforo sobre o desenvolvimento de perfis lateríticos. In: *Cong. Bras. Geol.*, 31, Camboriú-SC. *Anais.* v. 1, p. 184-194.
- PAKALOV, V.T.; SEMENQVA, N.V.; GORBUNOVA, Z.M. - 1982 - Geochemistry of molybdenum in granitoids. *Geokhimiya*, 8:1137-1144.

- PARK JR., C.P.; MAC'DIARMID, R.A. - 1970 - Ore deposits. S. Francisco, W.H. Freeman. 552 p.
- PETERSON, M.N.A. - 1961 - Expandable chloritic clay minerals from upper Mississippian Carbonate rocks the Cumberland Plateau in tennessee. Am. Min., 46: 1245-1269.
- PETTIJOHN, F.J. - 1975 - Sedimentary Rocks. New York, Harper and Row. 628 p.
- PINTO DA SILVA, E.R. - 1988 - Pesquisa do minério alterado do Salobo 3A. Relatório Interno. Projeto Cobre - Salobo CVRD/GICOR/DOCEGEQ, 7 p. (inédito).
- RAMOS, J.F.F. - 1985 - A interpretação de dados geoquímicos de solos do Salobo 3A, Serra dos Carajás. In: Simpósio de Geol. da Amaz., 2, Belém. Anais. v. 2, p. 274-285.
- RICKARD, D.T. - 1974 - Low temperature copper: geochemistry: geological aspects. In: Bartholomé, P. Gisements Stratiformes et Provinces Cuprifères. Liege, Soc. Geol. de Belgique. p. 1-34.
- ROBERT, M. - 1975 - Príncípios de détermination qualitative des minéraux argileux à l'aide des rayons-X. Ann. Agron., 26 (4): 363-399.
- ROSE, A.J. - 1970 - Tables permettant le dépouillement des diagrammes de Rayons X et abaques de réglage des monochromateurs à lame courbe. 2ed. Paris, Éditions du Centre National de la Recherche Scientifique. 194 p.
- SÁ, O.B. - 1980 - A Geoquímica da camada laterítica da Serra do Quatipurú. Tese de Mestrado. Belém, UFPA/NCGG. 64 p.
- SAMANA, J.C. - 1976 - Comparative Review of the genesis of the copper-lead sandstone-type deposits. In: Wolf, K.H. Handbook of strata-bound and stratiform ore deposits. New York, Elsevier Scientific Pub. v. 2, p. 1-18.
- SANDELL, E.B. - 1959 - Colorimetric determination os traces of metals. 3 rd. New York, Interscience Pub. 827 p.
- SANTOS, A.L.B.; LIMA, W.N.; FERREIRA, R.S. - 1988 - Uso de cálculo estequiométrico na análise geoquímica do cobre em minerais ocorrentes na Serra dos Carajás (PA) - Resultados preliminares. Rev. Tecnol., Belém, 1(1): 113-118.
- SANTOS, B.A. - 1981 - Amazônia. Potencial mineral e perspectivas de desenvolvimento. São Paulo, EDUSP. 256 p.
- SANTOS, P.S. - 1975 - Tecnologia de Argilas. São Paulo, Edgard Blücher. 2 v.

