



**Universidade Federal do Pará**  
**Centro de Geociências**  
Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica

**“EVOLUÇÃO GEOQUÍMICA DAS CROSTAS LATERÍTICAS E DOS SEDIMENTOS  
SOBREPOSTOS NA ESTRUTURA DE SEIS LAGOS (AMAZONAS)”.**

TESE APRESENTADA POR  
**SANDRA LIA DE ALMEIDA CORRÊA**

Como requisito parcial à obtenção do Grau de Doutor em  
Ciências na Área de **GEOQUÍMICA**.

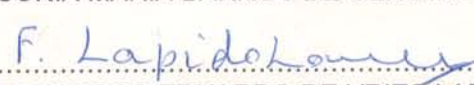
Data de Aprovação 19/03/1996

**Comitê de Tese:**

  
.....  
MARCONDES LIMA DA COSTA (Orientador)

  
.....  
MARIA CRISTINA MOTTA DE TOLEDO

  
.....  
SÔNIA MARIA BARROS DE OLIVEIRA

  
.....  
FRANCISCO EDUARDO DE VRIES LAPIDO-LOUREIRO

  
.....  
HERBERT JOSEF PÖLLMANN

BELÉM

## AGRADECIMENTOS

- Ao Prof. Dr. Marcondes Lima da Costa, orientador deste trabalho;
- À Universidade Federal do Pará, em especial ao Diretor do CCEN, Prof. Dr. Renato Guerra, pelo apoio durante a realização deste trabalho;
- Aos laboratórios de Microsonda Eletrônica da USP, UFBA, UNB, IAG (USP), pelas análises realizadas;
- À Escola Politécnica da USP pelas análises por microscopia eletônica.
- À Profa. Dra. Maria Cristina Motta de Toledo (IG/USP) e ao doutorando (IG/USP) Arnaldo Alcover Neto pelo apoio durante minha permanência em São Paulo;
- Ao Prof. Dr. Moacir Macambira e ao Prof. Dr. Thomas Sheller, pelo acompanhamento e discussão das análises isotópicas realizadas no Laboratório de Geologia Isotópica do Centro de Geociências da UFPa;
- Aos amigos Vanda, Ronaldo, Adriana, Leão, Rômulo, Eliene, Rosiney e Sérgio, por todo o apoio durante o desenvolvimento deste trabalho;
- Aos técnicos dos laboratórios do Centro de Geociências da UFPa, Natalino, Vânia, Walmeire, Lopes e Rosinha, pela colaboração nos trabalhos laboratoriais;
- Aos colegas do Departamento de Química Francisco Assunção, Harry Serruya, Erivan Souza Cruz e Manoel Quaresma da Costa, pela colaboração durante o curso de doutorado;
- Ao secretário do Departamento de Química, Edilson Rodrigues Lopes e aos funcionários da ABQ/PA, Mônica e Juarez, pela colaboração prestada;
- Ao meu amigo Anselmo Monteiro dos Santos (*in memoriam*), por toda colaboração no início deste trabalho;
- E a todos aqueles que colaboraram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

	pg.
<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	i
<b>LISTA DE ILUSTRAÇÕES</b> .....	vii
<b>RESUMO</b> .....	1
<b>ABSTRACT</b> .....	4
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	7
1.1 PROBLEMÁTICA.....	7
1.2 ASPECTOS GERAIS DE COMPLEXOS CARBONATÍTICOS.....	8
1.3 O INTEMPERISMO DE CARBONATITOS E DEPÓSITOS ASSOCIADOS.....	9
1.4 EXEMPLOS CORRELACIONÁVEIS A SEIS LAGOS.....	13
1.5 OBJETIVOS.....	16
<b>2. ASPECTOS GERAIS SOBRE A ÁREA DE TRABALHO</b> .....	17
2.1 LOCALIZAÇÃO.....	17
2.2 ASPECTOS FISIAGRÁFICOS.....	17
2.3 GEOLOGIA REGIONAL.....	20
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	22
3.1 AMOSTRAGEM.....	22
3.2 TRABALHOS DE LABORATÓRIO.....	24

	<b>pg.</b>
<b>3.2.1 Análises Químicas</b> .....	24
<b>3.2.2 Análises Mineralógicas</b> .....	27
<b>3.2.3 Extrações de Fases Minerais</b> .....	29
<b>3.2.4 Microanálises Químicas</b> .....	30
<b>3.2.5 Análises Isotópicas</b> .....	31
<b>3.3 TRATAMENTO ESTATÍSTICO</b> .....	31
<b>4. A CROSTA LATERÍTICA SUPERFICIAL AFLORANTE</b> .....	32
<b>4.1 ASPECTOS GEOLÓGICOS</b> .....	32
<b>4.2 MINERALOGIA</b> .....	34
<b>4.2.1 Minerais de Ferro</b> .....	34
<b>4.2.2 Minerais de Manganês</b> .....	45
<b>4.2.3 Minerais de Titânio</b> .....	49
<b>4.2.4 Fosfatos</b> .....	53
<b>4.2.5 Pirocloro</b> .....	58
<b>4.2.6 Cerianita</b> .....	61
<b>4.2.7 Zircão e Quartzo</b> .....	65
<b>4.2.8 Gibbsita</b> .....	65
<b>4.3 GEOQUÍMICA</b> .....	65
<b>4.3.1 Composição Química</b> .....	65
<b>4.3.2 Elementos Traços</b> .....	69
<b>4.3.2.1 Nióbio</b> .....	69



	<b>pg.</b>
4.3.2.2 Bário, Manganês e Cobalto.....	71
4.3.2.3 Vanádio, Zircônio e Estanho.....	76
4.3.2.4 Escândio.....	78
4.3.2.5 Chumbo e Tório.....	82
4.3.2.6 Ítrio.....	86
4.3.2.7 Molibdênio.....	86
4.3.2.8 Berílio.....	88
4.3.2.9 Cromo, Cobre, Gálio, Boro e Prata.....	88
4.3.2.10 Elementos Terras Raras.....	89
<b>5. O PERFIL LATERÍTICO.....</b>	<b>95</b>
5.1 MINERALOGIA.....	97
5.2 GEOQUÍMICA.....	103
5.2.1 Composição Química dos 90 m de Crosta do Perfil do Furo 1.....	103
5.2.2 Composição Química do Perfil Laterítico Estruturado do Furo 3.....	113
<b>6 SEDIMENTOS LACUSTRES DA BACIA ESPERANÇA.....</b>	<b>128</b>
6.1 SEQÜÊNCIA LITOESTRATIGRÁFICA.....	128
6.2 MINERALOGIA.....	132
6.3 COMPARAÇÃO MINERALÓGICA ENTRE AS CROSTAS SUPERFICIAIS, PERFIS LATERÍTICOS E SEDIMENTOS.....	135

	pg.
6.4 OS MINERAIS LATERÍTICOS.....	136
6.4.1 Grupo da Crandalita.....	136
6.4.2 Oxi-hidróxidos de Mn Amorfos.....	139
6.4.3 Gibbsita.....	139
6.4.4 Caolinita.....	142
6.5 OS MINERAIS PRIMÁRIOS HERDADOS.....	142
6.5.1 Minerais de Titânio.....	142
6.5.2 Pirocloro.....	142
6.5.3 Monazita.....	147
6.6 MINERAIS SEDIMENTAR-DIAGENÉTICOS.....	147
6.6.1 Siderita.....	147
6.6.2 Pirita.....	167
6.6.3 Sulfato de Cálcio.....	168
6.7 GEOQUÍMICA.....	168
6.7.1 Composição Química das Camadas.....	168
6.7.2 Curvas Normalizadas dos ETR Segundo as Camadas.....	177
7 CONCLUSÕES.....	180
7.1 ORIGEM DAS CROSTAS SUPERFICIAIS E DO PERFIL DO FURO 1.....	180
7.2 ORIGEM DO PERFIL DO FURO 3.....	180
7.3 ORIGEM DOS SEDIMENTOS DA BACIA ESPERANÇA E SUAS RELAÇÕES COM OS LATERITOS PRÉ-EXISTENTES.....	180

	<b>pg.</b>
<b>7.3.1 Aspectos Gerais.....</b>	<b>180</b>
<b>7.3.2 Origem da Brecha Carbonática.....</b>	<b>181</b>
<b>7.3.3 Origem da Argila Carbonosa.....</b>	<b>186</b>
<b>7.3.4 Origem do Sapropelito.....</b>	<b>186</b>
<b>7.3.5 Origem da Argila Creme/Solo.....</b>	<b>187</b>
<b>7.3.6 Considerações.....</b>	<b>187</b>
<b>7.4. BRECHA CARBONÁTICA VERSUS CARBONATITO.....</b>	<b>188</b>
<b>7.5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>190</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>191</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>204</b>

## ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES

FIGURAS	Pg.
Figura 1 Distribuição geográfica mundial dos carbonatitos, com base nos dados de WOOLLEY (1989).....	10
Figura 2 Perfil laterítico e evolução mineralógica do complexo alcalino-ultramáfico-carbonatítico de Maicuru. Modificado de COSTA <i>et al.</i> (1991).....	14
Figura 3 Mapa de localização da estrutura de Seis Lagos. Modificado de VIÉGAS FILHO & BONOW (1976).....	18
Figura 4 Mapa geológico da folha NA.19-Z-D, onde destacam-se as estruturas de Seis Lagos. ....	21
Figura 5 Mapa de amostragem da crosta em superfície em Seis lagos. Modificado de VIÉGAS FILHO & BONOW (1976).....	23
Figura 6 Localização das amostras coletadas nos furos de sondagens de Seis Lagos.....	25
Figura 7 Esboço geológico de superfície da estrutura de Seis Lagos. Modificado de VIÉGAS FILHO & BONOW (1976) e ISSLER (1980).....	33
Figura 8 Padrão difratométrico da goethita da crosta de Seis Lagos.....	36
Figura 9 Aspectos microscópicos da goethita e da hematita da crosta de Seis Lagos.....	39
Figura 10 Agregados de cristais de goethita com traços de Nb (MEV).....	40
Figura 11 Goethitas como estruturas de fluxos, portadoras de Nb (MEV).....	41
Figura 12 Goethita fibro-radial em matriz microcristalina (MEV), sendo essencialmente férrica.....	42

<b>FIGURAS</b>	<b>Pg.</b>
Figura 13 Goethita com hábito em rosetas (a) na matriz goethítica (b), e o espectro ao MEV. Amostra CB-24.....	43
Figura 14 Ocorrência de oxi-hidróxidos de Mn em forma arborescente na crosta de Seis Lagos.....	46
Figura 15 Padrão difratométrico da romanechita da crosta de Seis Lagos.....	47
Figura 16 Padrão difratométrico dos minerais de Ti na crosta de Seis Lagos .....	50
Figura 17 Aspectos microscópicos da ocorrência de minerais de Ti na crosta ferruginosa de Seis Lagos.....	51
Figura 18 Padrão difratométrico dos fosfatos do grupo da crandalita da crosta de Seis Lagos.	55
Figura 19 Padrão difratométrico do pirocloro da crosta de Seis Lagos.....	59
Figura 20 Padrão difratométrico da Cerianita de Seis Lagos.....	62
Figura 21 Gibbsita (a) envolvendo cristais de goethita (b).....	66
Figura 22 Médias e variações das concentrações dos elementos maiores nas crostas de superfície de Seis Lagos. N=26.....	67
Figura 23 Diagramas ternários, mostrando a composição química da crosta aflorante em Seis Lagos.....	68
Figura 24 Médias e variações das concentrações dos elementos traços nas crostas de superfície de Seis Lagos. N=26.....	70
Figura 25 Mapa de distribuição dos teores de Nb na área de Seis Lagos.....	71
Figura 26 Diagramas de correlação entre $TiO_2$ e Nb na crosta de Seis Lagos.....	72
Figura 27 Mapa de distribuição dos teores de Ba na área de Seis Lagos.....	73

<b>FIGURAS</b>	<b>Pg.</b>
Figura 28 Mapa de distribuição dos teores de Mn na área de Seis Lagos.....	74
Figura 29 Disgramas de correlação entre Mn, Ba e Co na crosta de Seis Lagos.....	75
Figura 30 Mapa de distribuição dos teores de V na área de Seis Lagos.....	76
Figura 31 Mapa de distribuição dos teores de Zn na área de Seis Lagos.....	78
Figura 32 Diagrama de espalhamento de Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> versus V na crosta de Seis Lagos.....	79
Figura 33 Correlações entre V, Zn, Sn e Ti na crosta de Seis Lagos.....	80
Figura 34 Diagramas de correlação entre Tio <sub>2</sub> , Nb, V e Sn na crosta de Seis Lagos.....	81
Figura 35 Mapa de distribuição dos teores de Sc na área de Seis Lagos.....	82
Figura 36 Mapa de distribuição dos teores de Pb na área de Seis Lagos.....	83
Figura 37 Mapa de distribuição dos teores de Th na área de Seis Lagos.....	83
Figura 38 Correlação entre Pb e Th nas crostas de Seis Lagos.....	85
Figura 39 Correlação linear entre Y, Nd, Sm, Eu, Gd, Dy, Ho, Er, Yb e Lu na crosta de Seis Lagos.....	87
Figura 40 Curvas normalizadas aos condritos de amostras da crosta aflorante - Seis Lagos (AM).....	93
Figura 41 Perfil geológico esquemático da Estrutura de Seis Lagos. Modificado de VIÉGAS FILHO & BONOW (1976).....	96
Figura 42 Distribuição dos minerais ao longo do perfil do furo 1 em Seis Lagos.....	99
Figura 43 Distribuição dos minerais ao longo do perfil do furo 3 em Seis Lagos.....	100
Figura 44 Evolução mineralógica simplificada ao longo do perfil laterítico do furo 3, de Seis Lagos.....	101

<b>FIGURAS</b>	<b>Pg.</b>
Figura 45 Médias e variações das concentrações dos elementos maiores no perfil do furo 1 (crosta).....	104
Figura 46 Distribuição de $TiO_2$ e $Nb_2O_5$ ao longo do perfil do furo 1 em Seis Lagos.....	105
Figura 47 Médias e variações das concentrações dos elementos traços no perfil do furo 1 (crosta).....	106
Figura 48 Distribuição de Ba, Co e MnO ao longo do perfil do furo 1, em Seis Lagos.....	107
Figura 49 Distribuição de Pb e Th ao longo do perfil do furo 1, em Seis Lagos.....	109
Figura 50 Distribuição de Sc e Ce ao longo do perfil do furo 1, em Seis Lagos.....	110
Figura 51 Distribuição de $P_2O_5$ ao longo do perfil do furo 1, em Seis Lagos.....	111
Figura 52 Curvas dos ETR normalizadas aos condritos ( EVENSEN <i>et al.</i> , 1978) das amostras do perfil do furo 1 (crosta).....	115
Figura 53 Comparação entre os teores médios de $SiO_2$ , $Al_2O_3$ , $Fe_2O_3$ e perda ao fogo (PF), ao longo do perfil do furo 3.....	116
Figura 54 Distribuição dos teores médios de $P_2O_5$ , $TiO_2$ , $K_2O$ , $Na_2O$ , MgO, CaO e MnO, segundo os horizontes do perfil do furo 3.....	118
Figura 55 Distribuição de $TiO_2$ e $Nb_2O_5$ ao longo do perfil do furo 3, em Seis Lagos.....	119
Figura 56 Distribuição de $P_2O_5$ , Sr e Pb ao longo do perfil do furo 3, em Seis Lagos.....	120
Figura 57 Distribuição de Y, V, Cr e Ni ao longo do perfil laterítico do furo 3, em Seis Lagos.....	121
Figura 58 Distribuição de $Fe_2O_3$ e MnO ao longo do perfil laterítico do furo 3, em Seis Lagos.....	123
Figura 59 Distribuição de Zn, Cu e Rb ao longo do perfil laterítico do furo 3, em Seis Lagos.....	124

<b>FIGURAS</b>	<b>Pg.</b>
Figura 60 Curvas dos ETR normalizadas aos condritos (EVENSEN et al., 1978) das amostras do perfil do furo 3.....	126
Figura 61 Mapa cintilométrico sobre sedimentos superficiais da Bacia Esperança. Modificado de BONOW & ISSLER (1980).....	129
Figura 62 Perfil lito-estratigráfico da Bacia Esperança. Modificado de BONOW & ISSLER (1980).....	130
Figura 63 Coluna lito-estratigráfica ao longo do furo 1SG-04-AM sobre a Bacia Esperança em Seis Lagos. Modificado de BONOW & ISSLER (1980).....	131
Figura 64 Padrão difratométrico da gibbsita com traços de caolinita (amostra 1,40 m de profundidade). Seis Lagos (AM).....	140
Figura 65 Cristais e espectro (MEV) de gibbsita (a), manchados de goethita (b). Amostra 474,4 m de profundidade.....	141
Figura 66 Cristal e espectro (MEV) de rutilo (a) na matriz carbonática (b).....	143
Figura 67 Cristal e espectro (MEV) de bariopirocloro (a) envolvido por cristais de siderita (b). Amostra 420 m de profundidade.....	145
Figura 68 Cristal de bariopirocloro envolvido por cristais prismáticos de siderita na brecha carbonática (MEV).....	146
Figura 69 Aspectos microscópicos de cristais de siderita, enfatizando o processo de ferruginização dos carbonatos (amostra 388 m).....	148
Figura 70 Aspectos micromorfológicos de cristais de siderita sobrepostos aos óxidos de ferro (MEV).....	149



FIGURAS	Pg.
Figura 71 Cristal de siderita alterando-se para goethita (MEV) em toda sua superfície.....	150
Figura 72 Espectros no infravermelho do carbonato de ferro (amostra 245,6 m) (a) com e sem (b) matéria orgânica.....	153
Figura 73 Padrão termogravimétrico da siderita de Seis Lagos (amostra 245,6 m).....	154
Figura 74 Parâmetros da cela unitária de sideritas diagenéticas e hidrotermais de GIL <i>et al.</i> , (1992), comparados com os parâmetros das de Seis Lagos.....	160
Figura 75 Diagrama isocrônico $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ vs. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ das amostras totais da brecha carbonática e de cristais de siderita (puros e impuros).....	165
Figura 76 Aspectos microscópicos de pirita em matriz goethítica e sua relação com siderita (amostra 358,9 m).....	169
Figura 77 Aspectos micromorfológicos de cristais de pirita e sua associação com siderita (MEV).....	170
Figura 78 Cristais e espectro (MEV) de sulfato de cálcio (a) em matriz carbonática (b).....	171
Figura 79 Diagrama $\text{SiO}_2\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-Al}_2\text{O}_3$ salientando a composição química das camadas da Bacia Esperança.....	176
Figura 80 Curvas dos ETR normalizadas dos condritos (segundo EVENSEN <i>et al.</i> , 1978) de amostras de sedimentos da Bacia Esperança.....	178
Figura 81 Esquema evolutivo para sedimentação no Lago Esperança.....	182
Figura 82 Correlação estatística (Modo Q) entre os materiais lateríticos e lacustres da bacia Esperança.....	183
Figura 83 Diagrama Eh-pH para fases de Fe, segundo JONES & BOWSER (1978).....	185

<b>TABELAS</b>	<b>Pg.</b>
Tabela 1 Mineralizações associadas com lateritos derivados de complexos carbonatíticos.....	11
Tabela 2 Exemplos de ocorrências com depressões que desenvolveram sedimentação lacustre sobre crostas lateríticas derivadas de complexos carbonatíticos.....	15
Tabela 3 Metodologia utilizada na determinação de elementos maiores e traços em amostras geológicas de Seis Lagos.....	26
Tabela 4 Composição mineralógica (% em peso) parcial da crosta de Seis Lagos.....	35
Tabela 5 Parâmetros da cela unitária de goethitas de Seis Lagos (CB-21, CB-104, CB-79 e CB-114), goethitas puras e aluminosas.....	37
Tabela 6 Composição química do plasma formado de oxi-hidróxidos de ferro, obtida por microsonda eletrônica, da crosta de Seis Lagos. Óxidos em % peso.....	44
Tabela 7 Composição química da rocha na qual ocorre romanechita.....	48
Tabela 8 Composição química dos minerais de titânio por microsonda eletrônica (% em peso).....	52
Tabela 9 Parâmetros da cela unitária de ilmenorutilo, rutilo e brookita da crosta de Seis Lagos e da literatura.....	54
Tabela 10 Reflexões de difração de raios-X e suas intensidades relativas para a florencita de Seis Lagos, de várias ocorrências e do JCPDS.....	56
Tabela 11 Composição química média dos fosfatos do grupo da crandalita, obtida por microsonda eletrônica, na crosta de Seis Lagos.....	57
Tabela 12 Comparação das reflexões do pirocloro identificado em Seis Lagos com a pandaíta de Catalão e do JCPDS.....	60

**TABELAS**

**Pg.**

Tabela 13	Principais reflexões de difração de raios-X da cerianita de Seis Lagos e do JCPDS..	63
Tabela 14	Composição mineralógica da amostra total portadora de cerianita, calculada a partir da composição química.....	63
Tabela 15	Composição química do material, no qual foi identificado a cerianita.....	64
Tabela 16	Composição química da cerianita, recalculada a partir da tabela 15.....	64
Tabela 17	Concentrações de elementos traços (ppm) em algumas ocorrências mundiais e a média crustal.....	77
Tabela 18	Concentrações dos elementos terras raras (ppm) em amostras de superfície da crosta laterítica.....	90
Tabela 19	Relações ETRL/ETRP, Ce/Ce* e $(La/Yb)_N$ em amostras da crosta laterítica de Seis Lagos.....	91
Tabela 20	Concentrações dos elementos terras raras (ETR) em ppm, das amostras do perfil do furo 1.....	112
Tabela 21	Relações ETRL/ETRP, $(La/Yb)_N$ e Ce/Ce*, que indicam o fracionamento dos ETR no perfil do furo 1.....	114
Tabela 22	Concentração dos elementos terras raras (ETR) em ppm, das amostras do perfil do furo 3.....	125
Tabela 23	Composição mineralógica média das amostras de calha e pontuais da bacia Esperança.....	134
Tabela 24	Comparações das reflexões dos fosfatos do grupo da crandalita dos sedimentos lacustres com a florencita das crostas superficiais de Seis Lagos e do JCPDS.....	137

<b>TABELAS</b>	<b>Pg.</b>
Tabela 25 Composição química de plasma predominantemente fosfático na matriz da camada argila creme/solo de sedimentos da Bacia Esperança, obtida por microsonda eletrônica.....	138
Tabela 26 Comparações das reflexões do pirocloro dos sedimentos lacustres com o das crostas superficiais e do JCPDS.....	144
Tabela 27 Reflexões das sideritas de Seis Lagos (amostra 388m de profundidade) e do JCPDS.....	152
Tabela 28 Composição química parcial da siderita separada por processos químicos e com estereomicroscópio. Elementos em % (peso).....	156
Tabela 29 Comparação da composição química média (% peso) da matriz carbonática (1) e de um cristal de siderita (2).....	157
Tabela 30 Parâmetros da cela unitária de sideritas hidrotermais, diagenéticas e de Seis Lagos.	159
Tabela 31 Composição isotópica de <sup>13</sup> C de Seis Lagos, de sideritas diagenéticas e de minerais de carbonatitos.....	161
Tabela 32 Composição isotópica de <sup>18</sup> O de Seis Lagos, de sideritas diagenéticas e de minerais de carbonatitos .....	162
Tabela 33 Razões químicas (Rb/Sr) e isotópicas ( <sup>87</sup> Sr/ <sup>86</sup> Sr) em amostras totais e concentrados de siderita da brecha carbonática.....	164
Tabela 34 Composição química média (% em peso) das amostras pontuais e de calha da Bacia Esperança.....	172
Tabela 35 Concentração média dos elementos traços (ppm) das amostras pontuais e de calha da Bacia Esperança.....	173

## RESUMO

O estudo sobre a evolução mineralógica e geoquímica das crostas lateríticas e dos sedimentos sobrepostos na estrutura de Seis Lagos (Amazonas), foi baseado em amostras de crostas lateríticas superficiais e três furos de sondagem. Na caracterização química dos materiais estudados foram empregados métodos clássicos e espectroanalíticos. Na caracterização mineralógica foi utilizado difração de raios-X, microscopia ótica, espectroscopia no infravermelho e termogravimetria (ATD e ATG). Foram efetuadas análises por sistema dispersivo de energia (EDS), que foram aplicados nos estudos micromorfológicos das crostas e sedimentos da Bacia Esperança. Nas amostras de siderita foram determinados os isótopos de  $^{13}\text{C}$  e  $^{18}\text{O}$  e razões isotópicas  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ . Na tentativa de datar as amostras totais e siderita da brecha carbonática, foi utilizado o método Rb/Sr. As características texturais, mineralógicas e geoquímicas observadas nas crostas superficiais e do perfil do furo 1, mostraram origem laterítica para esses materiais. A assinatura carbonatítica das crostas foi indicada pelos minerais como ilmenorutilo, Nb-rutilo, Nb-brookita, pirocloro e monazita, típicos de carbonatitos e rochas associadas e resistentes aos processos lateríticos e pelos teores elevados e anômalos de Nb, ETR, também de Ba, Mn, Th, Co, Zr, Sc, V, Mo e Be. O perfil do furo 3, que se apresentou estruturado em horizontes bem distintos, característicos de perfil laterítico, mostrou composição química-mineralógica indicativa de derivação laterítica a partir de rochas aluminosilicatadas pobres em ferro, como as encaixantes (granitos e gnaisses) de Seis Lagos.