- SATYANARAYANA, K.V.S. - 1964 - II Soil Survey. Soil classifications and Land Use - Factors Leading to the Genesis of Laterite and Associated Soils. Bull. of the National Institute of Sciences of India, (26); 84-86.
- SCHWAB, R.G.; COSTA, M.L.; OLIVEIRA, N.P. - 1983 - Ueber die Entwicklung von Bauxiten und Phosphat - Lateriten der Region Gurupi (Nordbrasilien). Zbl. Geol. Paleont. 1(3/4): 563-580.
- SCHWAB, R.G.; OLIVEIRA, N.P.; CORREA, S.L.A. - 1985 - The Nickel Laterites of Serra dos Carajás (Área do Vermelho) a Geochemical Study. Zbl. Geol. Paleont. 1(9/10): 1551-1563.
- SEDDOH, F.K.; PEDRO, G. - 1975 - Aspects microgeochimiques de l'alteration superficielle. Application à l'étude de l'évolution des minéraux dans les arènes granitiques. Cah. ORSTOM, Sér. Pédol., 4(1): 7-25.
- SILLITOE, R.H.; CLARK, A.H. - 1969 - Copper and copper-iron sulfides as the initial products of supergene oxidation. Copiapó mining district, Northern Chile. Am. Min. 54: 1684-1710.
- SIQUEIRA, N.V.M.; LIMA, W. N. - 1982 - Estudo geoquímico de alterações e distribuição de elementos em perfis lateríticos desenvolvido sob influência do fósforo - Pirocaua (MA). In: Cong. Bras. Geol., 32, Salvador-BA. Anais. Salvador, SBG, v. 5, p. 1991-2002.
- STANTON, R.E. - 1966 - Rapid Methods of Trace Analysis: for geochemical Applications, London, Edward Arnold. 96 p.
- STOCH, L.; SIKORA, W. - 1976 - Transformations of micas in the process of kaolinitization of granites and gneisses. Clays Clay Min., 24(4): 156-162.
- SUCHECKI, R.K.; PERRY JR, E.A.; HUBERT, J.F. - 1977 - Clay petrology of Cambro-Ordovician Continental Margin, cow head klippe, Western Newfoundland. Clays Clay Min., 25: 163-170.
- TAZAKI, K.; LINDENMAYER, Z.G.; FYFE, W. - 1988 - Formation of ultra-thin Cu-S films on minerals, a weathering product from silicate-facies iron formation, Salobo, Carajás, Brazil. Chem. Geol. 67: 285-294.
- TÉCNICAS Analíticas Instrumentais Aplicadas à Geologia - 1984 - São Paulo, Edgard Blücher. 218 p.
- TEIXEIRA, G. - 1978 - Conteúdo de Prata e Ouro no Minério de Cobre das Minas de Camaquã. In: Cong. Bras. Geol., 30, Recife. Anais. v. 4, p. 1633-1643.
- THORNBUR, M.R. - 1985 - Supergene Alteration of Sulphides, V. II.

- Distribution of Elements During the Gossan-Forming Process. Chem. Geol., 53: 279-301.
- TOLEDO-GROKE, M.C. - 1986 - Intemperismo das rochas mineralizadas em cobre do Salobo 3A, Serra dos Carajás. Mecanismos de alteração dos minerais primários e localização do cobre nos produtos secundários. Tese de Doutorado em Geoquímica. São Paulo, USP. 173 p.
- TOLEDO-GROKE, M.C.; MELFI, A.J.; PARISOT, J.C. - 1987 - Comportamento do cobre durante o intemperismo das rochas xistosas cupríferas do Salobo 3A, Serra dos Carajás. Geoch. Bras. 1(2): 187-200.
- TOLEDO-GROKE, M.C.; PROST, D.; ILDEFONSE, P.; MELFI, A.J.; DELVIGNE, J.; PARISOT, J.C. - 1985 - Alteração dos minerais na zona supérgena da formação cuprífera do Salobo 3A (Serra dos Carajás) - localização do cobre nos produtos secundários. Rev. Bras. Geoc. 15(4): 293-299.
- TRESCASES, J.J. - 1980 - Análise química por espectrometria de absorção atômica. In: Cong. Bras. Geol., 31, Camboriú, Bol. nº 4, técnicas analíticas instrumentais aplicadas à geologia. p. 27-46.
- VALARELLI, J.V.; BERNARDELLI, A.L.; BEISIEGEL, V.R. - 1978 - Aspectos genéticos do minério de manganês do Azul. In: Cong. Bras. Geol., 30, Recife, Soc. Bras. Geol. Anais. v. 4, p. 1670-1679.
- VALETON, I. - 1972 - Bauxites. New York, Am. Elsevier Pub. 226 p.
- VEIGA, M.M. - 1983 - Propriedades Geoquímicas da ligação cobre-óxidos hidratados de ferro: um estudo do minério alterado de Salobo 3A - Serra dos Carajás. Tese de Mestrado. Rio de Janeiro, UFF. 182 p.
- VEIGA, M.M.; SCHORSCHER, H.H. - 1982 - Caracterização tecnológica da relação cobre-óxidos hidratados de ferro no minério "oxidado" de Cobre Carajás, Marabá-PA. In: Encontro do Hemisfério sul sobre Tecnologia Mineral, 1, Rio de Janeiro. Anais. V. 1, p. 606-611.
- VIEIRA, M.A.M. - 1985 - Projeto Cobre Carajás-Pojuca APE/026: Caracterização do Minério Alterado Salobo 3A - Etapa II. Relatório de Estudos de Amostras nº 11. 42 p. (inédito).
- VIEIRA, M.A.M.; GUIMARÃES, I.G.; AMARAL, M.A.M. - 1984 - Perfil de alteração de xistos da jazida de cobre Salobo-Pará. In:

- Symposium Amazônico, 2, Manaus, p. 313-325.
- VIEIRA, E.A.P.; SAUERESSIG, R.; SIQUEIRA, J.B.; PINTO DA SILVA, E.R.; RÉGO, J.L.; CASTRO, F.D.C. - 1988 - Caracterização geológica da jazida polimetálica do Salobo 3A. Reavaliação. In: Cong. Bras. Geol., 35, Belém. Anexo aos Anais. p. 97-110.
- WARSHAW, C.W.; ROY, R. - 1961 - Classification and a Scheme for the identification of layer silicates. Geol. Soc. Am. Bull., 72(10): 1455-1492.
- WEAVER, C.E. - 1956 - The distribution and identification of mixed-layer clays in sedimentary rocks. Am. Min., 41: 202-221.
- WEDEPHOL, K.H. - 1970 - Handbook of geochemistry. New York, Springer-Verlag. V. II/29.
- WEISS, E.J.; ROWLAND, R.A. - 1956 - Effect of heat on vermiculite and mixed-layered vermiculite-chlorite. Am. Min., 41: 899-914.
- WILSON, M.J. - 1975 - Chemical weathering of some primary rock-forming minerals. Soil Science, 119 (5): 349-355.
- WIRTH, K.R.; GIBBS, A.K.; JR. OLSZEWSKI, W.I. - 1986 - U-Pb ages of zircons from the Grão Pará Group and Serra dos Carajás Granite, Pará, Brazil. Rev. Bras. Geoc., 16(2): 195-200.
- WYLBORN, M.J.P. - 1981 - Cobre oxidado Carajás. Minuta Relatório elaborado para a DOCEGEO. 29 p. (inédito).
- ZEISS, FMD4 - 1971 - Analytical Methods for atomic absorption and flame emission-Atomic Absorption Spectrometer FMD4. 139 p.

ANEXO 1

A metodologia empregada para a abertura das amostras, visando utilização dos métodos espectrofotométrico e colorimétrico (Maxwell, 1968; Sandell, 1959), seguiu a seqüência descrita abaixo:

- Inicialmente as amostras (# 80 mesh) foram secas por 24 horas em estufa a $110 \pm 10^\circ \text{C}$. Após resfriadas em dessecador à temperatura ambiente, foram pesados 0,5 g de amostra e transferidos para copo de teflon de 50 ml. Foi feito então ataque com 10 ml de mistura ácida HF + HClO_4 (10+1) e levado à secar em banho de areia. Após resfriar, foi feito novo ataque com 10 ml de HF e 2 ml de HClO_4 e novamente levado à secar em banho de areia. Após resfriar, retomou-se com 5 ml de HCl (1:1) e água deionizada até ± 25 ml, aquecendo-se a mistura, até dissolução do resíduo. Como a abertura nestas amostras nunca era total, filtrou-se as mesmas em papel de filtro (lento) e guardou-se o filtrado (Δ). Tomou-se o papel de filtro com o resíduo, e após seco e calcinado em bico de gás, fez-se a fusão do mesmo com $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$, em proporções variáveis com o teor de resíduo de cada amostra, utilizando cadinho de platina. O botão da fusão foi dissolvido com HCl (1:1) e adicionado ao filtrado (Δ). A mistura, uma vez aferida a 100 ml, foi estocada em frasco de polietileno.

Partindo desta solução procedeu-se à leitura dos elementos: Al, Fe, Ca, Mg, Na, K, Cu, Mn, Co, Ni e Ag por espectrometria de absorção atômica, adotando procedimentos conforme ZEISS-FMD4- (1971) em Espectrofotômetros ZEISS-FMD4 e PERKIM-ELMER 400.