Os sedimentos da bacia Esperança mostraram que tiveram como área fonte os diferentes horizontes dos perfis lateríticos e grande contribuição orgânica vegetal e animal. Os materiais que constituíram a brecha carbonática, foram provenientes das crostas ferruginosas lateríticas dada a semelhança geoquímica entre esses materiais, a presença dos minerais resistentes da crosta

ferruginosa e de minerais típicos de ambiente sedimentar-diagenético, essencialmente ferrosos como pirita e siderita. A argila carbonosa demonstrou ter como área fonte os horizontes argilosos lateríticos como aqueles do perfil do furo 3 e, que a deposição desta camada ocorreu em momento de menor subsidência da bacia Esperança, quando as crostas ferruginosas que estavam situadas em níveis mais elevados tinham sido erodidas e os horizontes argilosos estavam expostos. A camada de sapropelito indicou a instalação de um ambiente ácido redutor prolongado, dada pela sua elevada espessura, que sua constituição química-mineralógica foi contribuída também pelos lateritos, principalmente, dos horizontes argilosos, e que a formação de pirita foi a mesma daquela da brecha carbonática. A camada de argila creme-solo foi constituída também dos horizontes argilosos, como indicou sua composição química-mineralógica.

Na brecha carbonática da seqüência litológica da bacia Esperança não foram encontrados minerais típicos de carbonatitos, a exceção dos resistatos (ilmenorutilo, Nb-rutilo, Nb-brokita, pirocloro e monazita) e siderita não comuns nessas rochas, mas minerais lateríticos como gibbsita e grupo da crandalita. As filiações geoquímicas encontradas entre crostas e brecha carbonática e argilas/sapropelito e horizontes argilosos lateríticos foram notáveis. O não alinhamento dos pontos analíticos no diagrama isocrônico ( $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$  vs.  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) obtidos tanto das amostras totais como de cristais de siderita da brecha carbonática não foram compatíveis com rochas homogêneas, como seriam esperados para carbonatitos, ao contrário do espesso pacote sedimentar. Os resultados mineralógicos, geoquímicos e isotópicos demonstraram que a brecha carbonática não corresponde à rocha carbonatítica, e que os sedimentos da bacia Esperança incluindo a brecha carbonática tiveram como área fonte principal os diferentes horizontes dos perfis lateríticos, onde a crosta ferruginosa foi a fonte de grande parte dos sedimentos da base da coluna (base da bacia, provavelmente) e os horizontes argilosos das camadas superiores. Isso permitiu que em toda a

extensão da coluna, fosse transferida a assinatura geoquímica da fonte primária geradora dos lateritos que foram rochas carbonatíticas, e preservada nos lateritos.

## ABSTRACT

The study of the mineralogical and geochemical evolution of the lateritic crusts and the overlying sediment in the structure of Seis Lagos (Amazonas State) has been based on the analyses of samples from the surface lateritic crusts and from three boreholes as well. In the chemical characterization of the examined material, it has been used both classic and spectroanalytic methods, while in the mineralogical characterization, x-ray diffraction, optical microscopy, infrared spectroscopy and thermogravimetry (DTA and DTG) have been employed. Energy dispersive system analyses (EDS) have been performed and applied to the micromorphologic study of the crusts and sediments from the Esperança Basin. In siderite samples, it has been determined  $^{13}\text{C}$  and  $^{18}\text{O}$  isotopic contents as well as the  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  isotopic ratios. The Rb/Sr method has been used in an attempt to date whole samples and siderites from the carbonatic breccias. The textural, mineralogical and geochemical features observed, both in the surface crusts and in the profile of the borehole number 1, point to a lateritic origin for those materials. The carbonatitic signature of the crusts is indicated by typical minerals of carbonatites and associated rocks such as ilmenorutile, Nb-rutile, Nb-brookite, pyrochlore and monazite, which are resistant to lateritic processes; by high and anomalous contents of Nb, REE, as well as, Mn, Th, Co, Zr, Sc, V, Mo and Be. The profile of the borehole number 3 is arranged in well distinct horizons, what is characteristic of lateritic profiles, shows chemical and mineralogical compositions indicative of a lateritic derivation from aluminosilicatic iron-poor rocks, as those of the wall rocks (granites and gneisses) of Seis Lagos. The sediments of the Esperança Basin show evidence of being derived from the different horizons which make up the lateritic profiles, with a significant vegetable- and animal-derived organic contribution. The materials which constitute the carbonatic breccia are thought to be originated from lateritic ferruginous crust due to the existing geochemical similarities among them, to the



presence of resistate minerals of the ferruginous crust and to the presence of essentially iron-bearing minerals, typical of sedimentary-diagenetic environment, such as pyrite and siderite. The carbonaceous clay proved to be derived from lateritic clayey horizons, as those of the profile of the borehole 3, and the deposition of this layer took place in a moment of lower subsidence rate in the Esperança Basin, when the ferruginous crust, positioned at higher levels, were being eroded and the clayey horizons were exposed. The sapropelite layer indicates, considering its large thickness, that a development of a long-lasting acid and reducing environment might have taken place; its chemical and mineralogical composition received contributions from laterites, mainly from the clayey horizons; and the pyrite formation has been the same of that of the carbonatic breccia. The beige-colored clay bed, as it is indicated by its chemical and mineralogical composition, was also formed by clayey-horizons material.

In the carbonatic breccia of the Esperança Basin, typical carbonatite minerals have not been found, except for the resistates (ilmenorutile, Nb-rutile, Nb-brookite, pyrochlore and monazite) and siderite, where the last one is not a common constituent of those rocks. Lateritic minerals, however, such as gibbsite and those of the crandallite group have been found. The geochemical filiation reported among crusts, carbonatic breccias, clay/sapropelite and clayey lateritic horizons is noteworthy. The nonalignment of the points plotted in isochronic diagram ( $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$  vs.  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ), obtained either from the whole sample or the individual siderite analyses of the carbonatic breccia are not compatible with homogenous rocks, as it would be expected for carbonatites, although they are with the thick sedimentary pile. The mineralogical, geochemical and isotopic data demonstrate that the carbonatic breccia composition does not correspond to that of the carbonatites and thus the sediments of the Esperança Basin, including the carbonatic breccia, might have had the various horizons of the lateritic profiles as their source, where the ferruginous crust might have largely been the source for the sediments of the base of column (probably the

basal portion of the basin) as well as the clayey horizons of the upper beds might have been. This made possible that, along all the extension of the stratigraphic column, the geochemical signature of the carbonatitic source rock, from which the laterites were generated, was transferred to the sedimentary rocks as well as it was also preserved in the laterites.

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 PROBLEMÁTICA

A estrutura de Seis Lagos, morfologicamente representada pelo Morro de Seis Lagos e ainda por dois outros pequenos morrotes ao norte desta, foi reconhecida geologicamente pelo então Projeto RADAM em 1975, quando fazia mapeamento geológico ao milionésimo na região Amazônica, a serviço do DNPM. A forma subcircular da estrutura maior (o morro) e o seu modo de ocorrência inusual nesta região, fez com que nesse mesmo ano se iniciasse um projeto de reconhecimento e de detalhe sob a incubência da CPRM-SUREG-Manaus dentro do Projeto Seis Lagos, envolvendo mapeamento geológico, levantamentos geofísicos e geoquímicos, e sondagens rotativas.

A estrutura de Seis Lagos é recoberta na sua quase totalidade por espessa crosta laterítica ferruginosa com teores anômalos de Nb e ETR. Sobre esta crosta estabeleceram-se depressões onde algumas foram assoreadas com sedimentos lacustres, outras ainda constituem lagos ou áreas pantanosas (VIÉGAS FILHO & BONOW, 1976; CORRÊA *et al.*, 1988). Bacias lacustres sobre lateritos são reportadas por COSTA (1990 a) na ocorrência de Jandiá (NE do Pará). Os lateritos geralmente formam o substrato desses ambientes de sedimentação, em várias partes da região Amazônica, como em Carajás, Maicuru, Maraconá (Pará) e em Seis Lagos (São Gabriel da Cachoeira-Amazonas) (COSTA, 1990 a). BARDOSSY (1983) também destaca a frequência de coberturas sedimentares lacustres e pantanosas sobre depósitos lateríticos, em especial os bauxíticos. Sobre corpos lateríticos derivados de estruturas circulares de complexos carbonatíticos ou sugestivos deles, além daquelas amazônicas, conhece-se vários exemplos no mundo, como em Mt. Weld, na Austrália (LOTTERMOSER, 1990), Matongo-Bandaga, na República de Burundi, Bonga, em Angola (MARIANO, 1989), e mais no Brasil como Catalão (GO) e Araxá (MG) (CARVALHO, 1974; ISSA FILHO *et al.*, 1984).

Embora sejam frequentes estes exemplos de coberturas sedimentares sobre crostas lateríticas, poucos trabalhos foram realizados no sentido de identificar as relações geológicas entre os lateritos e a sedimentação lacustre e as pantanosas, cujos registros (sedimentos, conteúdos florísticos e faunísticos) poderão fornecer dados imensuráveis para o entendimento da evolução geológica não só dos lateritos como dos eventos que lhe sucederam. Seis Lagos, pela riqueza em lateritos complexos derivados de estruturas circulares tipo carbonatitos sobrepostas por várias bacias lacustres, onde uma foi detalhadamente amostrada, se apresentou como uma oportunidade para realizar estes estudos.

## 1.2 ASPECTOS GERAIS DE COMPLEXOS CARBONATÍTICOS

Vistos em planta os complexos carbonatíticos podem ser circulares, elípticos e lineares. Ocorrem como corpos maciços (plugs, stocks), diques, veios, como corpos intrusivos simples (Barreiro, Sukulu, Mabounié, Panda Hill) ou complexos (Tororo, Phalaborwa, Ondurakorume, Jacupiranga) (WOOLEY, 1989; GOMES *et al.*, 1990).

Os complexos carbonatíticos têm distribuição mundial (Figura 1), ocupando terrenos do Proterozóico até o Cenozóico (BIONDI, 1986). Segundo HEINRICH (1980), os mais velhos são aqueles de Phalaborwa, na África do Sul (1100 a 2000 Ma), Lackner Lake e Bancroft, no Canadá (1090 Ma) e Mountain Pass, na Califórnia (900 a 1000 Ma). No Brasil, são considerados Pré-cambrianos, as ocorrências Angico dos Dias, na Bahia (2011 Ma, U/Pb) e Mutum, no Pará (1026 Ma, K/Ar), ficando a maioria no Mesozóico (GOMES *et al.*, 1990). Segundo os dados de ULBRICH & GOMES (1981), as idades (K/Ar) dos complexos brasileiros variam de 65 a 130 Ma. Na Amazônia, a idade (Rb/Sr) do complexo alcalino-ultramáfico-carbonatítico de Maicuru é de  $589 \pm 18$  Ma (COSTA *et al.*, 1991).

Os complexos alcalino-carbonatíticos podem hospedar importantes depósitos e jazidas minerais de Nb, Ti, Ba, ETR, P, U e Cu (BARRON, 1982; LIMA, 1982; RODRIGUES & LIMA, 1984; REEDMAN, 1984; LAVAL *et al.*, 1988; MARIANO, 1989; LOTTERMOSER, 1990), conforme mostra a Tabela 1. A maioria dessas mineralizações é encontrada também no perfil de alteração intempérica (perfis lateríticos), formados sobre esses complexos, podendo atingir dezenas a centenas de metros de profundidade. No Brasil são conhecidas importantes jazidas de Nb, Ti e P, em Araxá, Salitre, Tapira, Catalão, Jacupiranga (SILVA *et al.*, 1979; RODRIGUES & LIMA, 1984), Seis Lagos, Maicuru, Maraconá (JUSTO & SOUZA, 1984; FONSECA & RIGON, 1984; LEMOS & COSTA, 1987; LEMOS & COSTA, 1989; LEMOS, 1990; COSTA *et al.*, 1991; ANGÉLICA & COSTA, 1993), tanto nas rochas sãs como no perfil de intemperismo.

### 1.3 O INTEMPERISMO DE CARBONATITOS E DEPÓSITOS ASSOCIADOS

Vários complexos carbonatíticos especialmente aqueles que hoje situam-se na faixa intertropical, apresentam-se recobertos parcial ou totalmente com manto de intemperismo, chegando a desenvolver espessos perfis lateríticos. Os exemplos estão especialmente na América do Sul (Muri, Maicuru, Seis Lagos, Catalão, Araxá, Jacupiranga), África (Sukulu, Mabounié, Mrima Hill) e Austrália (Mt. Weld). No mapa da Figura 1 estão indicados os nomes dos complexos recobertos por manto de intemperismo. A composição litológica desses complexos à base de rochas constituídas de silicatos ferromagnesianos e carbonatos, muito susceptíveis ao intemperismo químico certamente tem contribuído para extensiva e profunda alteração intempérica desses complexos. É sobre esses complexos que se encontram por sinal os mais espessos perfis de alteração intempérica (SILVA *et al.*, 1979; ISSA FILHO *et al.*, 1984; RODRIGUES & LIMA, 1984).

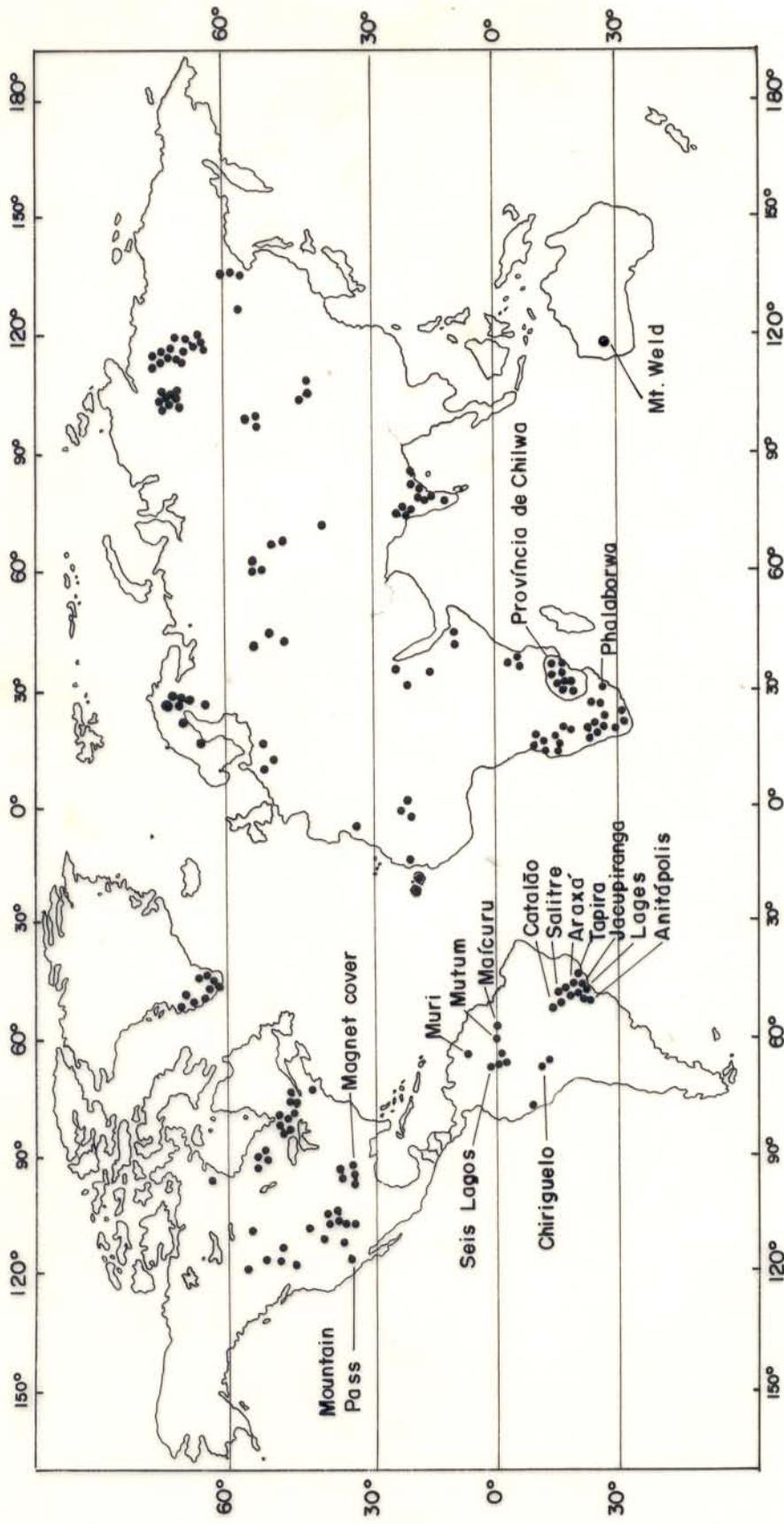


Figura 1 - Distribuição geográfica mundial dos carbonatitos, com base nos dados de WOOLLEY (1989).

Tabela 1 - Mineralizações associadas com lateritos derivados de complexos carbonatíticos

<b>Depósito</b>	<b>Mineralizações</b>	<b>Referências</b>
Mabounié/Gabão	Nb e P	LAVAL <i>et al.</i> (1988)
Sukulu/Uganda	Nb	REEDMAN (1984)
Mrima Hill/Quênia	ETR	DEANS (1978)
Sokli/Finlândia	P	VARTIAINEN & PAARMA (1979)
Ngualla/Tanzânia	Nb	MARIANO (1989)
Mt. Weld/Austrália	Nb	LOTTERMOSER (1990)
Bonga/Angola	Nb	MARIANO (1989)
Lueche/Zaire	Nb	MARIANO (1989)
Matongo-Bandaga/Burundi	Nb	MARIANO (1989)
Catalão I/GO	Nb, Ti e ETR	VALARELLI (1971); CARVALHO (1974)
Salitre/MG	Ti	RODRIGUES & LIMA (1984)
Tapira/MG	Ti, ETR e Nb	RODRIGUES & LIMA (1984)
Araxá/MG	Nb	ISSA FILHO <i>et al.</i> (1984)
Maicuru/PA	Ti e P	LEMON (1990); ANGÉLICA (1990); COSTA <i>et al.</i> (1991); ANGÉLICA & COSTA (1993)
Maraconá/PA	Ti	FONSECA & RIGON (1984)
Anitápolis/SC	P	RODRIGUES & LIMA (1984)
Jacupiranga/SP	P	DEANS (1978); RODRIGUES & LIMA (1984)
Juquiá/SP	P	ALCOVER NETO & TOLEDO-GROKE (1989); ALCOVER NETO & TOLEDO (1993); ALMEIDA <i>et al.</i> (1994).
Mato Preto/PR	ETR, Th e P	LAPIDO LOUREIRO & TAVARES (1983); RODRIGUES & LIMA ((1984)
Ipanema/SP	P	RODRIGUES & LIMA (1984)
Poços de Caldas/MG	U, ETR e Th	RODRIGUES & LIMA (1984)
Barra do Rio Itapirapuã/SP	ETR	LAPIDO LOUREIRO & TAVARES (1983); RODRIGUES & LIMA (1984)

O manto de intemperismo laterítico sobre complexos carbonatíticos ao contrário de outras litologias, é muito complexo do ponto de vista geológico, mineralógico e geoquímico. As variações são muito grandes tanto lateral como verticalmente. Mesmo assim esses complexos quando intemperizados e, não modificados por intensa erosão, apresentam em geral em superfície um encouraçamento parcial ou total (crostas) à base de oxi-hidróxidos de ferro, descrevendo um relevo abaulado, irregular e mesmo cárstico como Mt. Weld (Austrália), Bonga (Angola), Matongo-Bandaga (Burundi), Mrima Hill (Quênia). Essas crostas podem alcançar centenas de metros de espessura como Muri-Suriname, Seis Lagos-AM, Maicuru-PA (COSTA, 1990 b). São em geral fortemente magnéticas (Maicuru) (LEMOS, 1990) e ou radioativas (Seis Lagos, Muri) (VIÉGAS FILHO & BONOW, 1976). Minerais incomuns de óxidos-hidróxidos de Mn, ETR, Ti, Nb, fosfatos de Ca, Sr, Ba, ETR, U, entre outros ocorrem nessas crostas (FORMOSO *et al.*, 1989; MARIANO, 1989; COSTA, 1990 b). Sob as crostas desenvolvem-se em geral espesso horizonte saprolítico extremamente complexo em função das litologias afetadas, como rochas ultramáficas (piroxenitos, glimeritos, dunitos), carbonáticas (carbonatitos) e alcalinas (sienito, traquitos, fonólitos). A espessura desse horizonte pode assim variar de unidades a várias dezenas de metros, que além da natureza litológica também depende das condições ambientais reinantes e do tempo de atuação nos mesmos. O quimismo e a mineralogia desse horizonte saprolítico é por conseguinte também muito complexo. Minerais herdados (ilmenita, magnetita, pirocloro, apatita, zircão, bastnaesita, monazita, xenotima, micas) convivem com minerais neoformados, desde argilominerais simples (1:1) a complexos (2:1) na estrutura e no quimismo, a várias espécies de aluminofosfatos (Ca, Ba, Sr, ETR, Cu), de oxi-hidróxidos de Fe, Mn, ETR, Nb, Ti, que refletem a natureza complexa do substrato (FORMOSO *et al.*, 1989; MARIANO, 1989; COSTA, 1990 b). No contato da zona superior do horizonte saprolítico com a crosta ferruginosa, localmente,



desenvolvem-se seções ou mesmo horizonte rico em aluminofosfatos e hidróxidos de alumínio, a exemplos de perfis lateríticos mais comuns como aqueles bauxíticos e fosfáticos (Carajás, Maicuru) (LEMOS & VILLAS, 1983; KOTSCHOUBEY & LEMOS, 1985;; LEMOS, 1990; COSTA *et al.*, 1991; ANGÉLICA & COSTA, 1993). A Figura 2, a partir de um exemplo isolado da Amazônia, ilustra esquematicamente um perfil laterítico desenvolvido sobre complexo carbonatítico. Essa complexidade de perfis lateríticos desenvolvidos sobre complexos carbonatíticos tem despertado interesse dos pesquisadores desde muito tempo (EBY, 1973; DEANS, 1978) e até hoje vem sendo investigada ainda com maior intensidade. A frequência de bacias lacustres e sedimentos lacustres sobre o manto de intemperismo desenvolvidos sobre esses complexos, e não somente sobre eles, abre perspectivas para se conhecer a evolução global da região em que se insere a estrutura, pelo menos desde a formação dos lateritos.

#### 1.4 EXEMPLOS CORRELACIONÁVEIS A SEIS LAGOS

Em termos gerais, estruturas circulares com crostas lateríticas e recobertas parcialmente com sedimentos lacustres são reportados em vários locais (Tabela 2). Os exemplos mais proeminentes são conhecidos em Mt Weld (LOTTERMOSER, 1990) e Catalão I (CARVALHO, 1974).

Em Mt. Weld, os sedimentos acumulados sobre a crosta laterítica ferruginosa, contém minerais provenientes desta crosta, como pirocloro, monazita, fosfatos do grupo da crandalita e cerianita (LOTTERMOSER, 1990). Também foram encontrados vestígios de microplantas, radículas de plantas e grãos de quartzo detrítico (Willet *et al. apud* LOTTERMOSER, 1990).

Os sedimentos argilosos das depressões em Catalão I, são possivelmente de idade Terciária (CARVALHO, 1974). Uma delas conhecida como Lagoa Seca, contém caolinita e cristais de

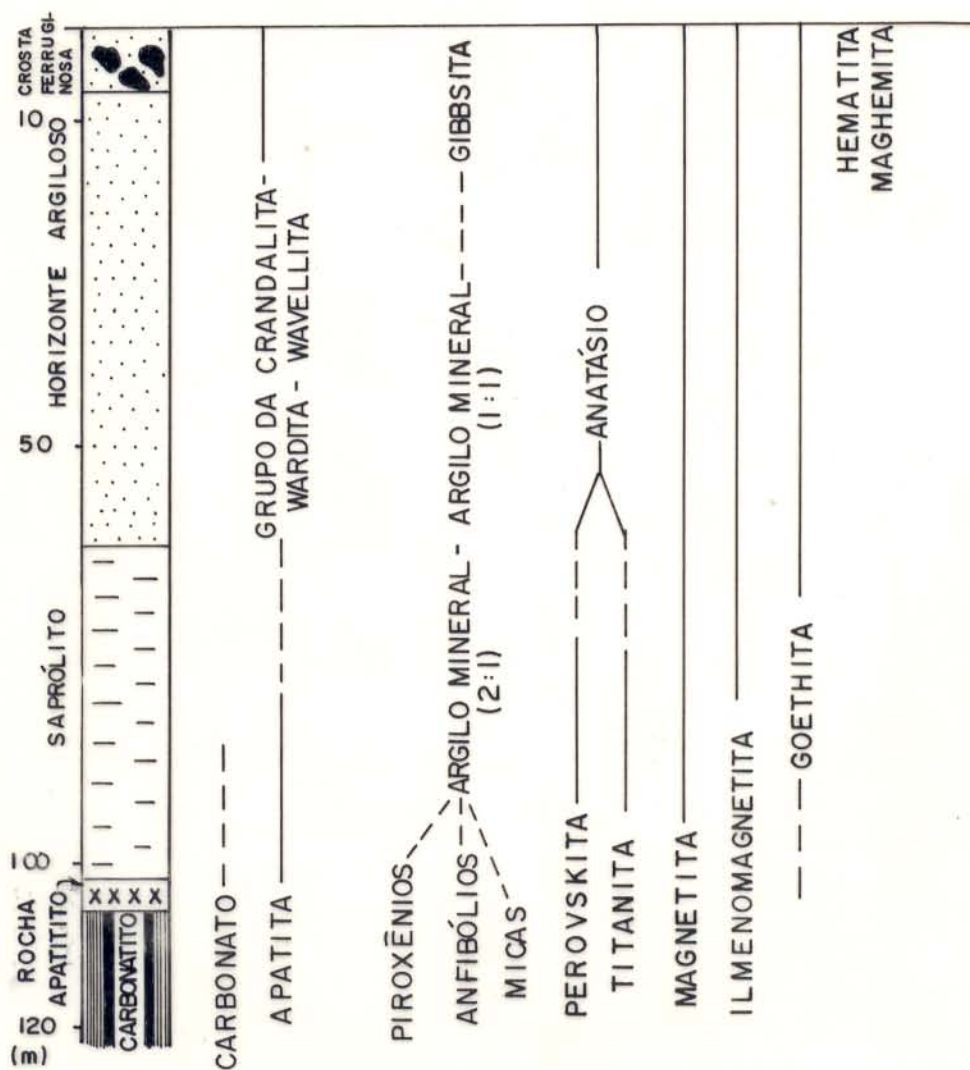


Figura 2 - Perfil laterítico e evolução mineralógica do complexo alcalino-ultramáfico-carbonatítico de Maicuru. Modificado de COSTA et al. (1991).

Tabela 2 - Exemplos de ocorrências com depressões que desenvolveram sedimentação lacustre sobre crostas lateríticas derivadas de complexos carbonatíticos.

Ocorrência	Fonte
Mrima Hill (Quênia)	MARIANO (1989)
Bonga (Angola)	MARIANO (1989)
Chiriguelo (Paraguai)	MARIANO (1989)
Matongo-Bandaga (Burundi)	MARIANO (1989)
Cerro Impacto (Venezuela)	MARIANO (1989)
Mt. Weld (Austrália)	LOTTERMOSER (1990)
Twareitau (Guyana)	MARIANO (1989)
Araxá (MG)	ISSA FILHO <i>et al.</i> (1984)
Catalão I (GO)	CARVALHO (1974)

vivianita. Numa outra depressão, completamente alagada, que constitui uma das cabeceiras do Córrego do Chapadão, os sedimentos argilosos são de origem recente e ricos em matéria orgânica (CARVALHO, 1974).

Embora não derivadas de carbonatitos, as espessas crostas lateríticas da região de Carajás contém inúmeras bacias lacustres, com sedimentos no fundo. Esses sedimentos em um lago da Serra Sul, foram pesquisados por SOUBIÉS *et al.*, (1991), apresentam idade de aproximadamente 50.000 anos A. P., e são constituídos de siderita, quartzo, goethita, caolinita, illita e minerais da crosta laterítica, como anatásio e rutilo. Em Seis Lagos o pacote rochoso sondado pela CPRM na área correspondente à Bacia Esperança foi investigado parcialmente por ISSLER (1980), BONOW & ISSLER (1980), que concluíram como sedimentos apenas os primeiros 73 m (as argilas cremes e o sapropelito) e admitiram a sequência carbonática como sendo carbonatito.

## 1.5 OBJETIVOS

Considerando a complexidade e a abundância de lateritos derivados de estruturas circulares tipo carbonatitos, sobrepostas por várias bacias lacustres, Seis Lagos surgiu como um exemplo para realizar estudos no sentido de identificar as relações geológicas entre os lateritos e sedimentos lacustres. Dentro deste contexto, foi proposto um trabalho de cunho geoquímico para identificar as relações entre os materiais lateríticos e lacustres. Neste trabalho pretende-se com base nos dados geológicos, mineralógicos, químicos e isotópicos:

- a) qualificar a natureza da crosta laterítica ferruginosa, quanto às rochas que deram origem a sua formação;
- b) qualificar a natureza dos sedimentos da bacia Esperança;
- c) estabelecer correlações entre crosta laterítica ferruginosa e os sedimentos da bacia Esperança;
- d) propor um modelo de evolução geoquímica das crostas e dos sedimentos lacustres.

## 2 ASPECTOS GERAIS SOBRE A ÁREA DE TRABALHO

### 2.1 LOCALIZAÇÃO

A estrutura geológica de Seis Lagos conhecida geograficamente como Morro de Seis Lagos, está situada no município de São Gabriel da Cachoeira (noroeste do Estado do Amazonas), na região do Alto Rio Negro (Figura 3). Da cidade de São Gabriel da Cachoeira, Seis Lagos pode ser alcançado através da rodovia BR-210 (São Gabriel da Cachoeira-Cucuí) até chegar às margens do igarapé Iá-Mirim, afluente do igarapé Iá pela margem direita. O acesso fluvial à borda do morro principal é feito utilizando-se pequenas embarcações a remo, num percurso de aproximadamente 2 horas. O mesmo percurso pode ser feito por trilha terrestre de difícil localização e movimentação. São Gabriel da Cachoeira está ligada a Manaus por via aérea e fluvial.

A área em que se encontra a estrutura de Seis Lagos, insere-se geograficamente, na Folha NA.19-Z-D-V (coordenadas geográficas: 0°00' e 0°30' N, 66°30' e 67°00' W).

### 2.2 ASPECTOS FISIOGRAFICOS

O relevo da região onde se situa a estrutura é quase plano, ligeiramente ondulado, rebaixado, esculpido sobre o Complexo Guianense, com altitude média de 75 m. Neste relevo sobressaem-se formas tipo pão de açúcar sobre as rochas granitoides desse Complexo e, isoladamente a estrutura de Seis Lagos, que atinge altitude máxima de 360m. Além dessa estrutura, ocorrem duas outras bem menores situadas ao norte da maior.

A estrutura de Seis Lagos de contorno superficial, quase circular, tem cerca de 6 km, no seu eixo maior que está orientado para NE-SW. A superfície dela na encosta e no topo é muito irregular, dada por conjunto de depressões e morros. Nessa superfície foram observadas 11

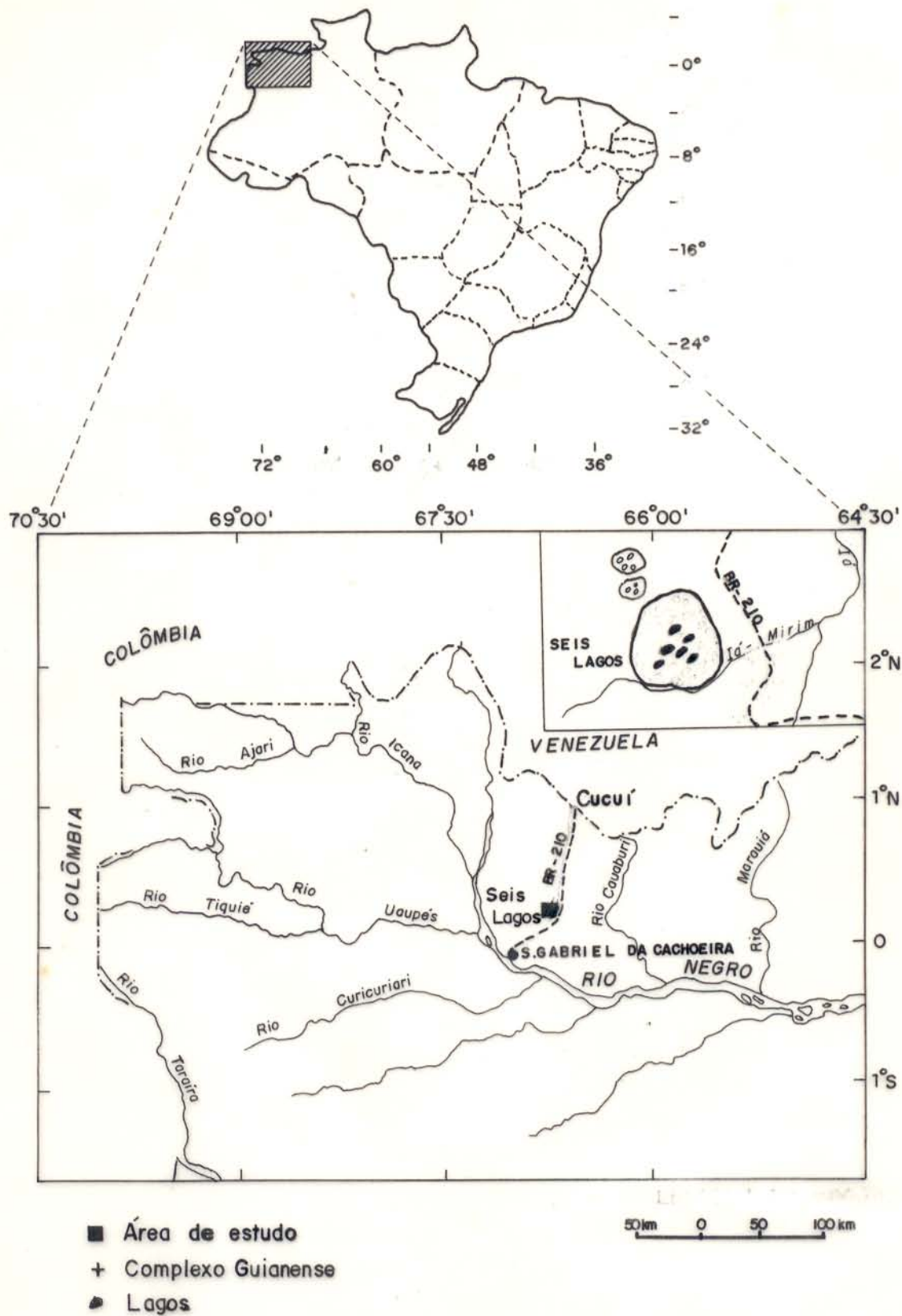


Figura 3 - Mapa de localização da estrutura de Seis Lagos. Modificado de VIÉGAS FILHO & BONOW (1976).

depressões já assoreadas, enquanto outras 6 são ainda lagos ativos. A área denominada Esperança, temporariamente ainda acumula água e é coberta com vegetação, formando brejos lamacentos.

O clima atual é tropical úmido chuvoso, sem estações definidas. Em São Gabriel da Cachoeira, a precipitação média anual é de 2.900 mm, distribuída por quase todo o ano, e as temperaturas anuais apresentam isotermas entre 24 e 26° C (ROESSING *et al.*, 1976).

A vegetação regional é típica de floresta equatorial aberta, apresentando grandes árvores, muito dispersas, com frequentes grupamentos de palmeiras (buritiranas) e elevado número de fanerófitas sarmentosas (cipós), que circundam as árvores e recobrem por completo o estrato inferior (SILVA *et al.*, 1976).

Na estrutura de Seis Lagos, a vegetação mais comum é do tipo esclerófito arbustiva, a qual se desenvolve notadamente, nos locais de ocorrência de canga. A altura média das árvores nesses locais não ultrapassa sete metros. Nas encostas, é comum uma vegetação rasteira entremeada com árvores de porte médio (SILVA *et al.*, 1976).

A área já foi palco de vários incêndios naturais, impedindo o desenvolvimento contínuo da vegetação.

A drenagem na região apresenta cursos d'água adaptados às estruturas geológicas (falhas ou fraturas) (ROESSING *et al.*, 1976). Segundo VIÉGAS FILHO & BONOW (1976), os igarapés juntos ao morro, mostram três tipos principais de padrão de drenagem: (1) radial centrífuga, observada na encosta oeste da estrutura; (2) radial centrípeta, característica das depressões da estrutura; (3) anelar, como do igarapé Iá-Mirim, que circunda a estrutura.

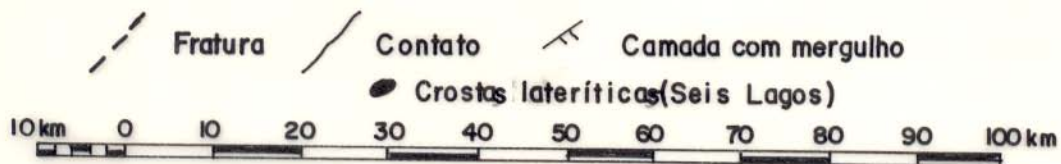
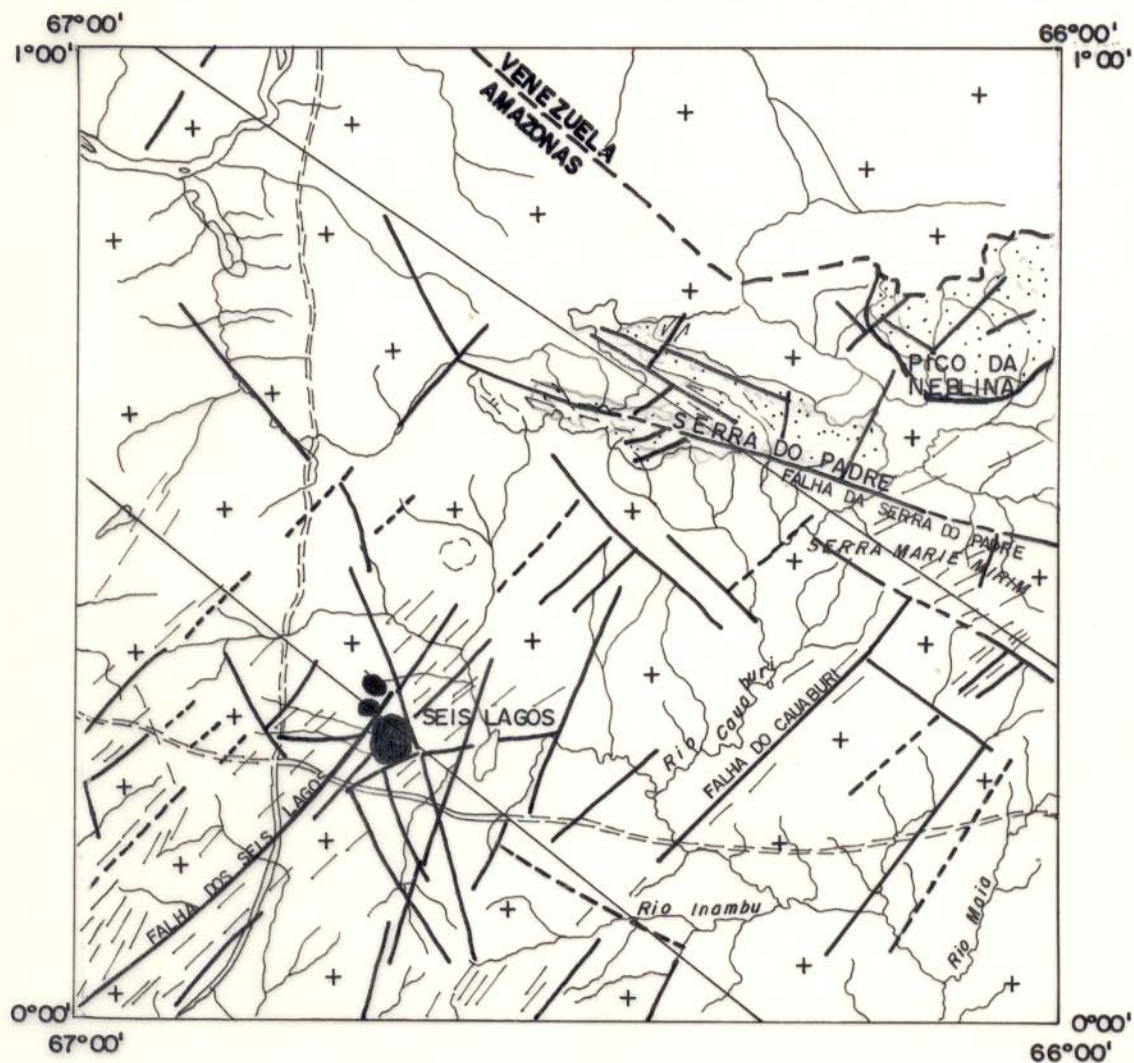
### 2.3 GEOLOGIA REGIONAL


Segundo VIÉGAS FILHO & BONOW (1976) a região do Alto Rio Negro onde se localiza Seis Lagos, é constituída por rochas representadas, predominantemente, por migmatitos e gnaisses, pertencentes ao Complexo Guianense, que estão recobertas, em parte, por sedimentos conglomeráticos e areníticos da Formação Roraima, que é posicionada no Proterozóico (Figura 4). A estrutura de Seis Lagos se situa na forma de interseção de grandes falhamentos NE-SW e NW-SE. Segundo JUSTO & SOUZA (1984), a estrutura de Seis Lagos deve ter se instalado no Mesozóico.

No âmbito da Folha NA.19-Z-D, onde a Formação Roraima está representada, já na região limítrofe Brasil-Venezuela, encontram-se imensos platôs, escarpas e picos, dos quais destacam-se o Pico da Neblina e a Serra do Padre. Seis lagos situa-se na área de domínio do Complexo Guianense, bastante arrasada.

Os principais “trends” estruturais têm orientação NW-SW, secundados por outros N-S. No local de maior intensidade de intercruzamento destas falhas é que estão localizadas as intrusivas alcalinas/carbonatíticas, como Seis Lagos (JUSTO & SOUZA, 1984).






**COMPLEXO GUIANENSE** - GNAISSES, MIGMATITOS, ANFIBOLITOS, GRANITOS, GRANODIORITOS, QUARTZO DIORITOS E DIORITOS, SINTECTÔNICOS.



**GRUPO RORAIMA** - ARENITOS ORTOQUARTZÍTICOS, CONGLOMERADOS, ARCÓSEOS, SERICITA QUARTZITOS E FILONITOS ASSOCIADOS A ZONAS DE FALHAS.

Figura 4 - Mapa geológico da folha NA.19-Z-D, onde destacam-se as estruturas de Seis Lagos.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 AMOSTRAGEM

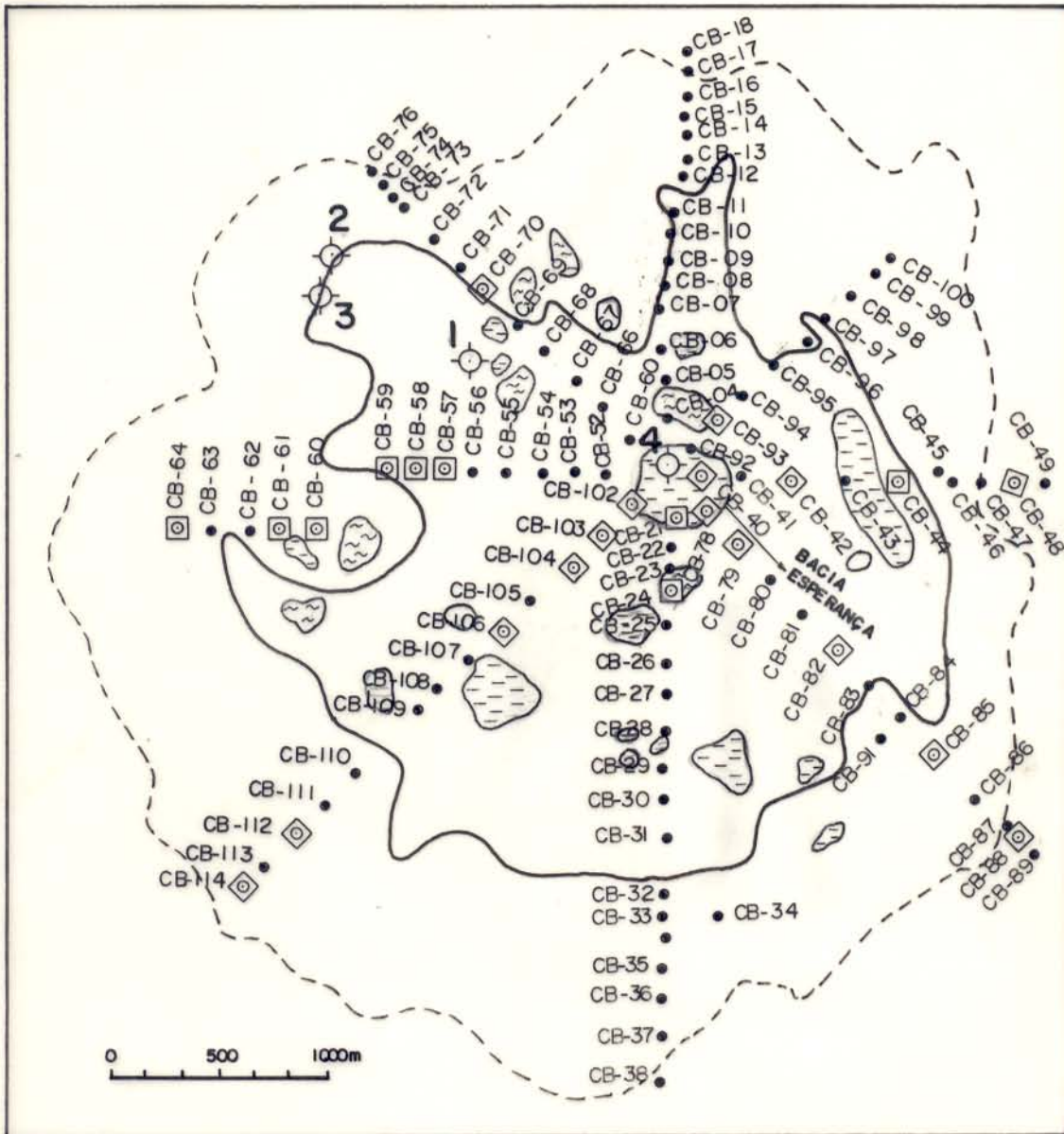
As amostras utilizadas no presente estudo foram obtidas da seguinte maneira:

Ainda em 1984, a CPRM-SUREG-Manaus cedeu alíquotas dos furos denominados 1, 3 e 4, ao então Núcleo de Ciências Geofísicas e Geológicas (NCGG), hoje Centro de Geociências (CG) da Universidade Federal do Pará (UFPA). Em 1989 essa mesma empresa cedeu amostras da crosta superficial ao professor Marcondes Lima da Costa, orientador deste trabalho.

Em janeiro de 1992, foi realizada viagem ao campo, com nova coleta de amostras. Assim, foram coletadas amostras nas bordas dos lagos do Dragão, da Pata e do Malaquita. Nessa mesma época, o Departamento Nacional da Produção Mineral-DNPM (Distrito de Manaus), por solicitação do prof. Marcondes, cedeu alíquotas de amostras do testemunho de sondagem do furo 4, realizado na Bacia Esperança em 1975. As amostras foram tomadas em toda a extensão do furo de sondagem, que é de 493 m de profundidade.

As amostras de sedimentos do furo 4 cedidas pela CPRM-Manaus em 1984, eram representativas do intervalo de 5 metros, e por isso são aqui denominadas de “amostras de calha”, e as cedidas pelo DNPM-Manaus em 1992, correspondem as amostras pontuais e doravante denominadas de “amostras pontuais”. Portanto, os estudos sobre os sedimentos da bacia Esperança basearam-se nos dois tipos de amostragem.

A malha de amostragem das crostas em superfície realizada pela CPRM, de onde foram tomadas alíquotas para realizar o presente trabalho, está indicada na Figura 5. Nessa figura está também indicada a localização dos demais furos realizados e cujas amostras são motivos de estudo neste trabalho.



- Amostragem de superfície
- ⊕ Furo de sondagem(1,2,3,4)
- ⊞ Amostras estudadas
- ⊞ Lagos
- ⊞ Sedimentos lacustres

Figura 5 - Mapa de amostragem da crosta em superfície em Seis Lagos.  
Modificado de VIÉGAS FILHO & BONOW (1976).

A localização das amostras coletadas ao longo dos furos de sondagem é mostrada na Figura 6. Nos furos 1, 3 e 4, as alíquotas de amostras foram feitas com intervalo de 5 metros. Pelo exposto, apenas o furo 4 dispõe tanto de amostras de calha como pontuais.

No total foram coletadas cento e três (103) amostras, sendo que noventa e oito (98) foram estudadas em detalhe neste trabalho.