Devido a Ag apresentar teores muito baixos, o espectrômetro PERKIM-ELMER 400 foi utilizado nas seguintes condições, adaptadas para as condições da amostra:

- corrente: 8 mA
- λ : 3.280,7 nm
- Gás: Ar= 10, Acetileno = 10
- Fenda: 0,7 mm
- Tempo de contagem: 2 seg.
- Sensibilidade: 5 mV
- Expansão: 10 x

Ainda utilizando a abertura descrita, o Ti foi de-

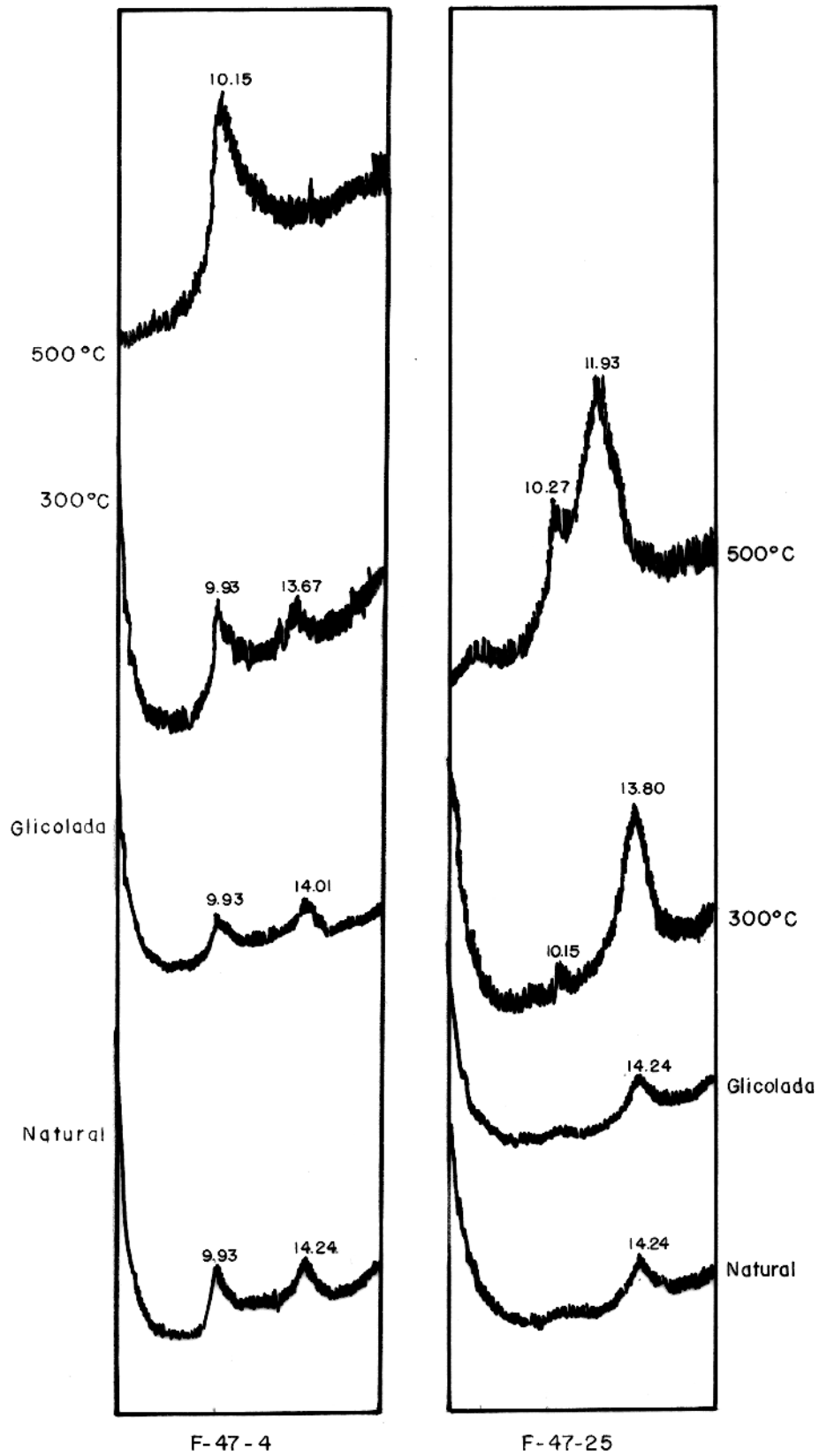
terminado por colorimetria (Maxwell, 1968; Sandell, 1959), através da medida da absorvância do complexo colorido formado pela reação do Ti com H_2O_2 em meio sulfúrico. O complexo aniônico amarelo formado pelo Ti e H_2O_2 , acredita-se ser $TiO_2(SO_4)_2^{2+}$, ou possivelmente $Ti(H_2O_2)_4^{4+}$ ou espécies similares.