### 3.2 TRABALHOS DE LABORATÓRIO

As primeiras amostras recebidas dos furos 1,3 e 4, infelizmente, foram cedidas já pulverizadas. Nas demais, "in natura", foram feitas descrições de seus aspectos macroscópicos como cor, texturas e estruturas de acordo com a sistemática adotada por ALEVA (1983). Alíquotas dessas amostras foram pulverizadas a <170 mesh e secas em estufa a 105°C, para fins de análise química, difração de raios-X, infravermelho, entre outras técnicas utilizadas.

#### 3.2.1 Análises Químicas

Com o objetivo de conhecer a composição química dos materiais lateríticos e sedimentares, procedeu-se análises químicas dos elementos maiores e traços, utilizando métodos clássicos e espectroanalíticos. Os elementos analisados com os respectivos métodos e laboratórios encontram-se na Tabela 3.

Na seleção dos fundentes empregados nas aberturas das amostras, o que melhor resultados apresentou foi a mistura de fundentes metaborato de lítio/tetraborato de lítio (1/1), utilizado na proporção 1/10 (amostra/fundente). Esta abertura foi utilizada em todas as análises por via úmida.



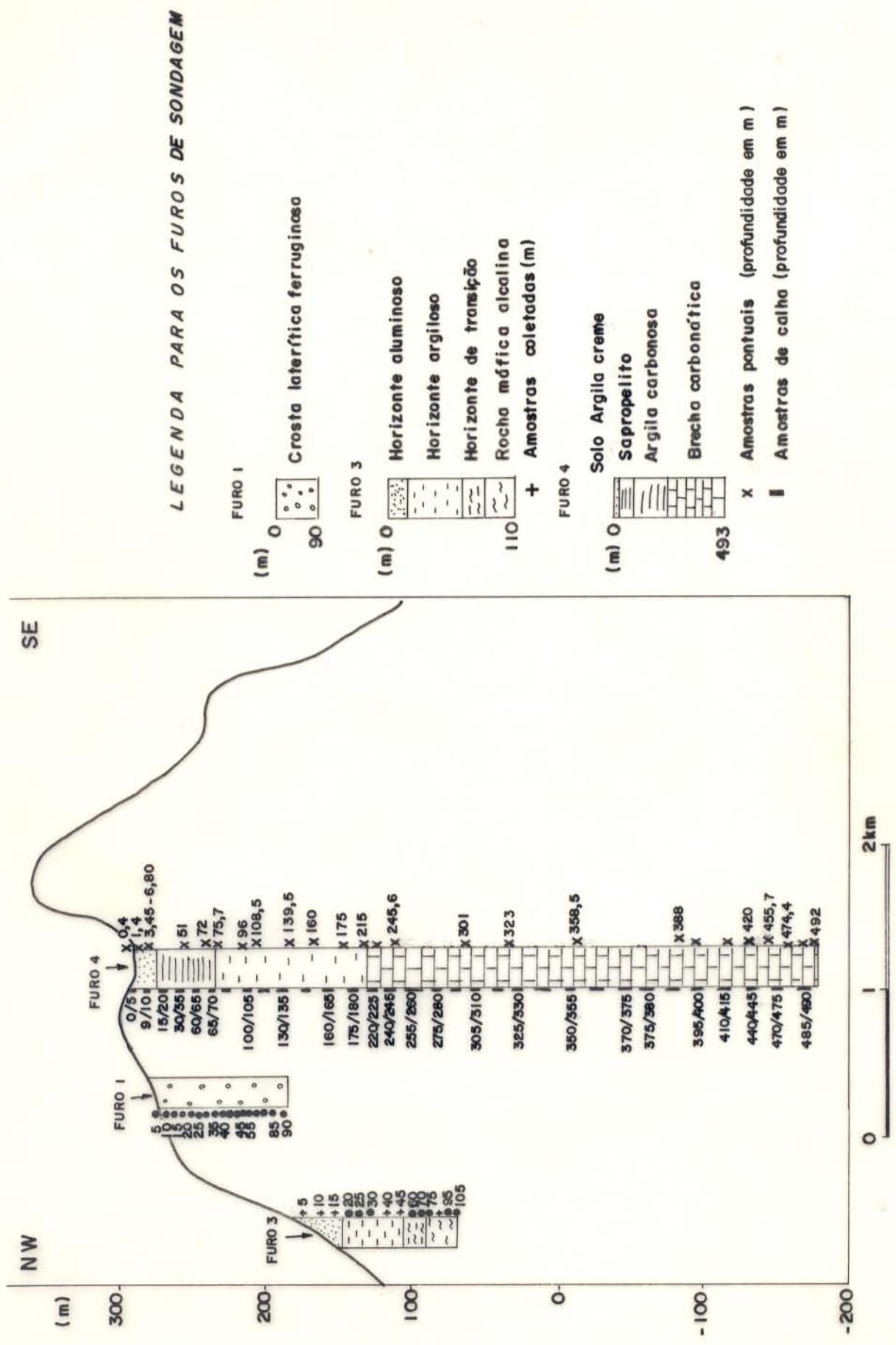


Figura 6 - Localização das amostras coletadas nos furos de sondagem em Seis Lagos.

Tabela 3 - Metodologia utilizada na determinação de elementos maiores e traços em amostras geológicas de Seis Lagos.

<b>Técnica analítica</b>	<b>Elementos analisados</b>	<b>Laboratório</b>
Gravimetria	Si e Perda ao fogo	CG
Titrimetria	C orgânico	CG
Colorimetria	Fe, Ti e P	CG
Fluorescência de raios-X	Sr, Y, Zr, Rb, U, Th e Nb	CG/GEOSOL
Espectrometria Óptica	Be, Ag, Ba, Ga, Mo, Sn, Mn e Sc	GEOSOL
Espectrometria de plasma	La, Ce, Nd, Sm, Eu, Gd, Dy, Ho, Er, Yb e Lu	GEOSOL
Absorção atômica	Na, K, Ca e Mg	CG

CG - Centro de Geociências da UFPA

GEOSOL - Geologia e Sondagens LTDA (MG)

### 3.2.2 Análises Mineralógicas

#### - Difração de raios-X

Com a finalidade de obter informações gerais a respeito da mineralogia dos materiais lateríticos e sedimentares, foram analisadas 103 amostras por difratometria de raios-X, através de um difratômetro Philips modelo PQ-1050 do Centro de Geociências da UFPa. Essas análises permitiram avaliar semiquantitativamente as principais fases mineralógicas nos materiais amostrados, bem como selecionar amostras para análises mais acuradas.

#### - Microscopia óptica

As amostras foram examinadas através de seções delgadas sob o microscópio ótico, para realização de estudos micromorfológicos e identificação mineral.

#### - Espectroscopia no infravermelho

Com o objetivo de acompanhar as transformações sofridas pelas amostras, durante os ensaios químicos, a espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), foi utilizada com grande eficiência, principalmente, nas amostras contendo carbonato. Essas análises foram realizadas em um espectrômetro Perkin Elmer FT-IR, modelo 1760X, do Centro de Geociências da UFPa.

#### - Análises termogravimétricas (ATD e ATG)

Nas análises termogravimétricas (ATD e ATG) foram empregadas nos concentrados da siderita, como padrão foi utilizado alumina calcinada. Essas análises foram realizadas no Laboratório de Química Pesquisa da UFPa, utilizando-se um instrumento termoanalítico modelo

STA-1500, acoplado a um registrador. As informações obtidas foram utilizadas na caracterização da siderita dos sedimentos lacustres.

#### - Determinação dos parâmetros da cela unitária

Na determinação dos parâmetros da cela unitária dos carbonatos, foi adicionado 30% de fluorita como padrão interno ao peso da amostra, para corrigir os erros nas medidas de  $d$  (Å). Para cerianita, minerais de Ti (ilmenorutilo, rutilo e brookita), fosfatos do grupo da crandalita e pirocloro, não foi utilizado padrão interno, e a determinação dos parâmetros se baseou apenas nos difratogramas de fases quase puras destes minerais. Os valores foram calculados através do método dos mínimos quadrados, utilizando um programa desenvolvido pelo Prof. Thomas Scheller do Centro de Geociências da UFPa. Essas determinações foram utilizadas na caracterização desses minerais.

#### - Cálculo das densidades

As densidades dos minerais de titânio e cerianita, foram calculadas através da equação:

$$D = \frac{Z \times M}{N \times V}$$

onde:  $M$  é o peso molecular do mineral;

$Z$  é o número de fórmulas por unidade da cela unitária;

$N$  é o número de Avogrado;

$V$  é o volume da cela unitária (é o produto dos parâmetros da cela unitária expresso em  $\text{cm}^3$ ).

A densidade é expressa em  $\text{g}/\text{cm}^3$ .

Os valores obtidos das densidades dos minerais acima foram comparados com os da literatura.



### 3.2.3 Extrações de Fases Mineralis

#### Extração dos Mineralis de Ti e ETR

Na separação de fases mineralógicas, como os concentrados de mineralis de titânio e de ETR, foram utilizados os seguintes procedimentos:

- (1) Tratamento da amostra com HCl (1:1) a quente, seguida de digestão em banho-maria por 1 hora. Depois a amostra foi lavada com água deionizada, seguida de secagem a 105°C. O resíduo obtido foi submetido à difração de raios-X;
- (2) Tratamento da amostra obtida em (1) com HNO<sub>3</sub> diluído, seguido de aquecimento em banho-maria, seguindo o procedimento (1);

#### Extração de Carbonato para Análises Isotópicas

Com a finalidade de realizar análises isotópicas, químicas e determinar as dimensões da cela unitária dos carbonatos, foi utilizada a sistemática de remoção de mineralis (Carver apud INGRAM, 1971; TESSIER *et al.*, 1979), com adaptações para siderita:

- 1) remoção dos argilomineralis: inicialmente a amostra foi fragmentada e desagregada, depois levada ao ultrassom, para remoção paulatina dos argilomineralis.
- 2) remoção dos oxi-hidróxidos de ferro: após a remoção dos argilomineralis, a amostra foi tratada com H<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub> (ácido oxálico) sólido, Al metálico, água deionizada e aquecimento da solução sob bico de bunsen até ebulição. Repetiu-se este procedimento até dissolução dos oxi-hidróxidos de ferro. Nesta etapa forma-se oxalato de ferro como impureza, que é eliminado com H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> diluído a frio, uma vez que o HCl recomendado na literatura, não respondeu positivamente ao ensaio. O acompanhamento destes procedimentos foi feito por difração de raios-X.
- 3) remoção de matéria orgânica: na eliminação desse constituinte, foi utilizado H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 30% e HNO<sub>3</sub> diluído com aquecimento brando (evitando-se a ebulição). Inicialmente, quando apenas o

peróxido era usado, uma parte do ferro oxidava-se e recobria o carbonato com uma película vermelha de hematita, identificada por difração de raios-X, o que era indesejável para este trabalho. O  $\text{HNO}_3$  foi utilizado para impedir a formação de hematita. A espectroscopia no infravermelho foi utilizada para verificar a presença do constituinte indesejável.

4) em lupa binocular removeu-se as partículas restantes de sulfetos e oxi-hidróxidos de Fe e Mn.

### 3.2.4 Microanálises Químicas

Foram efetuadas análises por sistema de dispersão de energia (EDS) e por sistema de dispersão do comprimento de onda (WDS), em seções polidas de amostras da crosta e de sedimentos. A análise por dispersão de energia objetivou a identificação de elementos químicos presentes em fases mineralógicas e a seleção destas para as análises químicas quantitativas subsequentes.

A análise por dispersão do comprimento de onda foi aplicada na determinação da composição química parcial dos minerais de titânio, ferro e fosfatos do grupo da crandalita, além das matrizes goethítica e carbonática. As análises foram realizadas nos Institutos de Geociências da UNB, UFBA e USP, nos laboratórios de microsonda eletrônica, e o equipamento utilizado foi uma sonda Cameca SX-50 nos dois primeiros, e no terceiro, uma sonda JEOL SUPERPROBE JXA-8600.

Também foram feitas análises ao microscópio eletrônico de varredura (MEV) com EDS, na Universidade de Halle (Alemanha), no Instituto Astronômico e Geofísico (IAG-USP) e na Escola Politécnica (USP), que foram aplicadas nos estudos micromorfológicos das crostas e sedimentos.

### 3.2.5 Análises Isotópicas

Nas amostras de carbonato (siderita), foram determinados os isótopos de  $^{13}\text{C}$  e  $^{18}\text{O}$ . Essas análises foram realizadas no laboratório de isótopos estáveis do Centro de Energia Nuclear para Agricultura (CENA/USP) em Piracicaba/SP.

Nas amostras de sedimentos da bacia Esperança, no intervalo de 245,6 m a 492 m (brecha carbonática), foram determinadas as razões isotópicas  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ . Essas análises foram realizadas no Laboratório de Geologia Isotópica do Centro de Geociências da UFPa, utilizando um espectrômetro de massa ISOMASS modelo VG.54 E.

Várias análises foram realizadas com o objetivo de datar o material da brecha carbonática. O método utilizado foi Rb/Sr, e foram analisadas tanto as amostras totais como os carbonatos isolados (siderita). Todas as tentativas não deram resultados consistentes.

Os resultados isotópicos obtidos foram utilizados na caracterização dos carbonatos.

### 3.3 - TRATAMENTO ESTATÍSTICO

Foi utilizado o *software* "GEOQUANT" para a análise fatorial modo Q, com os dados padronizados para média zero e variância unitária com solução varimax.

Na análise fatorial foi utilizado o modo Q que forneceu, com base nas cargas dos fatores e estes em correlação com as variáveis, dois fatores principais que correlacionaram as amostras e a composição química.

## 4 A CROSTA LATERÍTICA SUPERFICIAL AFLORANTE

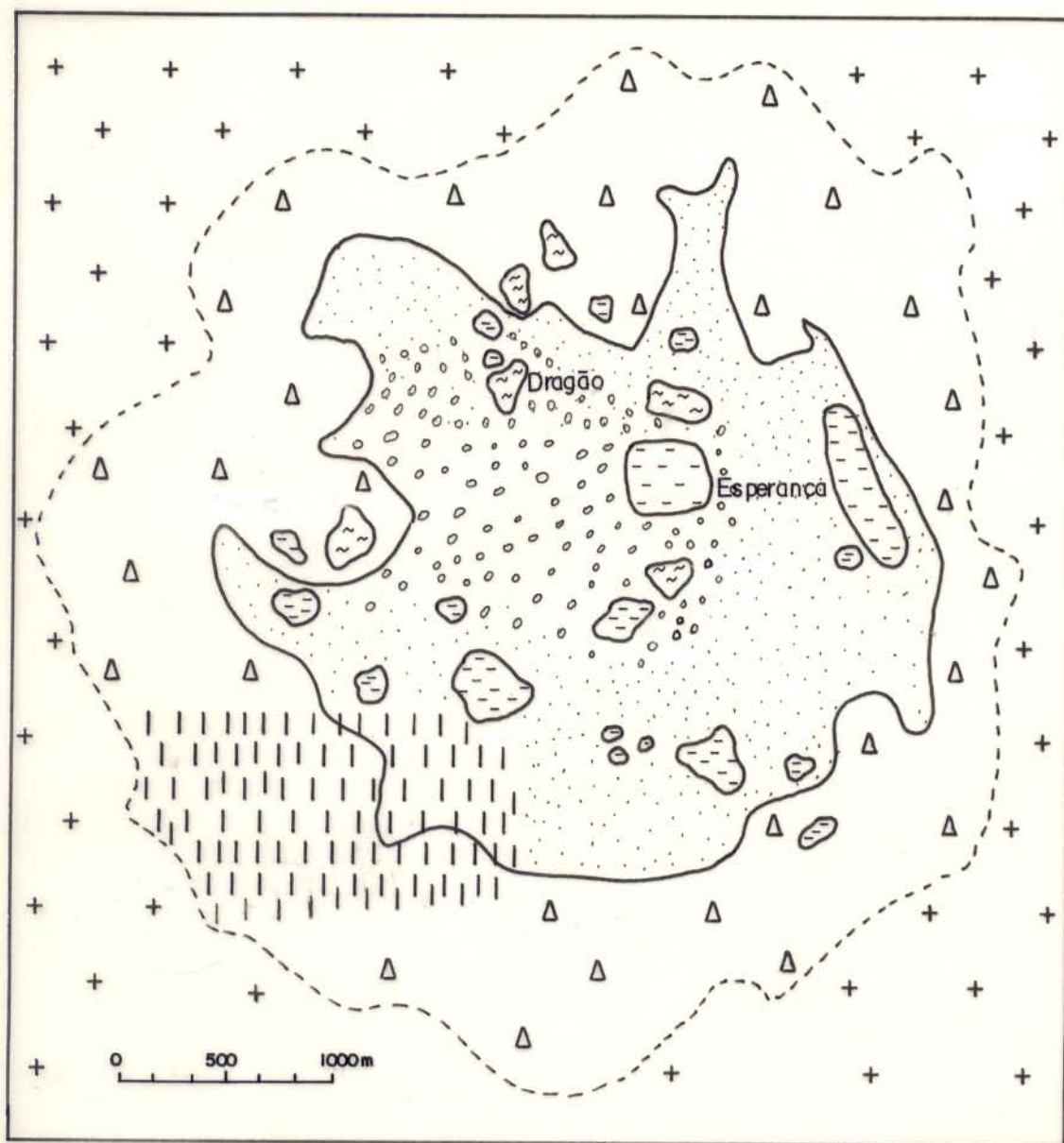
### 4.1 ASPECTOS GEOLÓGICOS

Do ponto de vista textural, estrutural e de coloração, a crosta aflorante é praticamente homogênea em todas amostras analisadas. Ela é marrom-avermelhada, com modo de ocorrência similar a de um “chapéu de ferro”. Crostas desta natureza esculpindo e sobrepostas a estruturas circulares, sugerem uma derivação por intemperismo de complexo alcalino-ultramáfico-carbonatítico subjacente, como em Catalão (GO), Araxá (MG), como mostrado anteriormente (CARVALHO, 1974; ISSA FILHO *et al.*, 1984).

A crosta laterítica ocorre como lajedos e blocos soltos sobre os lajedos, e se constitui na litologia predominante da superfície de Seis Lagos (VIÉGAS FILHO & BONOW, 1976). Normalmente é porosa, constituída principalmente de oxi-hidróxidos de ferro, às vezes apresenta-se com aspecto de brecha, ou é maciça.

A crosta é radioativa (em torno de 6.000 cps), o que a difere das demais sobre complexos carbonatíticos da região, que, embora não radioativas, são magnéticas como Maicuru, Maraconai (COSTA *et al.*, 1991; FONSECA & RIGON, 1984).

O mapa litológico de superfície da estrutura de Seis Lagos está representado na Figura 7. Os dados químicos obtidos preliminarmente por CORRÊA *et al.* (1988), permitem classificar as crostas em niobífera na parte central, manganesífera na porção sudoeste e nas demais áreas essencialmente ferruginosa. A crosta niobífera contém concentrações anômalas de nióbio, a manganesífera é composta de oxi-hidróxidos de manganês (cristalinos e amorfos) e a essencialmente ferruginosa constituída de oxi-hidróxidos de ferro. Sobre essa crosta encontram-se sedimentos argilo-carbonosos e carbonáticos, representativos de pequenas bacias lacustres. Os limites externos da crosta se fazem com as rochas encaixantes muito intemperizadas.










-  Sedimentos lacustres
-  Talus
-  Crosta ferruginosa (<math>89,10\% \text{Fe}\_2\text{O}\_3</math>)
-  Crosta ferruginosa niobífera (<math>2,9\% \text{Nb}</math> ou <math>4,15\% \text{Nb}\_2\text{O}\_5</math>)
-  Crosta ferruginosa manganesífera (<math>19\% \text{Mn}</math>)
-  Lagos
-  Encaixantes: granitos e gnaisses

Figura 7- Esboço geológico de superfície da estrutura de Seis Lagos.  
Modificado de VIÉGAS FILHO & BONOW (1976) e BONOW & ISSLER (1980).

## 4.2 MINERALOGIA

A crosta de Seis Lagos segundo a difração de raios-X, está constituída de:

- Minerais de ferro: hematita e goethita;
- Minerais de manganês: hollandita e romanechita;
- Minerais de titânio: Nb-brookita, Nb-rutito e ilmenorutilo;
- Fosfatos: grupo da crandalita e monazita;
- Cerianita;
- Pirocloro;
- Silicatos: zircão e quartzo;
- Gibbsita.

### 4.2.1 Minerais de Ferro

Estão representados por goethita e hematita que são os minerais predominantes da crosta, variando de 45,0 a 90,8 %, com média de 81,5 % (Tabela 4).

Macroscopicamente a goethita, de coloração alaranjada apresenta-se, principalmente, com aspecto terroso, outras vezes o aspecto é nodular, onde observa-se os nódulos cimentados pelo próprio hidróxido de ferro. A goethita também apresenta-se com hábito fibro-radial em volta de cavidades. A hematita, de coloração cinza a avermelhada apresenta-se com aspecto maciço, preenchendo fraturas ou na forma de plasma.

A goethita de Seis Lagos é ferruginosa, como observa-se pelo padrão difratométrico, com distâncias interplanais características correspondem a 4,192 Å, 2,691 Å e 2,449 Å (Figura 8). Foram determinados os padrões da cela unitária (Tabela 5) da goethita de várias amostras (CB-21, CB-104, CB-79, e CB-114), através das reflexões de 110, 130 e 111, empregando-se o método de SCHULZE (1984). Os valores obtidos foram comparados com os de goethitas puras e aluminosas

Tabela 4 - Composição mineralógica (% em peso) parcial da crosta de Seis Lagos.

Mineral	X	Mínimo	Máximo	$\sigma$
Goethita + (hematita)	81,5	45,0	90,8	12,04
Oxi-hidróxidos de Mn	13,5	0,3	41,9	18,20
Óxidos de Ti-Nb	4,6	1,2	13,6	3,49
Grupo da crandalita	1,7	0,3	5,7	2,28

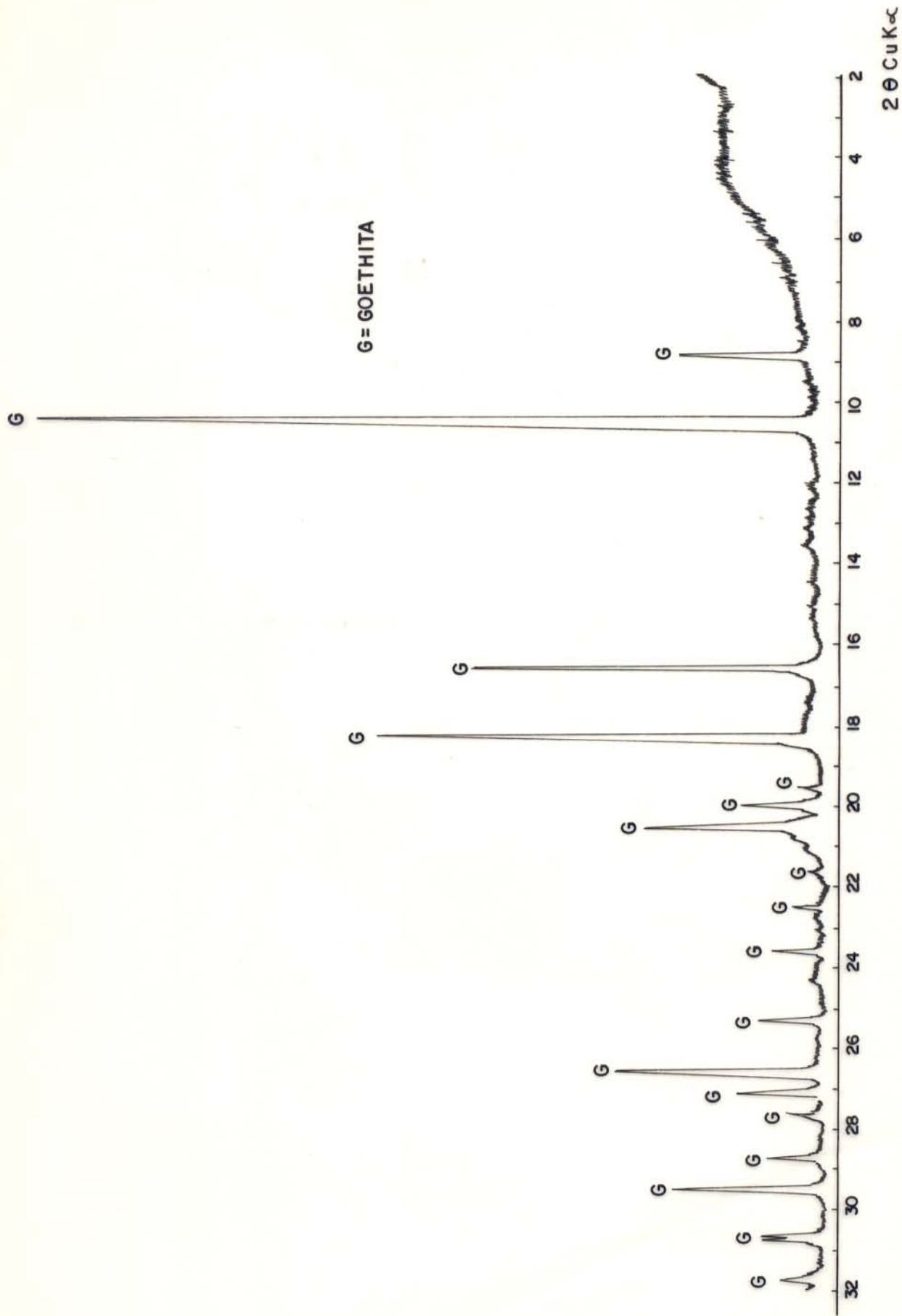


Figura 8 - Padrão difratométrico da goethita da crosta de Seis Lagos.



Tabela 5 - Parâmetros da cela unitária de goethitas de Seis Lagos (CB-21, CB-104, CB-79 e CB-114), goethitas puras e aluminosas.

Amostra	Parâmetros da cela unitária			Mol %Al
	a <sub>0</sub>	b <sub>0</sub>	c <sub>0</sub>	
CB-21	4,5788	9,9160	3,0139	
CB-104	4,6260	9,9530	2,9996	
CB-79	4,6222	9,9236	2,9940	
CB-114	4,6192	9,9270	3,0022	
goethitas puras (1)	4,6212	9,9535	3,0239	
	4,6190	9,9525	3,0240	
	4,6169	9,9590	3,0232	
Al-goethitas (2)	4,559	9,773	2,966	31,1
	4,601	9,897	3,005	11,3
	4,605	9,898	3,008	9,7
	4,611	9,923	3,010	6,9
	4,618	9,943	3,019	3,4
(1) GERTH (1990)	(2) SCHULZE (1984)			

onde constata-se que não há variação dos parâmetros entre as goethitas de Seis Lagos e as puras, exceto a goethita da amostra CB-21, que apresenta o parâmetro  $a_0$ , relativamente inferior das demais, comparável com os de goethitas aluminosas. Inclusive, a goethita desta amostra (CB-21) apresenta coloração amarelada, evidenciando o fato de ser aluminosa. A substituição isomórfica de Fe por outros elementos (Al, Co, Ni, Zn), depende do tamanho do raio iônico, que ocasionará expansão ou redução da estrutura da goethita (GERTH, 1990), refletindo nos parâmetros da sua cela unitária, principalmente  $a_0$  do mineral (SCHULZE, 1984; STIERS & SCHWERTMANN, 1985). A quase ausência de Al nas goethitas, significa que o ambiente das crostas era pobre em alumínio.

Ao microscópio ótico, a goethita apresenta-se como plasma alaranjado microcristalino e com hábito fibro-radial, enquanto a hematita ocorre frequentemente como plasma escuro, raramente avermelhado (Figura 9).

Ao microscópio eletrônico de varredura (MEV) com EDS, observou-se várias gerações de goethitas (Figuras 10, 11, 12 e 13), com ocorrência de cristais euédricos perfeitos, na forma de agregados, de estruturas de fluxos e até de rosetas. A maioria é ferruginosa, algumas contém Al, Ni, Si e P, que a exceção deste último, são elementos comuns na composição de goethitas, e raramente contém Nb. As goethitas com Nb são aquelas que se encontram como agregados de cristais e na forma de estruturas de fluxo. Os diferentes hábitos da goethita, indicam que soluções coloidais de Fe no meio aquoso, tiveram diferentes migrações e movimentações, sujeitas à transformações reconstitutivas, ocorridas por dissolução e reprecipitação sob mudanças das condições ambientais (TAYLOR, 1987). A maioria das goethitas encontradas nas crostas não são pseudomórficas.

A composição química do plasma formado de oxi-hidróxidos de ferro, obtida por microsonda eletrônica (Tabela 6), de 6 amostras (CB-48, CB-112, CB-24, CB-42, CB-104 e CB-

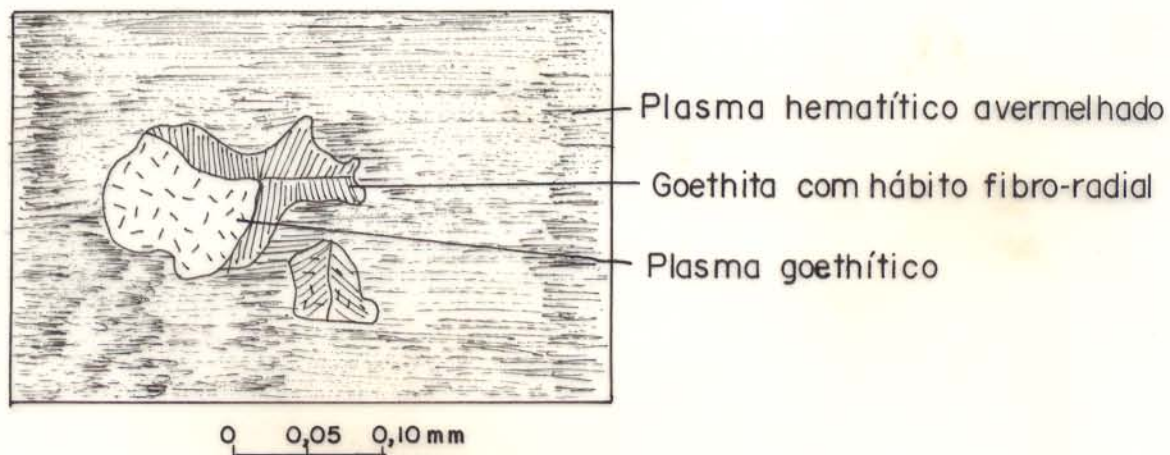
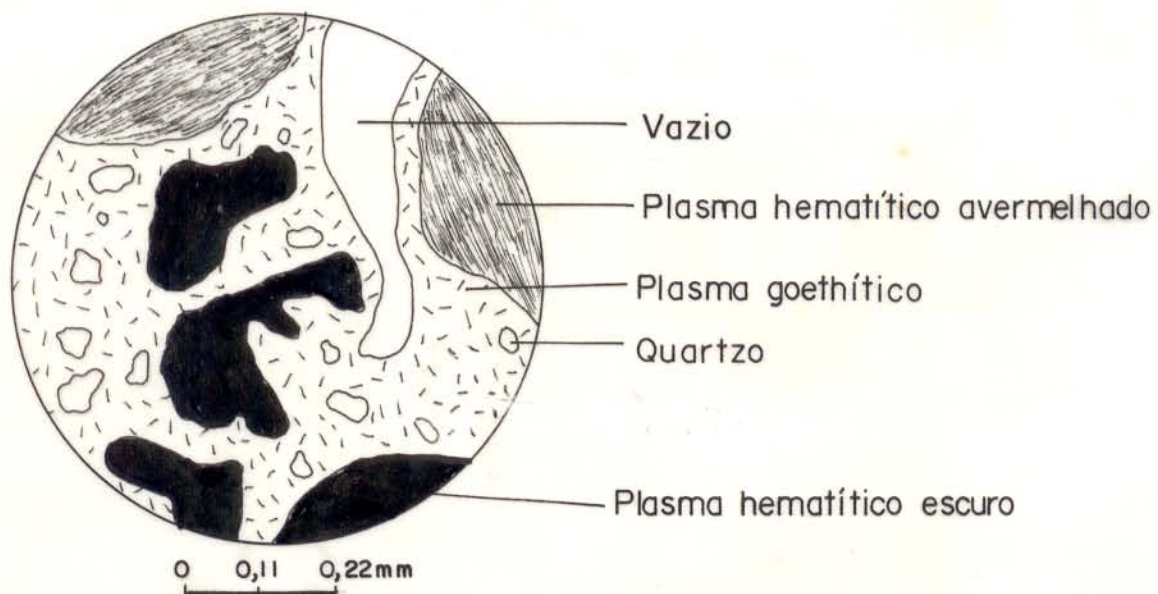


Figura 9 - Aspectos microscópicos da goethita e da hematita da Crosta de Seis Lagos.

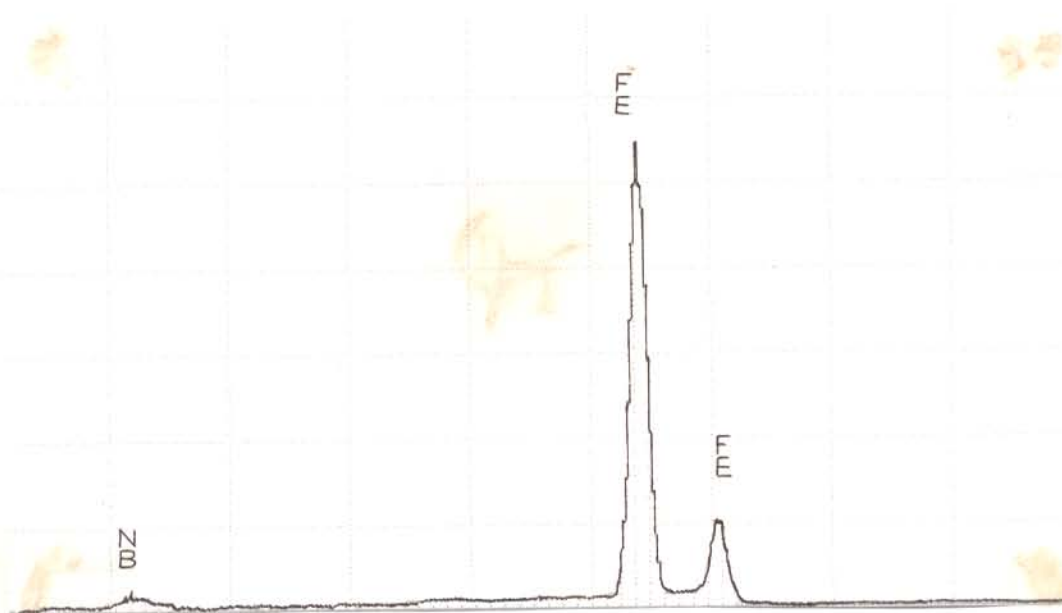
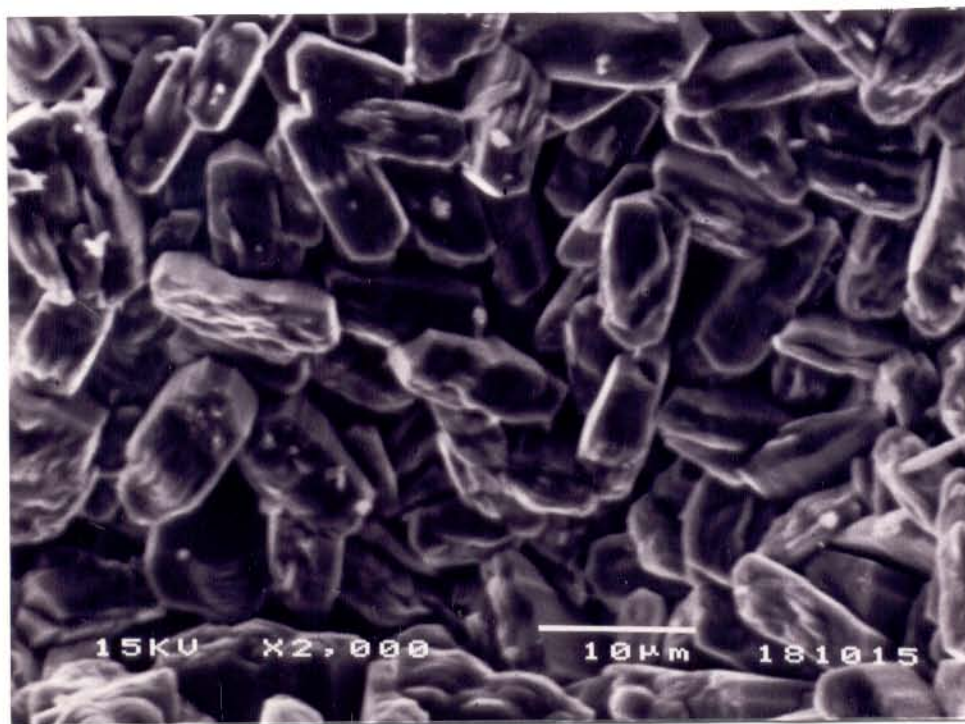


Figura 10 - Agregados de cristais de goethita, com traços de Nb (MEV).

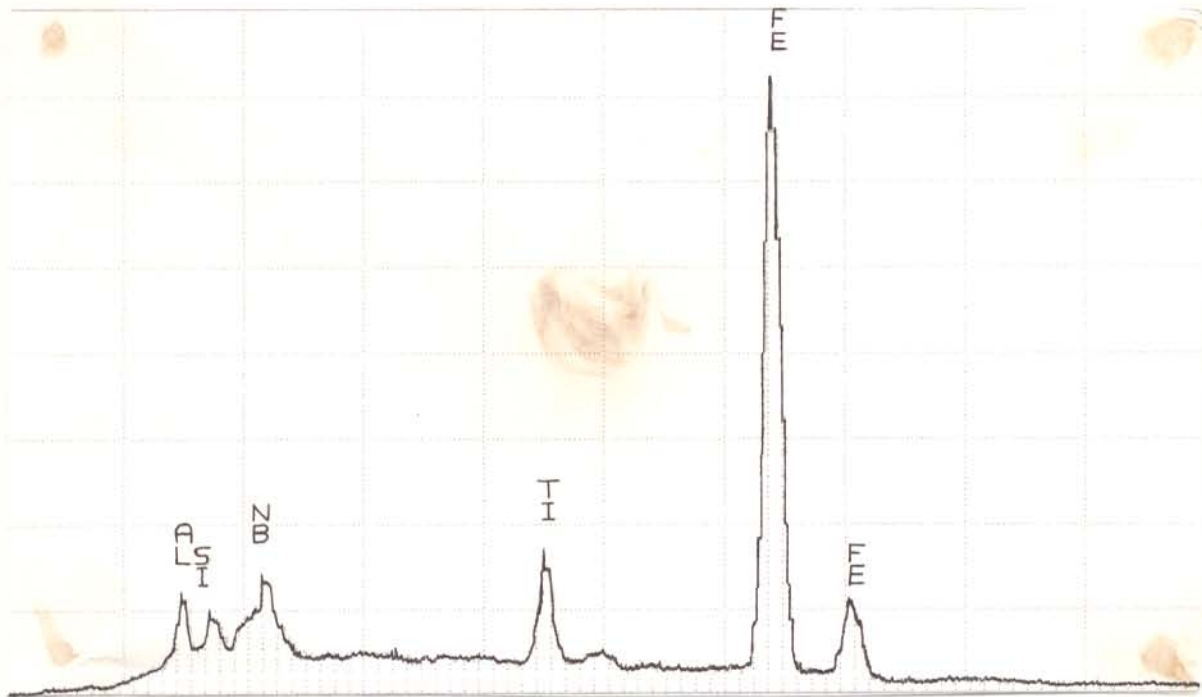
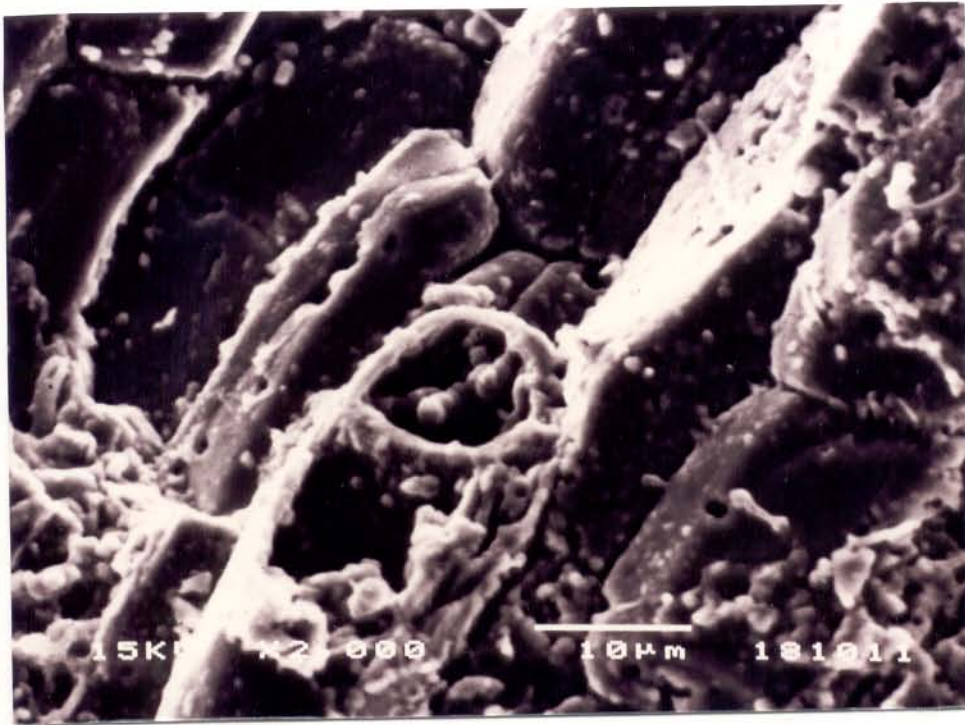


Figura 11 - Goethitas como estruturas de fluxo, portadoras de Nb (MEV).



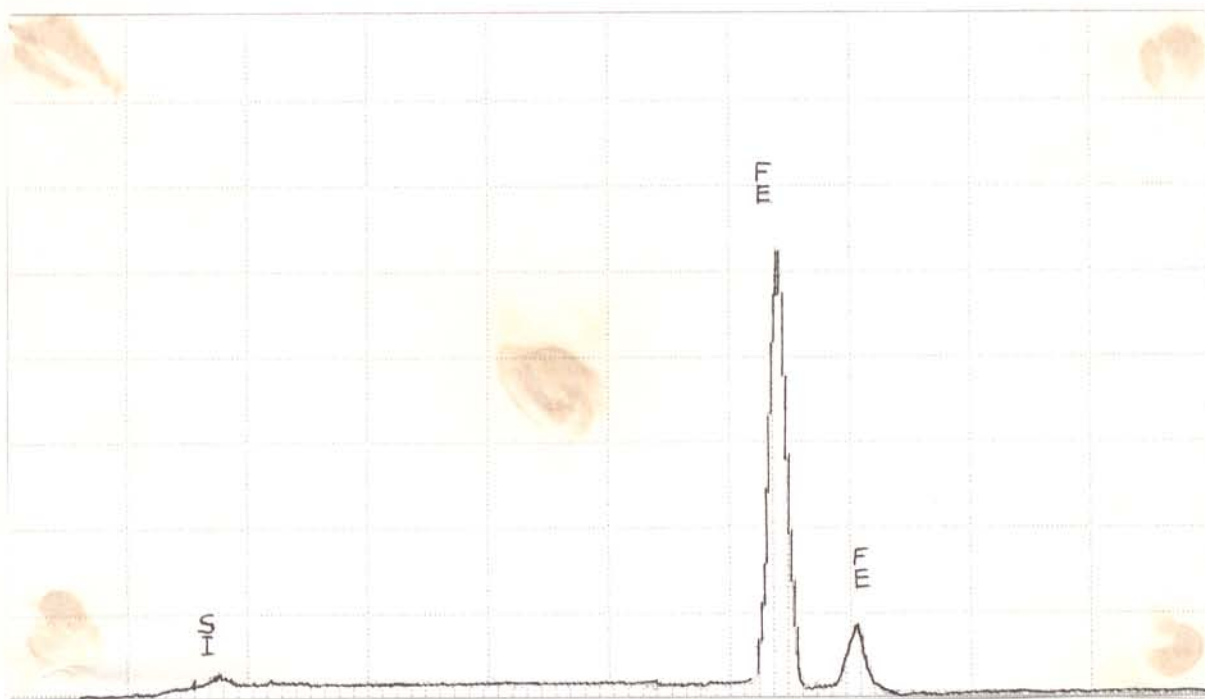
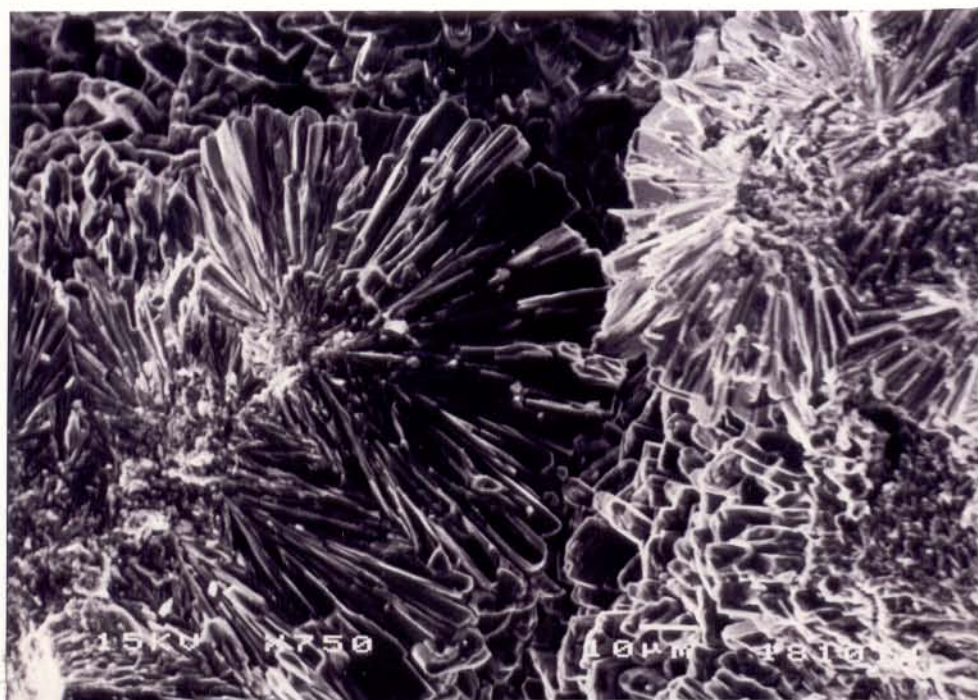


Figura 12 - Goethita fibro-radial em matriz goethítica microcristalina (MEV), sendo essencialmente férrica.

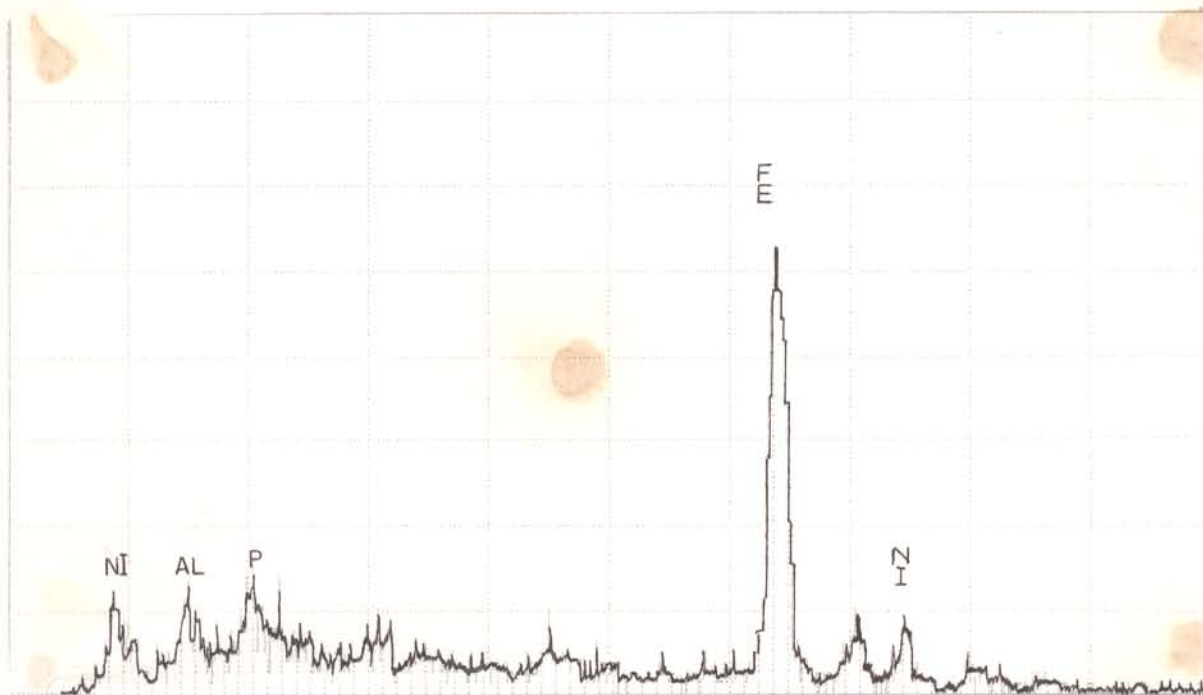
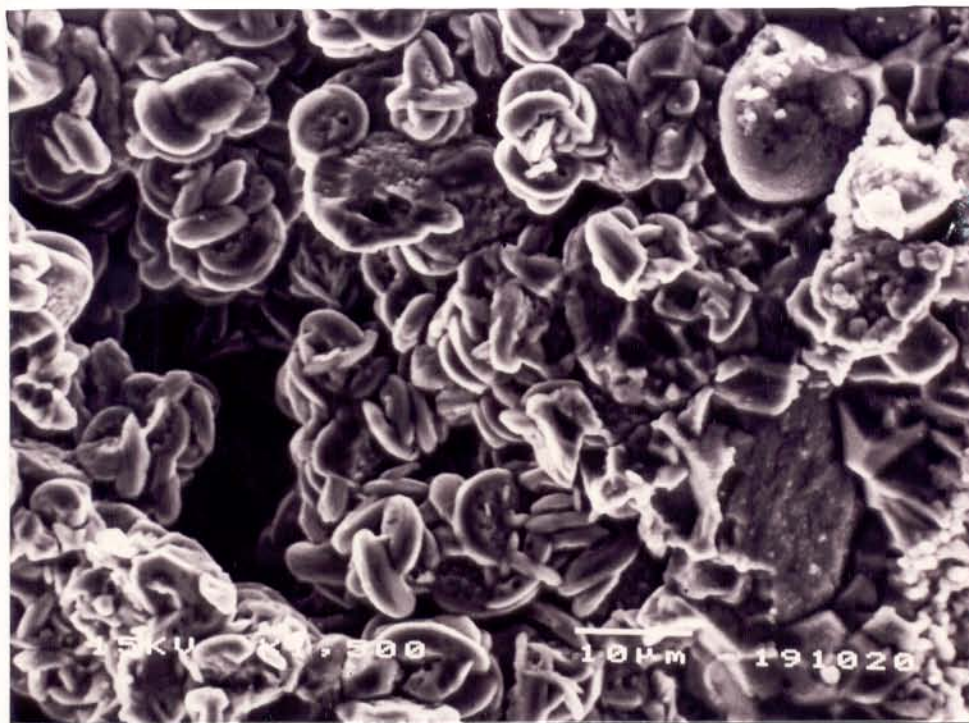


Figura 13 - Goethita com hábito em rosetas (a) na matriz goethítica (b), e o espectro ao MEV.