Para determinar o teor de sílica, foi adaptado o método gravimétrico tradicional, utilizando-se cadinhos de grafite, em lugar dos cadinhos de Pt e forno de indução Indukthen 2.0 P. O procedimento seguiu os seguintes itens:

- pesou-se 0,2 g de amostra (seca) + 1,4 de $Li_2B_4O_7$
- homogeneizou-se bem a mistura
- transferiu-se para cadinho de grafite (25 ml)
- fundiu-se a mistura em forno de indução a $\pm 1:100^\circ C$ por 10 min
- transferiu-se o botão da fusão para becher contendo HCl diluído.
- dissolveu-se o botão.

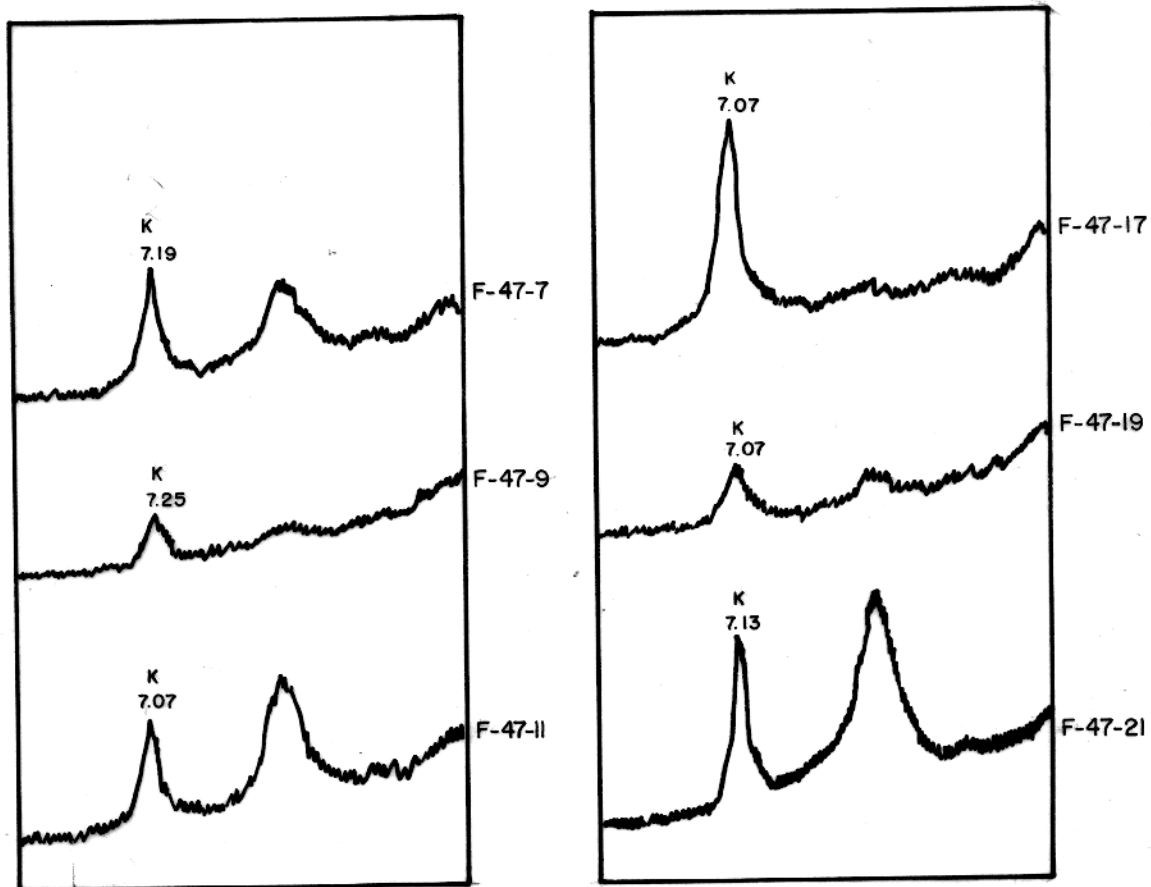
A partir daí, seguiu-se o método gravimétrico indireto, como indicado por Kolthoff et al. (1969) e Maxwell (1968), de desidratação e posterior fluoritização da sílica.