Amostra CB-24.

Tabela 6 - Composição química do fundo matricial formado de oxi-hidróxidos de ferro, obtida por microsonda eletrônica, da crosta de Seis Lagos. Óxidos em % peso.

Óxidos	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	MÉDIA
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	71,72	73,19	73,88	75,79	73,41	77,69	63,32	73,67	74,10	72,83	67,81	71,27	68,65	62,79	78,64	72,05
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,18	2,56	0,31	0,31	0,33	0,367	5,92	2,68	0,19	1,02	1,22	3,09	2,88	0,47	2,06	1,70
SiO <sub>2</sub>	2,63	2,10	4,02	0,86	3,89	0,48	0,45	0,18	0,45	0,30	0,24	0,22	0,60	0,64	0,60	1,18
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,65	0,79	0,12	0,41	0,15	0,40	4,22	1,84	0,10	1,32	1,78	2,16	0,75	0,51	0,85	1,07
TiO <sub>2</sub>	0,12	0,00	0,07	0,01	0,03	0,61	1,23	0,09	0,01	1,50	4,01	0,63	1,52	3,40	1,30	0,97
CaO	0,03	0,02	0,02	0,00	0,03	0,00	0,11	0,01	0,00	0,00	0,00	0,04	0,12	0,11	0,07	0,04
MnO	0,20	0,15	0,19	0,05	0,19	0,19	0,25	0,00	0,04	0,11	0,01	0,09	0,07	0,08	0,07	0,11
PbO	1,02	0,47	0,00	2,00	1,47	1,31	2,12	0,47	0,23	0,00	0,00	0,31	1,87	2,30	0,16	0,91
BaO	0,00	0,13	0,06	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00	0,00	0,10	0,07	0,17	0,43	0,20	0,06	0,09
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,96	0,95	0,00	0,00	2,86	4,68	0,11	2,13	7,99	0,83	1,37
ZrO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	0,00	0,03	0,00	0,09	0,00	0,00	0,08	0,03
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,22	0,23	0,22	0,16	0,17	0,12	0,16	0,25	0,22	0,31	0,24	0,29	--	--	--	0,22
ThO <sub>2</sub>	0,12	0,19	0,00	0,25	0,02	0,24	1,35	0,35	0,39	0,44	0,78	0,60	--	--	--	0,39
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,13	0,11	0,01	1,23	0,14	0,04	0,00	0,00	0,13	--	--	--	0,15
Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,06	0,92	0,12	0,00	0,00	0,14	0,00	--	--	--	0,10
Pr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,10	0,16	0,00	0,20	0,14	0,00	0,08	0,00	0,09	0,14	0,00	0,11	--	--	--	0,08
Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,13	0,05	0,00	0,02	0,10	0,21	0,00	0,20	0,06	0,16	0,01	0,11	--	--	--	0,08
Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,03	0,00	0,03	0,10	0,10	0,07	0,14	0,07	0,10	0,08	0,05	0,18	--	--	--	0,08
Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,05	0,15	0,12	0,06	0,07	0,33	0,11	0,23	0,31	0,23	0,23	0,18	--	--	--	0,17
Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,11	0,00	0,03	0,24	0,10	0,18	0,20	0,30	0,00	0,00	0,14	0,13	--	--	--	0,12
SO <sub>3</sub>	0,09	0,11	0,00	0,01	0,03	0,04	0,06	0,04	0,03	0,02	0,00	0,08	--	--	--	0,04
Total	79,39	80,30	79,14	80,60	80,35	83,33	82,82	81,77	78,36	81,44	81,39	79,99	79,03	78,49	84,71	80,95

-- não determinado

( ) ponto analisado



85) com 15 pontos analisados, indica que a goethita contém em média 1,7 % de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e 1,2 % de  $\text{SiO}_2$ . Goethitas semelhantes foram encontradas por HORBE & COSTA (1994) em latossolos amazônicos, que representam uma superfície de acumulação residual de Fe, Si, Al e Ti. Além destes elementos, a matriz ferruginosa contém Pb, mas é pobre em Ba, Mn, Ga, ERT, Zr, Th e Nb. Análises de regressão linear mostram correlações Nb-Ti, P-Al-ETR(La, Ce)-Th-(Pb), que correspondem aos minerais de Ti-Nb e os fosfatos do grupo da crandalita. A relação  $\text{Ti/Nb} = 0,70$  é compatível ao encontrado para ilmenorutilo (0,62) por ADUSUMILLI (1991). Tudo indica assim que a goethita não contém esses elementos, mas envolve minicristais de minerais de Ti-Nb e de fosfatos de alumínio, e não são os principais carreadores de Nb.

#### 4.2.2 Minerais de Manganês

Os minerais de Mn identificados foram hollandita, romanechita e oxi-hidróxidos amorfos. Os teores destes minerais são variáveis e expressivos atingindo até 41,9 % (Tabela 4), e compõem as crostas manganésíferas, situadas na área SW da estrutura (Figura 7). Apresentam-se com aspecto pulverulento, estruturas de segregação e por vezes botrioidal. Ao microscópio, os oxi-hidróxidos de manganês ocorrem como plasma de coloração negra, preenchendo fraturas ou formando manchas na forma arborescente (Figura 14) sobre goethita microcristalina.

A romanechita ( $\text{BaMn}_9\text{O}_{16}(\text{OH}_4)$ ) é a denominação atual da psilomelana (Klein & Hurlbut Jr, 1992), que é uma mistura de vários óxidos de manganês. Tem seu padrão difratométrico mostrado na Figura 15. A rocha com romanechita (Tabela 7) é formada basicamente de ferro (42,6 %  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), manganês (24,5 %  $\text{MnO}$ ), e bário (12,73 %  $\text{BaO}$ ). São elevados os teores de ETR (1,36 %), Be (146 ppm) e Co (200 ppm).

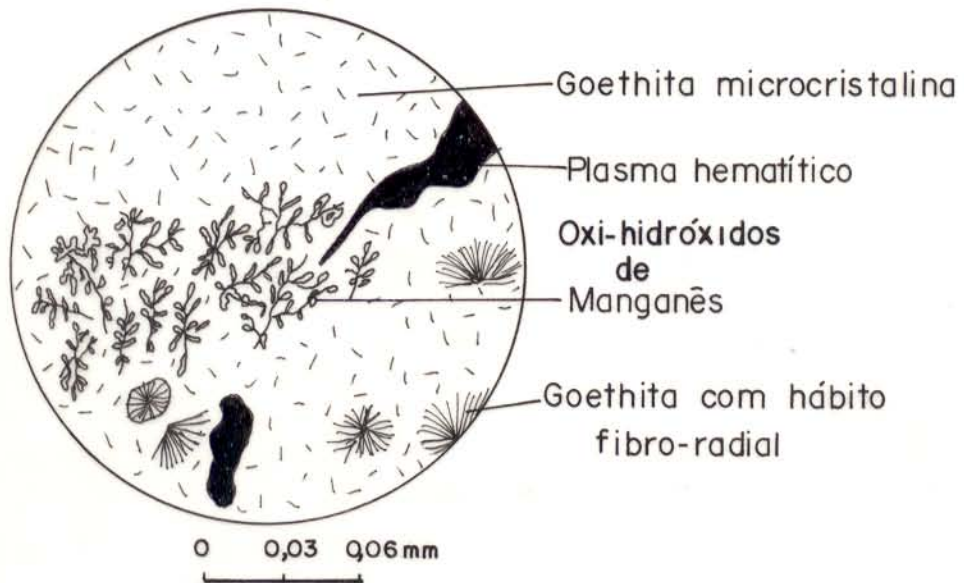


Figura 14 - Ocorrência de oxi hidróxidos de Mn em forma arborescente na crosta de Seis Lagos.

R = ROMANECHITA  
G = GOETHITA

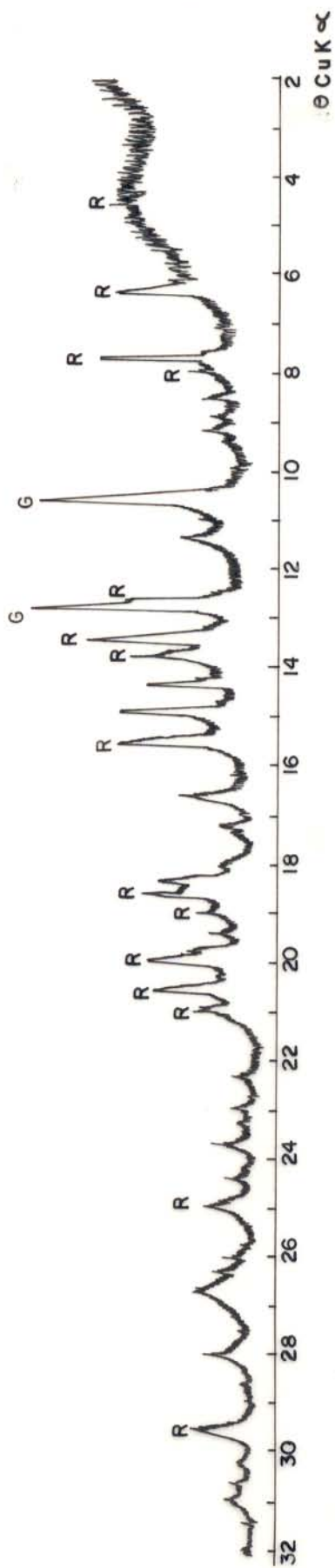


Figura 15 - Padrão difratométrico da romanechita da crosta de Seis Lagos.

Tabela 7 - Composição química da rocha, na qual ocorre romanechita.

Óxidos	% Peso	ETR	ppm	Traços	ppm
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	42,60	La	4269,00	Nb	840
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,24	Ce	6769,00	Zr	540
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1,56	Nd	2107,00	Y	420
TiO <sub>2</sub>	5,36	Sm	248,60	Pb	330
K <sub>2</sub> O	0,02	Eu	42,20	Sn	210
Na <sub>2</sub> O	0,14	Gd	103,20	Co	200
CaO	0,10	Dy	32,49	Mo	175
MgO	0,10	Ho	5,52	Be	146
MnO	24,50	Er	9,95	V	128
BaO	12,73	Yb	3,85	Sc	119
PF	10,05	Lu	0,57	Cr	<5
Total	98,40			Cu	<5
				Ga	<5
				Ni	<5
				B	<5
				.Ag	<5

Menos abundante que a romanechita, a hollandita ( $\text{BaFeMn}_7\text{O}_{16}$ ) também ocorre nas crostas como mineral de Ba, bem como os oxi-hidróxidos de Mn amorfos. Estes quando analisados por difração de raios-X, apresentam domos característicos de substâncias amorfas.

#### 4.2.3 Minerais de Titânio

Em Seis Lagos os padrões de difração de raios-X obtidos em concentrados separados para esse fim, mostram que os minerais de titânio são constituídos de ilmenorutilo, rutilo e brookita (Figura 16). O ilmenorutilo se apresenta como o mineral mais frequente. O teor dos minerais de Ti varia de 1,2 a 13,6 % (Tabela 4).

Os minerais de titânio encontram-se como grãos muito pequenos (166,7 a 259,6  $\mu\text{m}$ ), distribuídos na matriz goethítica das crostas ferruginosas (Figura 17), não tendo sido possível distinguir microscopicamente as três espécies minerais. Alguns grãos apresentam um núcleo constituído principalmente de Ti e Nb, além de Fe e uma periferia coloforme, concêntrica, constituída dos mesmos elementos, com o ferro aumentando de teor (Figura 17).

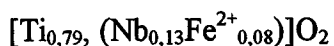
A composição química dos minerais de titânio, determinada por microsonda eletrônica (Tabela 8), contém em média:

$$\text{TiO}_2 = 72 \%$$

$$\text{Nb}_2\text{O}_5 = 20,34 \%$$

$$\text{FeO} = 7,64 \%$$

além de teores baixos de  $\text{V}_2\text{O}_5$ ,  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  e  $\text{SnO}_2$ , não encontrados em todas as amostras. Estes resultados são compatíveis com o ilmenorutilo (Tabela 8). A fórmula mínima calculada a partir dessas análises é a seguinte:





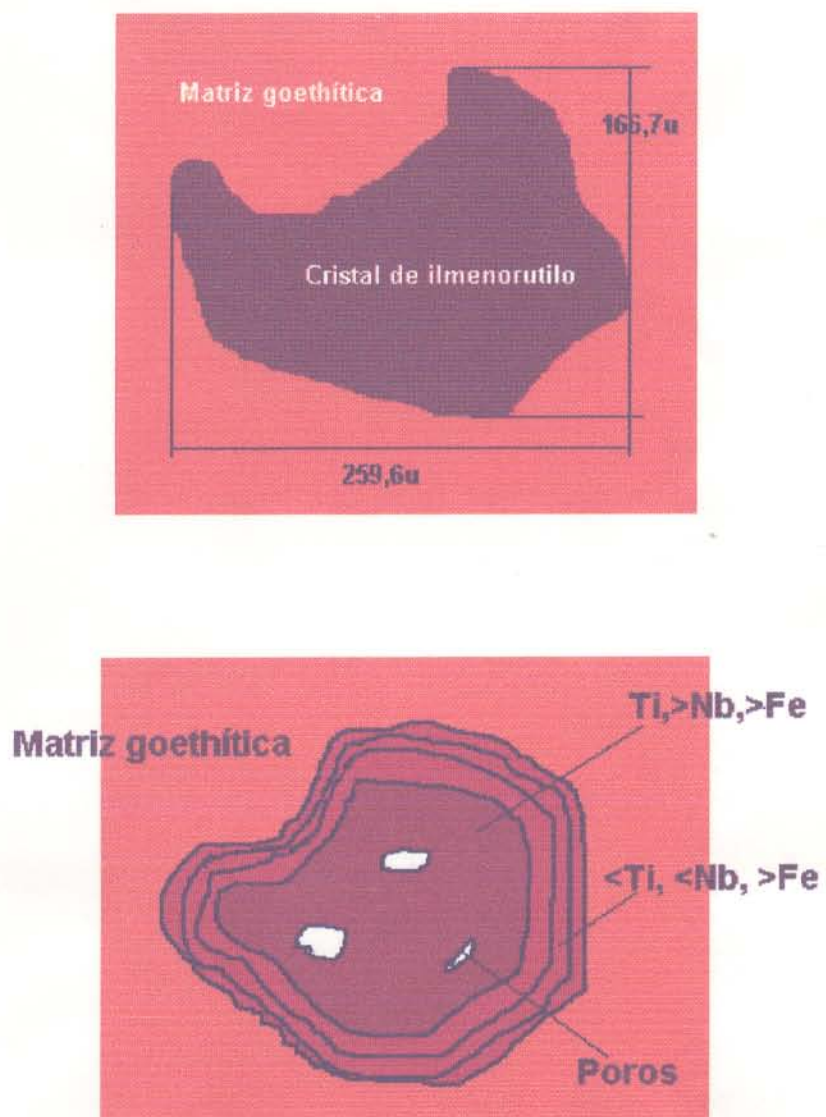


Figura 17: Aspectos microscópicos da ocorrência de minerais de Ti na crosta ferruginosa de Seis Lagos

Tabela 8 - Composição química dos minerais de titânio por microsonda eletrônica (% em peso).

% (peso)	1	2	3	4	Média	Ilmenorutilo <sup>1</sup>
TiO <sub>2</sub>	71,39	73,50	72,39	70,75	72,00	54,84
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	20,69	18,68	20,17	21,82	20,34	22,11
FeO	7,95	7,49	7,35	7,79	7,64	10,87
Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,10	0,00	0,00	0,18	0,07	7,92
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,00	0,90	0,90	0,00	0,30	nd
SiO <sub>2</sub>	0,04	0,03	0,03	0,07	0,04	nd
SnO <sub>2</sub>	0,06	0,09	0,09	0,30	0,15	nd
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	nd
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,02	0,02	0,04	0,01	nd
MnO	0,00	0,07	0,07	0,00	0,02	nd
Total	100,25	100,19	101,02	100,95	100,57	95,74
TiO <sub>2</sub> /Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	3,45	3,93	3,59	3,24	3,54	

1 ADUSUMILLI (1991)

nd = não determinado



A composição química do ilmenorutilo da literatura (ADUSUMILLI, 1991), que também foi obtida por microsonda eletrônica (Tabela 8), é uma variedade com teores significativos de Ta, que difere do ilmenorutilo de Seis Lagos que é pobre neste elemento.

Os parâmetros da cela unitária dos minerais de Ti, ilmenorutilo, brookita e rutilo (Tabela 9), estão de acordo com os dados da literatura (ADUSUMILLI, 1991; DEER *et al.*, 1992).

A densidade calculada a partir das análises químicas e dos parâmetros da cela é de 4,45 g/cm<sup>3</sup>, valor intermediário entre o rutilo e o ilmenorutilo de ADUSUMILLI, (1991).

Portanto, constatou-se que os minerais de Ti devem ser os principais minerais de Nb.

#### 4.2.4 Fosfatos

##### Grupo da crandalita

Segundo a DRX (Figura 18), em Seis Lagos o grupo da crandalita está representado pela florencita. Os dados difratométricos de Seis Lagos foram comparados com florencitas de várias ocorrências (Tabela 10), constatando-se sua presença. Os parâmetros da cela unitária ( $a_0 = 6,9856 \pm 0,005 \text{ \AA}$  e  $c_0 = 16,2650 \pm 0,0210 \text{ \AA}$ ) assemelham-se a florencita do Canadá  $a_0 = 6,99 \text{ \AA}$  e  $c_0 = 16,258 \text{ \AA}$  (MCKIE, 1962) de Catalão ( $a_0 = 6,963 \pm 0,008 \text{ \AA}$  e  $c_0 = 16,34 \pm 0,01 \text{ \AA}$ ) (VALARELLI, 1971) e da Mata dos Crioulos-MG ( $a_0 = 6,963 \text{ \AA}$  e  $c_0 \pm 16,33 \text{ \AA}$ ) (JCPDS). Os teores médios desses fosfatos é de 1,7% (Tabela 4). Estes minerais não são reconhecíveis ao microscópio óptico, estando em cristais muito finos dispersos na matriz ferruginosa.

A Tabela 11 apresenta a composição química dos fosfatos do grupo da crandalita obtida por microsonda eletrônica. Nessa tabela observa-se elevados teores de Ce, La, Nb e Th, além de Ba, Ca e Sn, compatíveis com florencita.

Florencita também tem sido encontrada nos perfis lateríticos derivados de carbonatitos como Akongo (BRAUN *et al.*, 1990) e em Bicas (SVISERO *et al.*, 1984).

Tabela 9 - Parâmetros da cela unitária de ilmenorutilo, rutilo e brookita da crosta de Seis Lagos e da literatura.

Mineral	Seis Lagos	Literatura
Ilmenorutilo	$a_o = 4,6280 \pm 0,0077$ $c_o = 2,9928 \pm 0,0157$	$a_o = 4,619^1$ $c_o = 3,002^1$
Brookita	$a_o = 5,4770 \pm 0,0027$ $b_o = 9,2185 \pm 0,0046$ $c_o = 5,1640 \pm 0,0021$	$a_o = 5,45^2$ $b_o = 9,18^2$ $c_o = 5,14^2$
Rutilo	$a_o = 4,6146 \pm 0,0045$ $b_o = 2,9580 \pm 0,0038$	$a_o = 4,593^1$ $b_o = 2,959^1$

1. ADUSUMILLI (1991)

2. DEER *et al.* (1992)

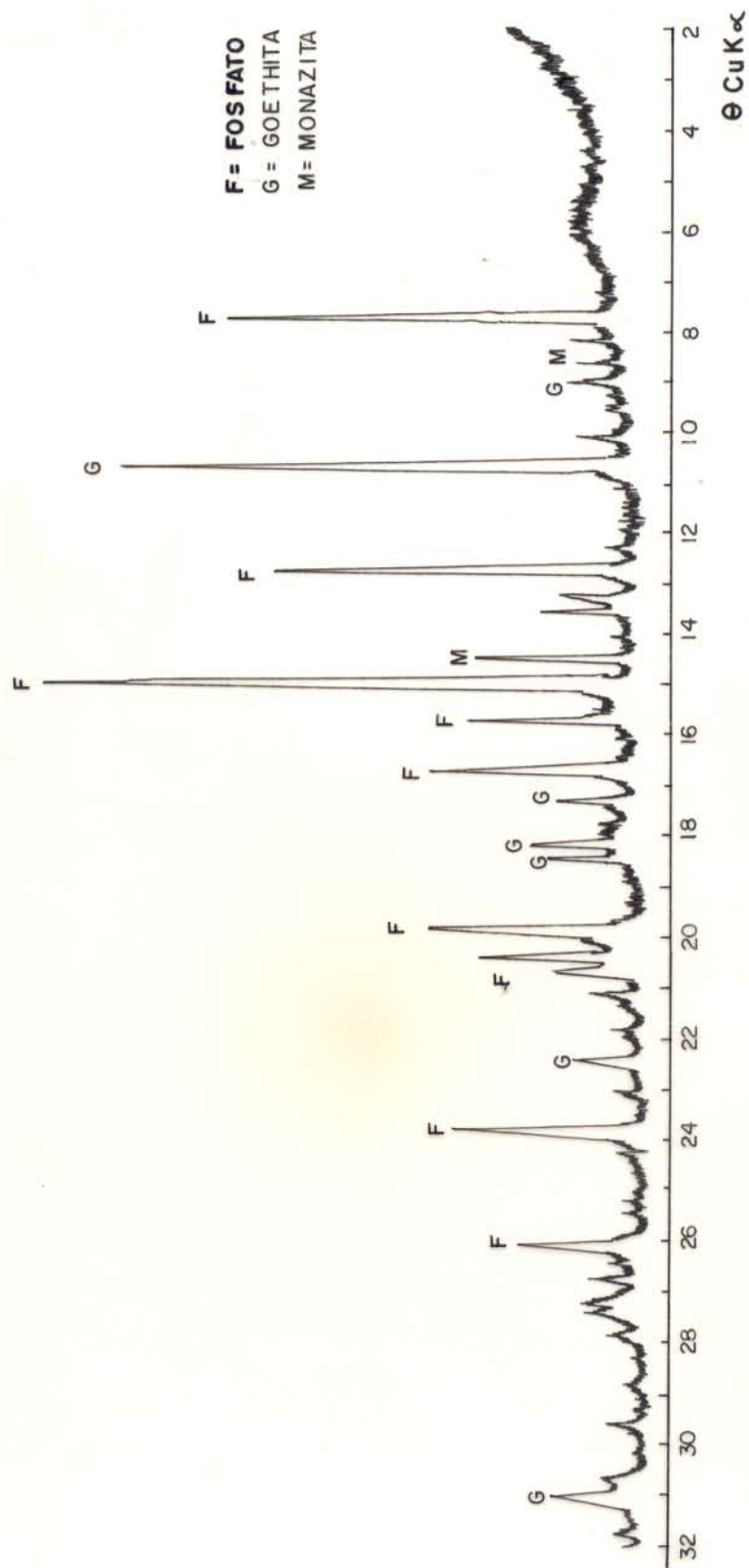


Figura 18 - Padrão difratométrico dos fosfatos do grupo da crandalita da crosta de Seis Lagos.

Tabela 10 - Reflexões de difração de raios-X e suas intensidades relativas para a florencita de Seis Lagos, de várias ocorrências e do JCPDS

Seis Lagos d	Bicas (1) d I/Io	Bodaybo (2) d I/Io	Zaire (3) d I/Io	JCPDS (8-143) d I/Io
5,676	5,64 (70%)	5,70 (30%)	5,67 (90%)	5,63 (90%)
--	5,31 (20%)	--	--	--
3,482	3,48 (40%)	3,48 (30%)	3,49 (70%)	3,48 (70%)
3,353	3,34 (12%)	3,23 (20%)	3,37 (10%)	3,37 (10%)
2,967	2,92 (100%)	2,93 (100%)	2,93 (100%)	2,93 (100%)
2,846	2,82 (26%)	--	2,86 (20%)	2,83 (20%)
2,673	2,69 (36%)	2,70 (10%)	2,74 (20%)	2,71 (40%)
2,434	2,41 (15%)	2,42 (20%)	--	2,42 (50%)
2,272	2,26 (34%)	2,21 (40%)	2,21 (10%)	2,28 (20%)
2,212	2,19 (30%)	--	2,17 (80%)	2,21 (80%)
2,181	2,15 (16%)	2,17 (80%)	--	2,16 (80%)
--	2,13 (20%)	--	--	--
2,020	1,98 (14%)	1,99 (10%)	--	1,99 (20%)
1,904	1,88 (35%)	1,89 (80%)	1,88 (70%)	1,885 (80%)
1,752	1,74 (23%)	1,75 (60%)	1,74 (70%)	1,741 (70%)
1,685	1,68 (12%)	--	--	1,683 (10%)
1,673	1,62 (10%)	--	1,60 (70%)	1,661 (10%)
1,650	1,59 (10%)	--	--	1,600 (40%)
1,495	-- (18%)	--	--	1,486 (50%)

(1), (2) e (3) - SVISERO *et al.* (1984)

Tabela 11 - Composição química média dos fosfatos do grupo da crandalita, obtida por microsonda eletrônica, na crosta de Seis Lagos.

Óxidos	% (em peso)*
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	18,192
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,801
Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,547
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,512
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2,342
ThO <sub>2</sub>	1,932
BaO	0,769
CaO	0,600
SnO <sub>2</sub>	0,178
Na <sub>2</sub> O	0,000
MnO	0,000

\* 7 pontos analisados

### Monazita

A monazita foi identificada nas crostas apenas por difração de raios-X, onde é rara (CB-114, CB-70, CB-21). A presença de monazita tem sido registrada em perfis lateríticos derivados de complexos carbonatíticos, como mineral herdado. Ela ocorre em Catalão (VALARELLI, 1971; CARVALHO, 1974), nos lateritos de Mt. Weld (LOTTERMOSER, 1990), nos solos sobre carbonatitos em Sukulu (REEDMAN, 1984).

### 4.2.5 Pirocloro

Em Seis Lagos, segundo a difração de raios-X (Figura 19), o pirocloro está representado pelo bariopirocloro (pandaíta) (Tabela 12), comparável com o de Catalão e do JCPDS (Joint Committee on Powder Diffraction Standards). A dimensão de sua cela unitária ( $a_0 = 10,5214 \pm 0,0058 \text{ \AA}$ ) equivale a pandaíta de Catalão ( $a_0 = 10,526 \pm 0,005 \text{ \AA}$ ) (VALARELLI, 1971) e de Panda Hill ( $a_0 = 10,5620 \text{ \AA}$ ) (JCPDS). O pirocloro é um mineral também encontrado em perfis derivados de carbonatito, como mineral herdado, a exemplo de Araxá (SILVA *et al.*, 1979), Mabounié (LAVAL *et al.*, 1988), Sukulu (REEDMAN, 1984) e San Vicente (HODGSON & Le Bas, 1992).

Durante a lateritização o pirocloro sofre modificações em suas propriedades químicas, como perda de Ca e Na (LAVAL *et al.*, 1988; MARIANO, 1989), enriquecendo-se em Ba e ETR, como Wigu Hill (HOGARTH, 1989; MARIANO, 1989), Catalão (VALARELLI, 1971), Araxá (ISSA FILHO *et al.*, 1984), Mabounié (LAVAL *et al.*, 1988). Em Seis Lagos, os dados obtidos indicam que o pirocloro primário também sofreu modificações químicas, enriquecendo-se em Ba, transformando-se em pandaíta.

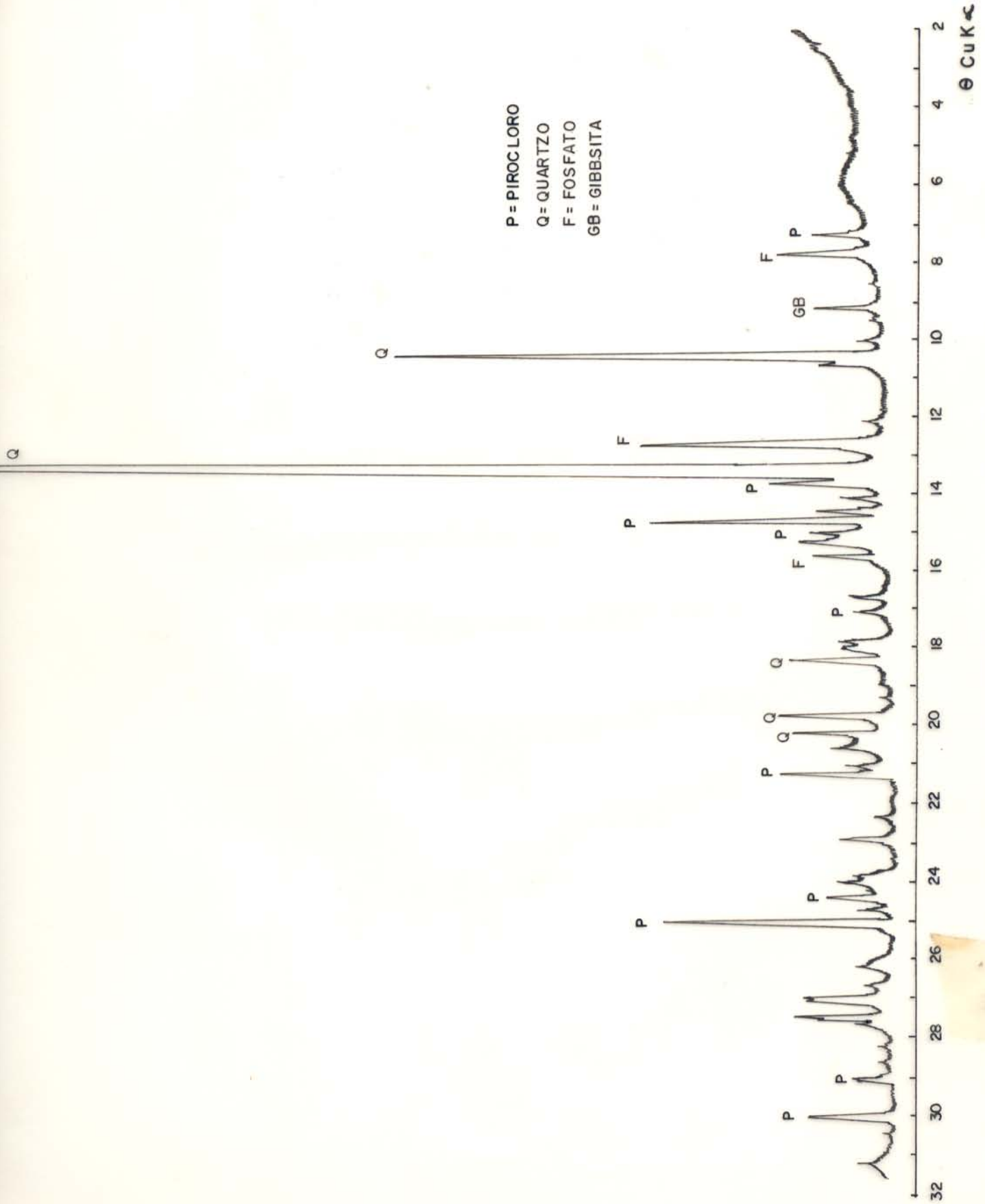


Figura 19 - Padrão difratométrico do pirocloro da crosta de Seis Lagos.

Tabela 12 - Comparação das reflexões do pirocloro identificado em Seis Lagos com a pandaíta de Catalão e do JCPDS.

Pirocloro de Seis Lagos		Pandaíta de Catalão*		Pandaíta JCPDS (nº12.285)	
d	(I/I <sub>0</sub> )	d	(I/I <sub>0</sub> )	d	(I/I <sub>0</sub> )
6,08	(25%)	5,980	(70%)	6,090	(80%)
3,162	(17%)	3,160	(50%)	3,180	(50%)
3,025	(100%)	3,010	(100%)	3,040	(100%)
2,622	(12%)	2,620	(40%)	2,636	(40%)
2,147	(13%)	2,140	(40%)	2,156	(40%)
2,025	(8%)	2,010	(70%)	2,029	(70%)
1,861	(25%)	1,856	(15%)	1,864	(15%)
1,814	(97%)	1,776	(5%)	1,781	(5%)
1,606	(6%)	--	(70%)	1,609	(70%)
1,587	(17%)	1,584	(20%)	1,590	(20%)

\* VALARELLI (1971)



#### 4.2.6 Cerianita

Em Seis Lagos, a cerianita foi identificada através de difração de raios-X (Figura 20 e Tabela 13) de um fragmento da crosta, constituído essencialmente de goethita fibro-radial imersa em massa criptocristalina também de goethita. Infelizmente o mineral é de difícil visualização, devido o minúsculo tamanho de seus cristais ( $< 10 \mu\text{m}$ ) e o envolvimento por massa criptocristalina de oxi-hidróxidos de ferro. A composição mineralógica da rocha total encontra-se na Tabela 14, onde o teor de cerianita encontrado é de 1,9 %.

A composição química da rocha (Tabela 15) é formada basicamente de ferro (83,06 % de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), PF (11,19 %) e  $\text{TR}_2\text{O}_3$  (1,78 %). Como não foi identificado na rocha nenhum outro mineral de ETR, que não a cerianita, toda a concentração de ETR foi admitida como cerianita. A composição química da cerianita (Tabela 16) foi recalculada a partir da composição química da rocha total (Tabela 15), cuja fórmula mínima é a seguinte:



X representa a soma dos demais ETR (Sm+Eu+Gd+Dy+Ho+Er+Yb+Lu).

A dimensão de sua cela unitária ( $a_0 = 5,3969 \pm 0,0025 \text{ \AA}$ ) e sua densidade calculada ( $d = 7,26 \text{ g/cm}^3$ ), equivalem-se a da cerianita do depósito de terras raras de Karonge (República de Burundi-África), segundo WAMBEKE (1977).

A cerianita, um mineral raro, isométrico, isoestrutural com a fluorita, assim como a torianita e a uraninita, vem sendo noticiada com certa frequência em perfis de intemperismo, formada por esse processo, onde ocorre concentração de ETR como em Mt. Weld (Austrália), Karonge (República de Burundi) e Poços de Caldas (Brasil).

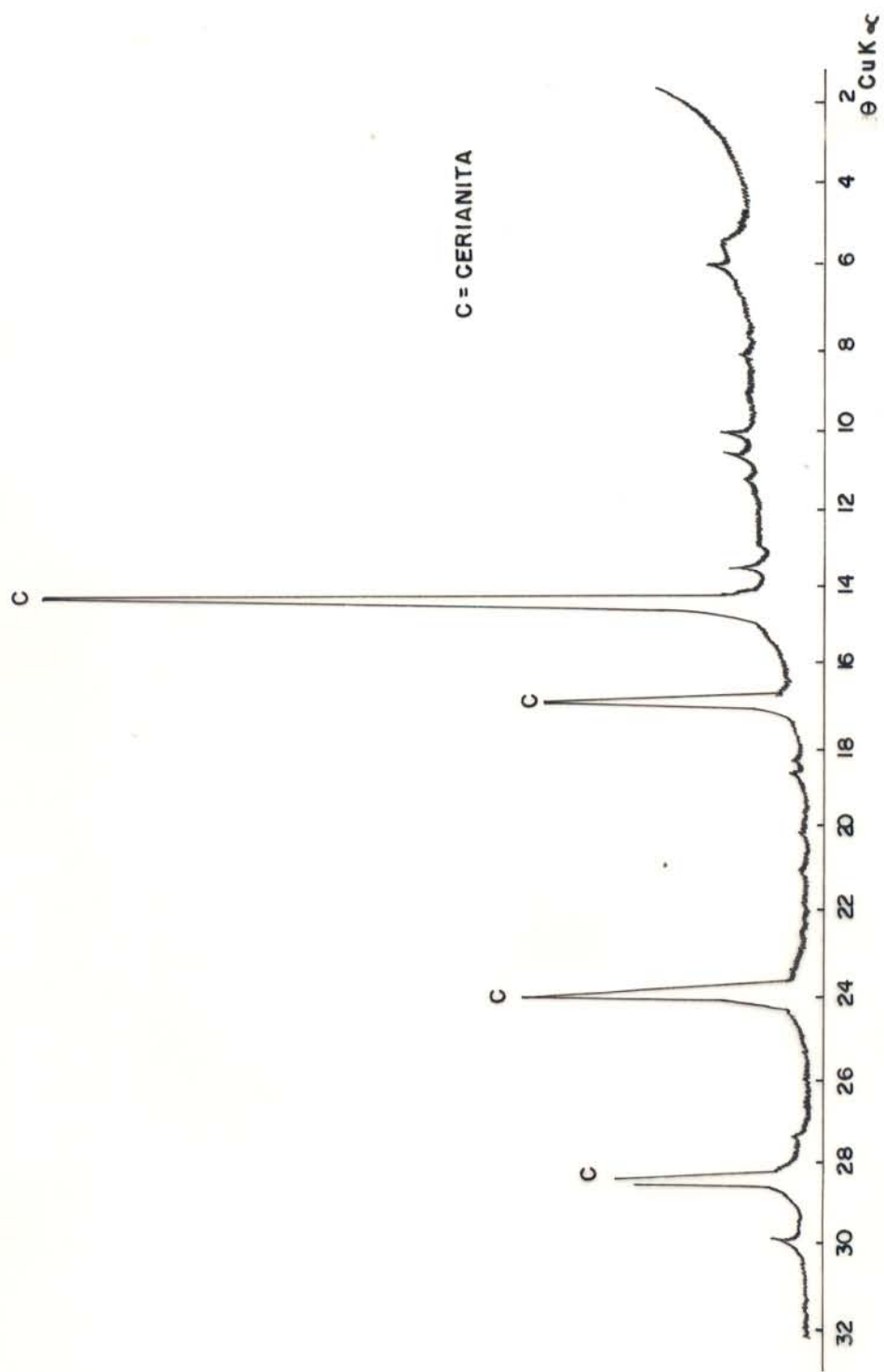


Figura 20- Padrão difratométrico da cerianita da crosta de Seis Lagos.

Tabela 13 - Principais reflexões de difração de raios-X da cerianita de Seis Lagos e do JCPDS.

Cerianita de Seis Lagos		JCPDS (n° 4 - 593)	
d	(I/I <sub>0</sub> )	d	(I/I <sub>0</sub> )
3,122	(100%)	3,124	(100%)
2,696	(41%)	2,706	(29%)
1,907	(26%)	1,913	(51%)
1,627	(26%)	1,632	(44%)
1,544	(6%)	1,562	(5%)

Tabela 14 - Composição mineralógica da amostra total portadora de cerianita, calculada a partir da composição química.

Mineral	% peso
Goethita + hematita	92,4
Nb-rutilo	1,3
Cerianita	1,9
Outros	4,4
Total	100,0

#### 4.2.7 Zircão e Quartzo

Esses minerais foram identificados por difração de raios-X e observados ao microscópio óptico. O quartzo apresenta-se como grãos monocristalinos raros, bastante fraturados, geralmente com contornos corroídos e suas formas variam de subangulares a subarredondadas). O zircão, um acessório comum, ocorre como pequenos cristais geralmente prismáticos.

#### 4.2.8 Gibbsita

A gibbsita foi identificada por difração de raios-X em uma única amostra (CB-64) e através de análises por microscopia eletrônica. A gibbsita encontra-se na crosta envolvendo cristais de goethita, e também preenchendo poros e fissuras deste mineral (Figura 21).

### 4.3 GEOQUÍMICA

#### 4.3.1 Composição Química

A Figura 22 mostra as concentrações médias e as variações de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$  e perda ao fogo (PF), nas crostas de Seis Lagos. Os resultados analíticos são apresentados nos anexos (Tabelas A1 e A2). A crosta aflorante caracteriza-se por apresentar concentrações muito altas de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , com média de 79,40 % e variação de 61,76 a 89,07 %, significativas de  $\text{TiO}_2$ , em média 3,84 %, variando de 0,60 a 12,54 %, 0,42 % em média de  $\text{P}_2\text{O}_5$ , teores relativamente muito baixos de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (0,20 a 1,51 %),  $\text{CaO}$  (0,05 a 0,21 %),  $\text{MgO}$  (0,04 a 0,1 %),  $\text{Na}_2\text{O}$  (0,06 a 0,14 %) e  $\text{K}_2\text{O}$  (0,02 a 0,08 %), compatíveis com os seus teores verificados nas crostas lateríticas sobrepostas a complexos carbonatíticos (Sukulu, Maicuru, Mt. Weld). São crostas formadas basicamente de Fe, na forma hidratada (alto teor de PF), e Ti em proporção muito menor. Os diagramas da Figura 23 mostram esse domínio do Fe e ao

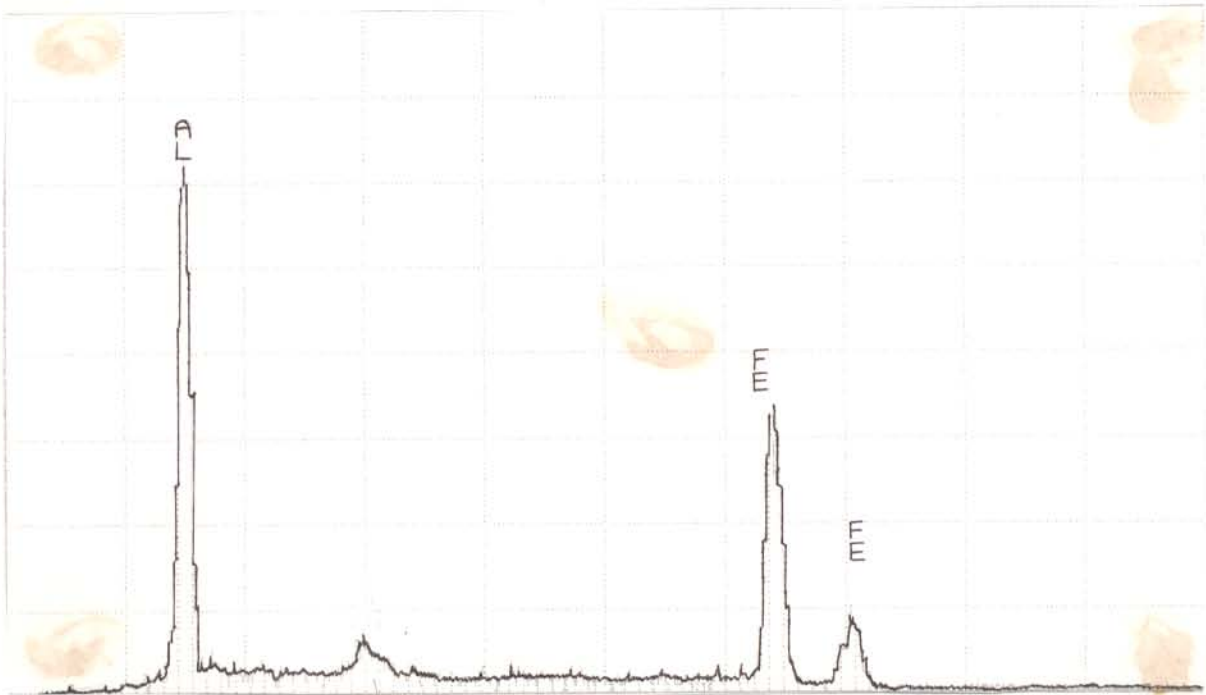
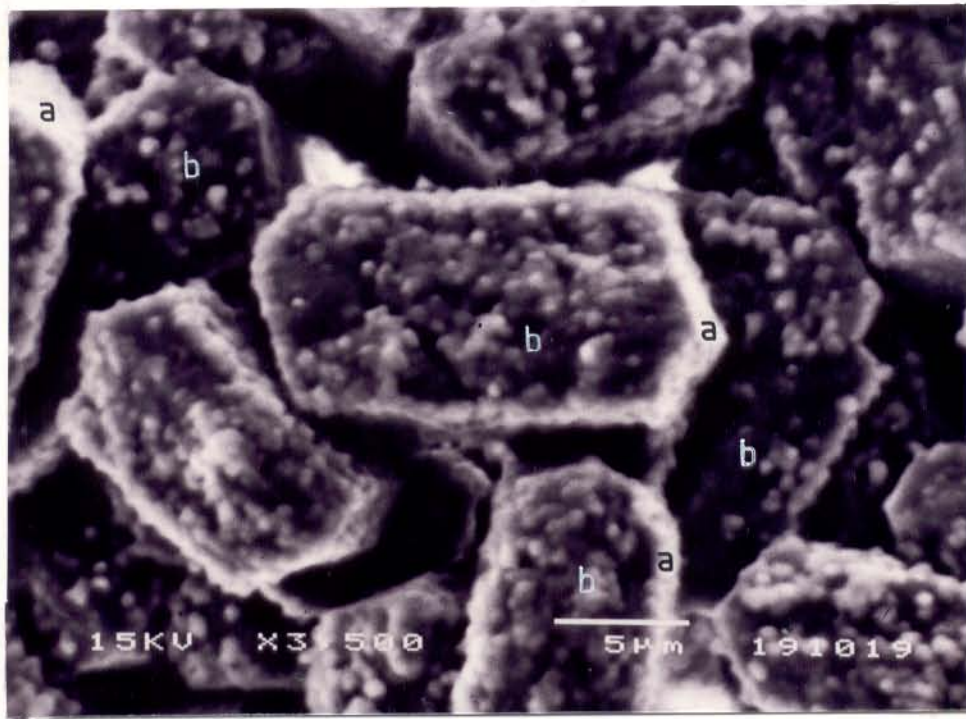


Figura 21 - Gibbsita (a) envolvendo cristais de goethita (b).

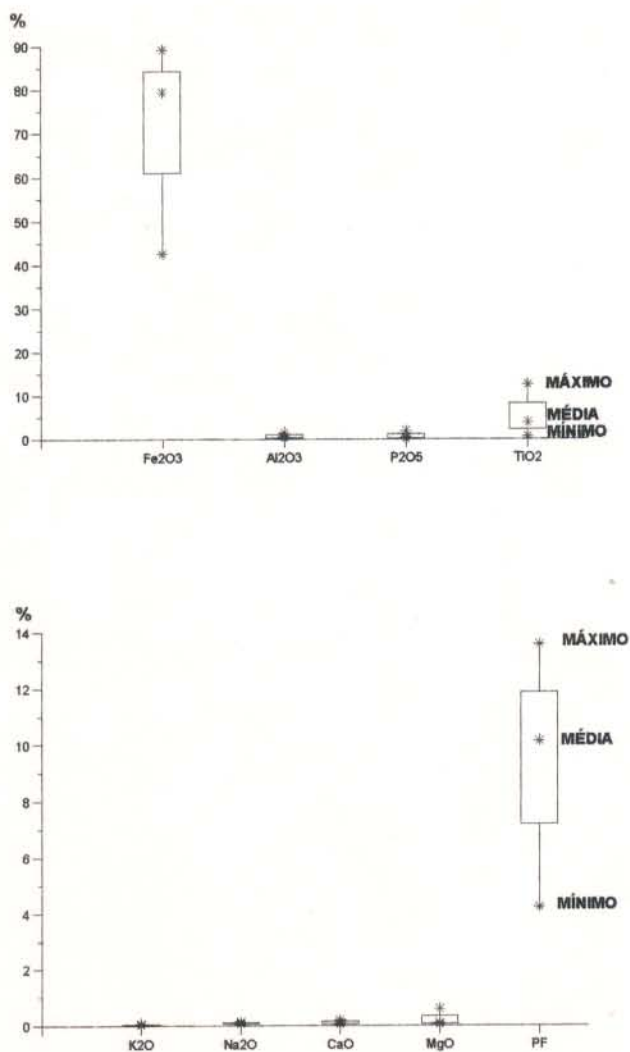


Figura 22 - Médias e variações das concentrações dos elementos maiores nas crostas de superfície de Seis Lagos. N=26.