A perda por calcinação (p.p.c.) foi obtido através do cálculo gravimétrico de diferença de peso das amostras secas em estufa a $110^\circ C$ e calcinadas a $1000^\circ C$ por 1 hora.



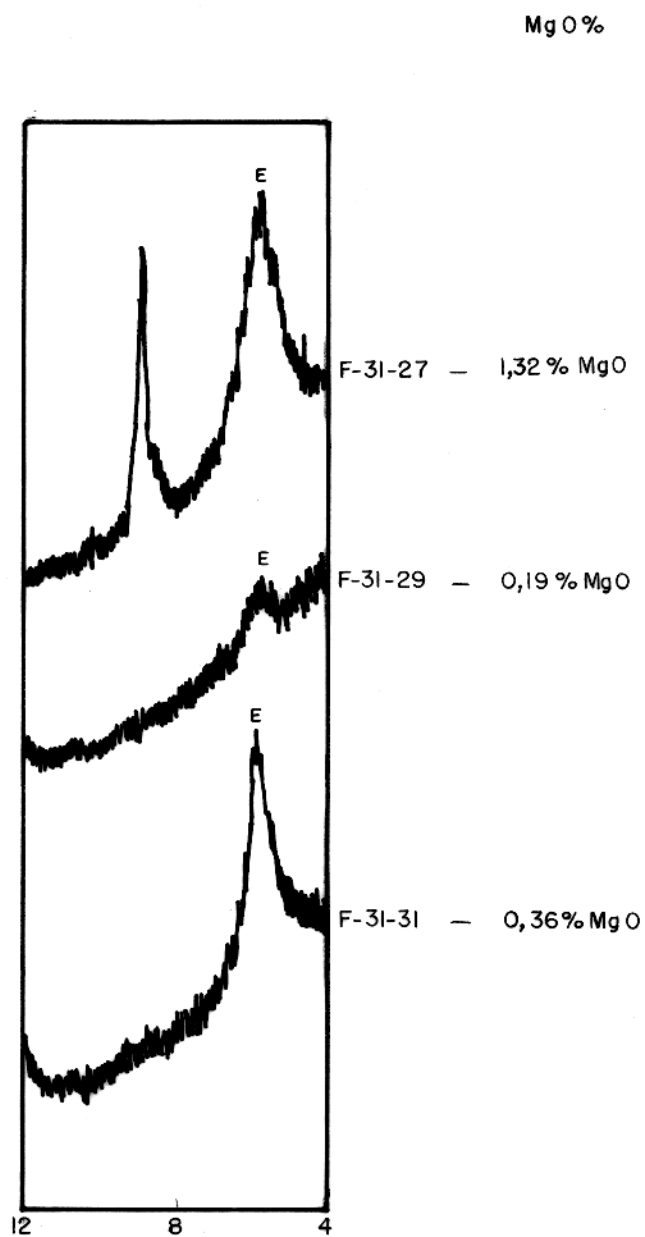
Difratograma de Raios-X mostrando a presença de Vermiculita, assim como a resistência ao fechamento da sua estrutura durante os testes de aquecimento.

ANEXO - 3



Difratogramas de raios-X mostrando o comportamento da caulinita no perfil F-47

ANEXO - 4



Difratogramas de Raios-X mostrando o comportamento da Esmectita em amostras do Perfil F-31 e correspondentes teores de MgO.