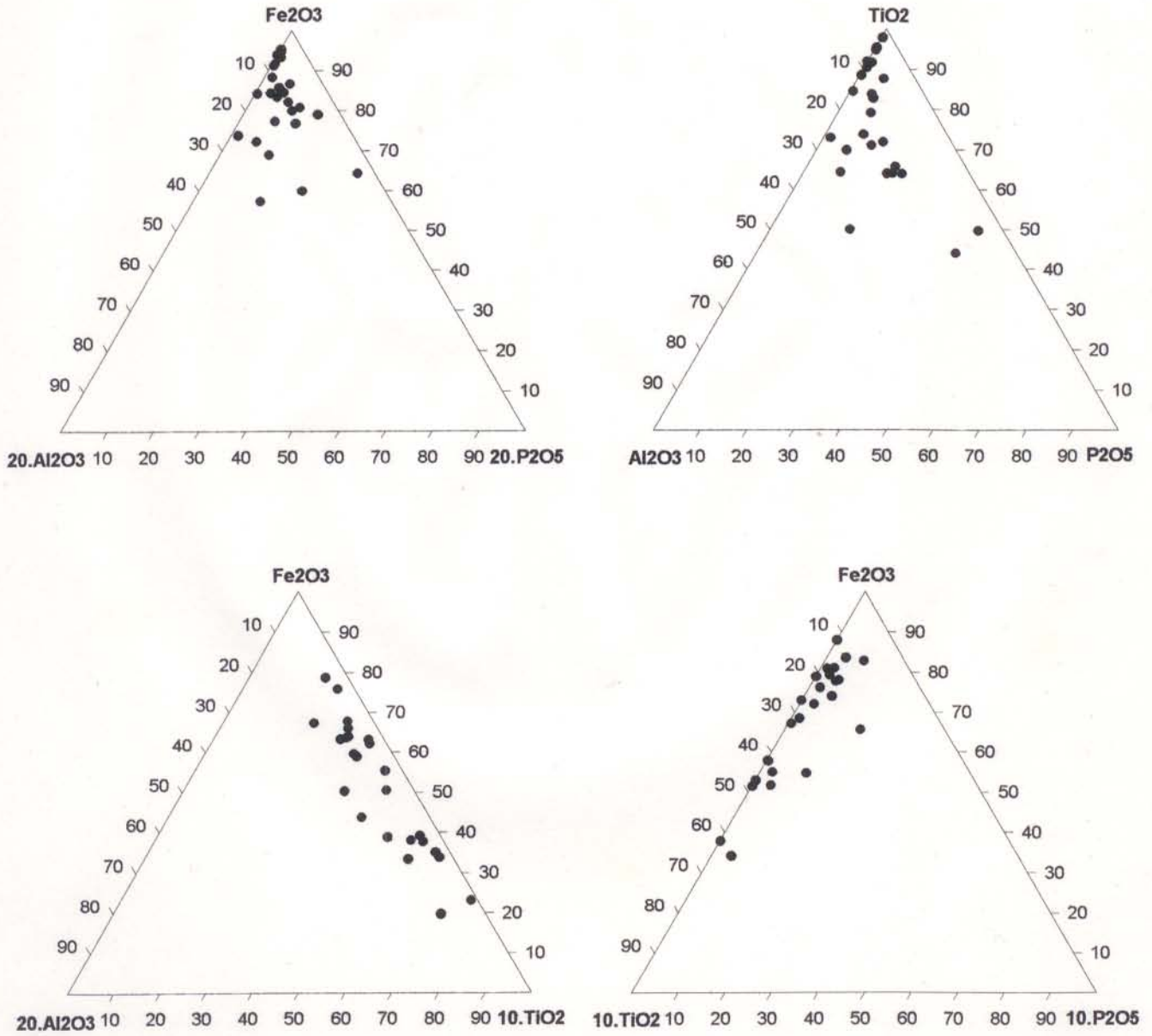


Figura 23 - Diagramas ternários, mostrando a composição química da crosta aflorante em Seis Lagos.

mesmo tempo o espalhamento acentuado dos teores de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  e  $\text{TiO}_2$ , indicando que, embora em concentrações baixas, são bastante heterogêneas dentro das crostas. Crostas ferruginosas tão ricas em Fe, são conhecidas fundamentalmente sobre formações ferríferas e sobre carbonatitos.

### 4.3.2 Elementos Traços

#### 4.3.2.1 Nióbio

Entre os diversos elementos traços analisados nas crostas ferruginosas, destacam-se em primeiro lugar as concentrações relativamente altas de Nb, em média 0,96 %, variando de 0,084 até 2,9 % (Figura 24), que como  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  alcança 4,15 %. Esses teores estão distribuídos por quase toda a estrutura e fora dela, como é mostrado na Figura 25, concentrando-se no centro e na parte NW da estrutura. Na área do lago do Dragão, próxima ao furo 1 (F1), a CPRM cubou reservas de 2.800.000 toneladas, com teor médio de 4,0 % de  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  (JUSTO & SOUZA, 1984). Na maioria dos lateritos os teores de Nb são inferiores a 40 ppm, sendo encontrados anomalmente apenas naqueles derivados de complexos carbonatíticos (MARIANO, 1989; WOOLLEY & KEMPE, 1989). Grandes reservas de Nb foram encontradas assim em perfis interméricos sobrepostos a esses complexos como em Sukulu, Mabounié, Araxá, Catalão (Tabela 1).

Em Seis Lagos essas concentrações de Nb não se expressam como pirocloro, como na maioria dos depósitos conhecidos no mundo (HEINRICH, 1980; MARIANO, 1989), mas como ilmenorutilo, basicamente, descrito anteriormente. O diagrama binário da Figura 26, que mostra correlação positiva entre Ti e Nb, compatível com os dados anteriormente encontrados no item 4.2.3, sugerindo que a presença apenas do ilmenorutilo pode justificar a quantidade de Nb encontrado em Seis Lagos.



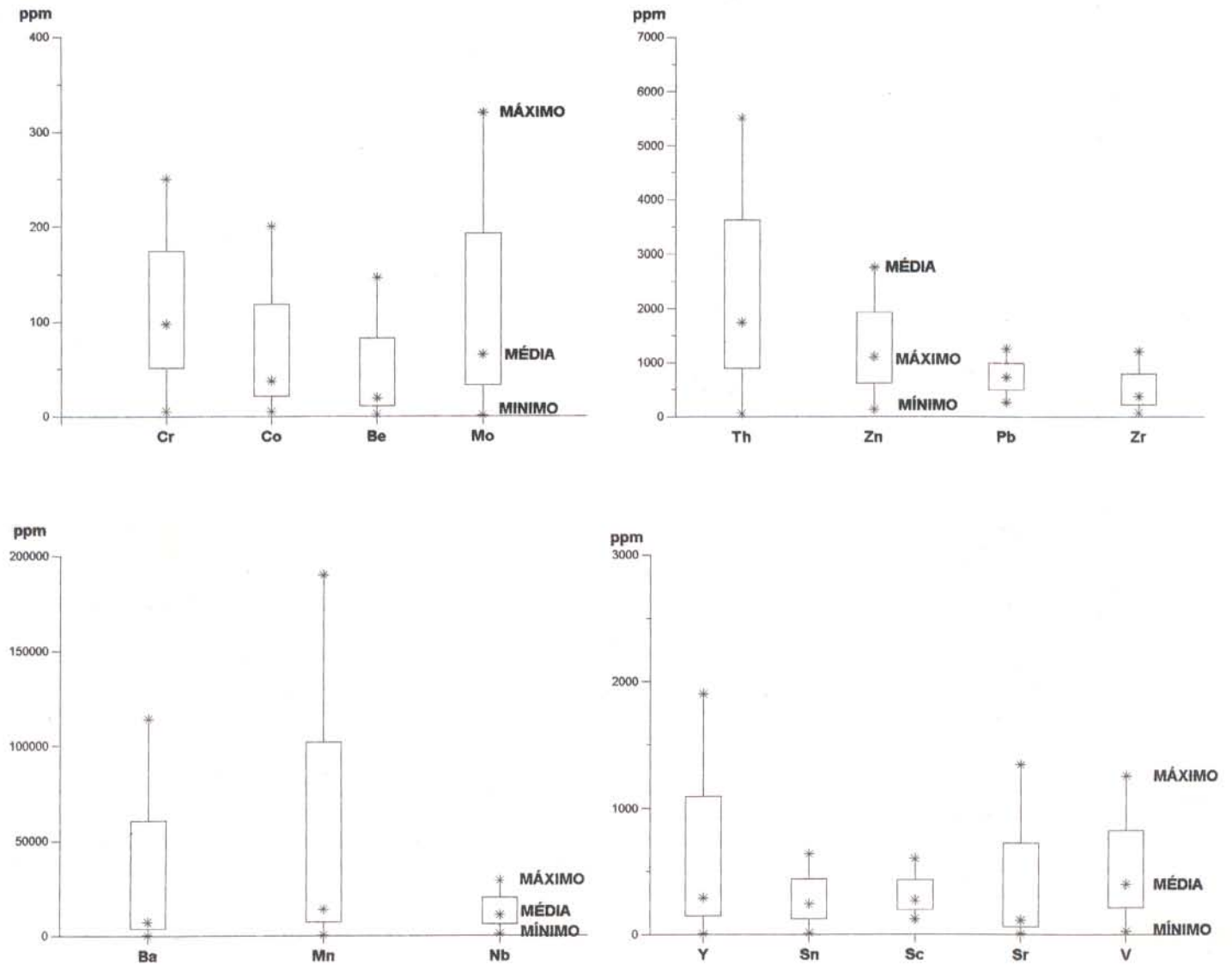


Figura 24 - Médias e variações das concentrações dos elementos traços nas crostas de superfície de Seis Lagos. N=26.

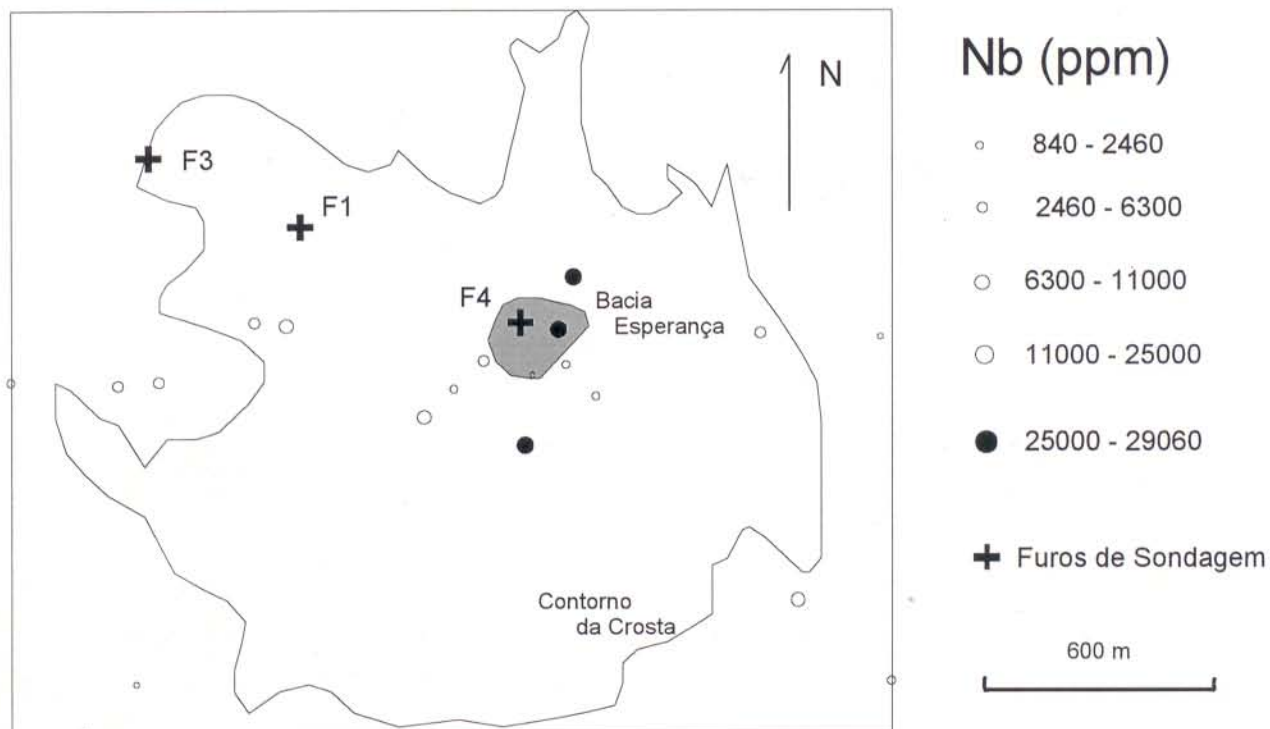


Figura 25 - Mapa de distribuição dos teores de Nb na área de Seis Lagos.

#### 4.3.2.2 Bário, Manganês e Cobalto

Outro elemento traço que se apresenta em concentrações muito elevadas é o bário, em média 0,43 % de Ba, variando de 71 ppm a 11,4 % (Figura 24). Os teores de Ba mais elevados ocorrem na parte SW da estrutura e nas enCOSTAs (SW) desta, e os mais baixos na parte central (Figura 27).

Nas crostas de Seis Lagos ocorrem romanechita e hollandita, além de barita descrita por VIÉGAS FILHO & BONOW (1976). Concentrações de bário em crostas lateríticas geralmente estão abaixo dos níveis crustais, exceto em crostas ferruginosas ricas em fosfatos de alumínio como mostram os exemplos do Gurupi (Itacupim e Jandiá) (COSTA, 1980). Crostas derivadas de complexos carbonatíticos normalmente apresentam valores anômalos de Ba, a exemplo de Sukulu,

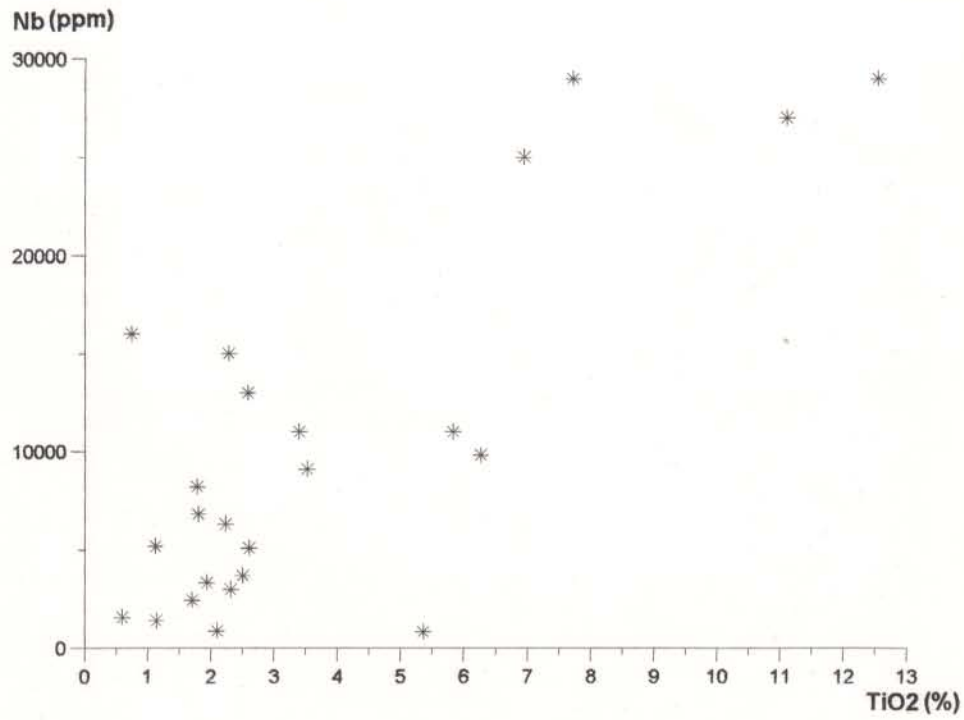


Figura 26 - Diagramas de correção entre  $TiO_2$  e Nb na crosta de Seis Lagos

Mt. Weld, Catalão e Araxá, onde ocorrem como gorceixita e hollandita (REEDMAN, 1984; LOTTERMOSER, 1990).

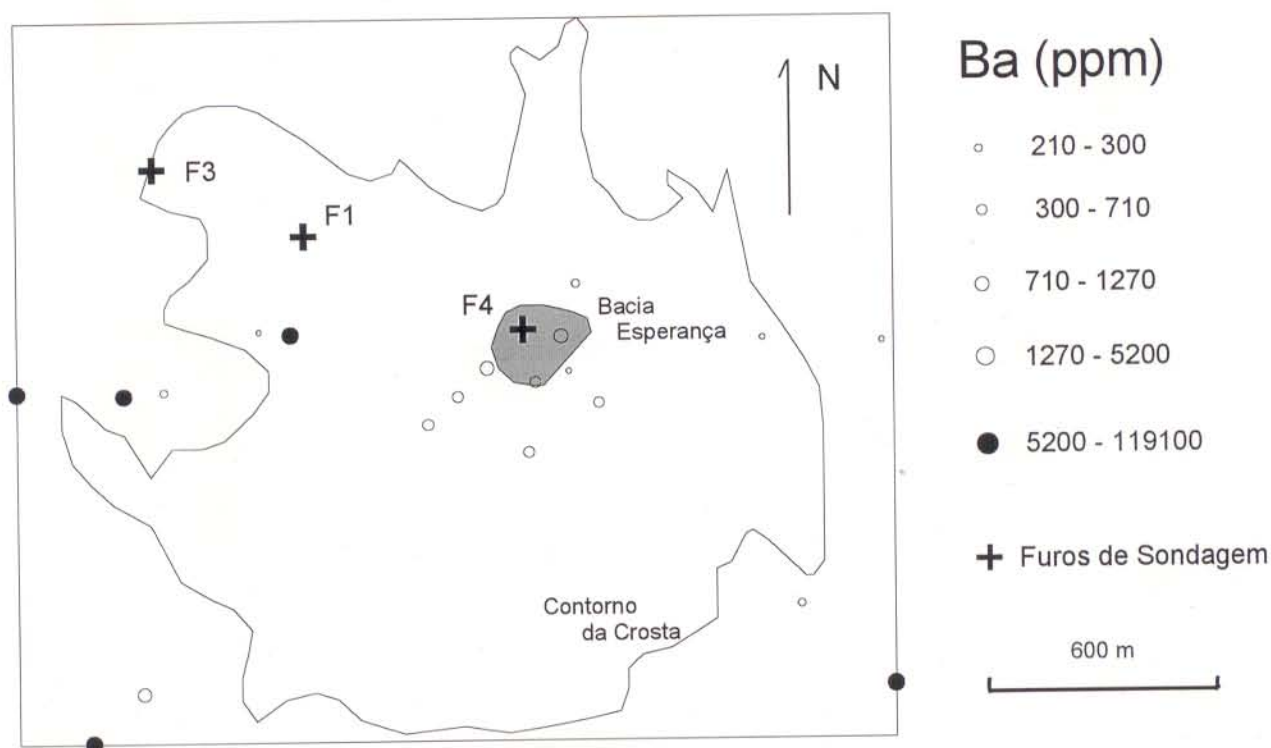


Figura 27 - Mapa de distribuição dos teores de Ba na área de Seis Lagos.

O manganês, um elemento menor, na crosta de Seis lagos encontra-se em concentrações anômalas, em média 2,30 %, e variação de 0,03 a 19,00 % (Figura 22). Esses teores tem distribuição na área de Seis lagos (Figura 28) semelhante aos do Ba. Os elevados teores de Mn estão relacionados a elevados teores de Ba, formando romanechita e hollandita. Isso é ressaltado na correlação positiva entre Mn e Ba nas amostras com ocorrência desses minerais (Figura 29). As amostras isoladas, que contém elevados teores de Ba e baixos de Mn, não contém esses minerais, podendo indicar a presença de barita, que foi encontrada em Seis Lagos (VIÉGAS FILHO & BONOW, 1976), porém não identificada nas crostas aqui estudadas. Crostas lateríticas ricas em manganês estão normalmente relacionadas à formações manganesíferas primárias (sedimentares,

metamórficas), como Carajás, Serra do Navio, e também sobre crostas derivadas de complexos carbonatíticos como Sukulu e Mt. Weld.

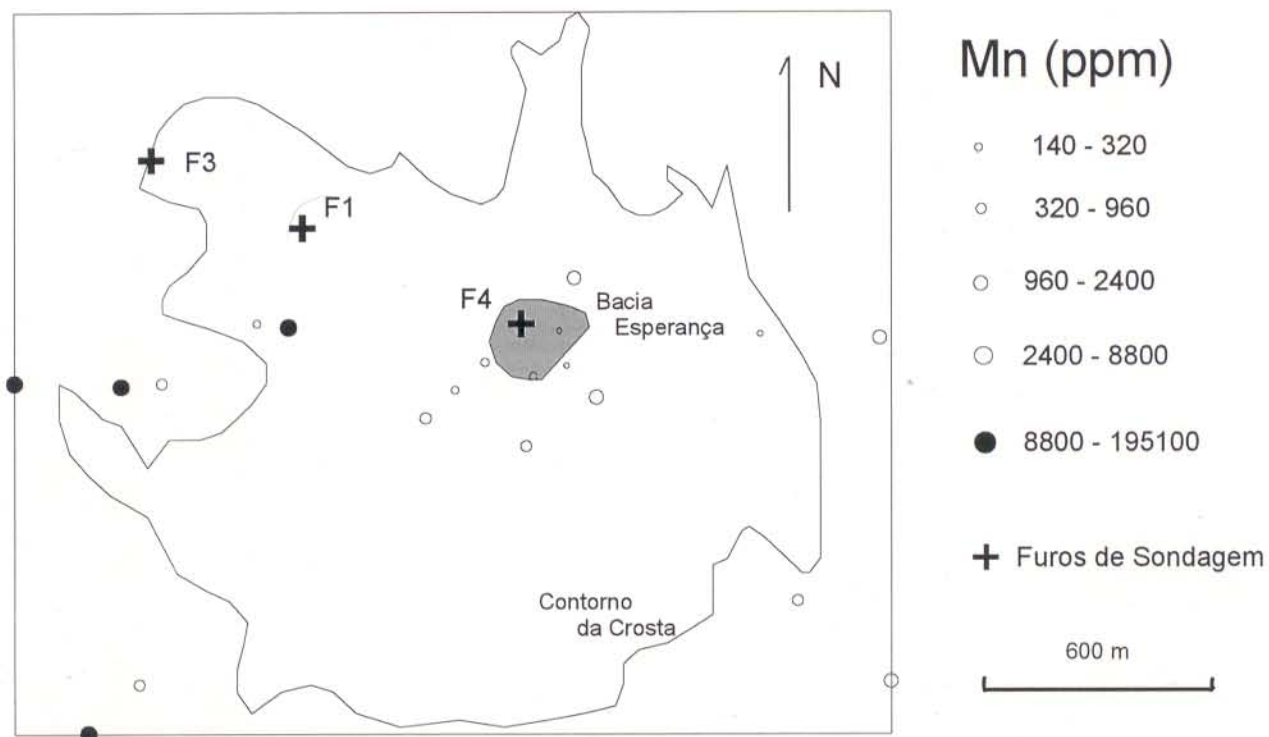


Figura 28 - Mapa de distribuição dos teores de Mn na área de Seis Lagos.

O cobalto também se encontra nas crostas em valores anômalos, média de 42 ppm (Figura 24), e fortemente correlacionável com Ba e Mn (Figura 29), onde deve fazer parte dos minerais oxi-hidróxidos (cristalinos e/ou amorfos) desses elementos. Naquelas amostras (CB-48, CB-58 e CB-114) em que não há correlação positiva com o Ba, é porque este deve estar na forma de barita, que não contém Mn, com que o Co se correlaciona negativamente. Esse comportamento semelhante do Co com Mn e Ba é clássico de depósitos supergênicos de manganês, onde ocorrem na forma de oxi-hidróxidos (LELONG *et al.*, 1976). A correlação altamente significativa entre

## Monazita

A monazita foi identificada nas crostas apenas por difração de raios-X, onde é rara (CB-114, CB-70, CB-21). A presença de monazita tem sido registrada em perfis lateríticos derivados de complexos carbonatíticos, como mineral herdado. Ela ocorre em Catalão (VALARELLI, 1971; CARVALHO, 1974), nos lateritos de Mt. Weld (LOTTERMOSER, 1990), nos solos sobre carbonatitos em Sukulu (REEDMAN, 1984).

### 4.2.5 Pirocloro

Em Seis Lagos, segundo a difração de raios-X (Figura 19), o pirocloro está representado pelo bariopirocloro (pandaíta) (Tabela 12), comparável com o de Catalão e do JCPDS (Joint Committee on Powder Diffraction Standards). A dimensão de sua cela unitária ( $a_0 = 10,5214 \pm 0,0058 \text{ \AA}$ ) equivale a pandaíta de Catalão ( $a_0 = 10,526 \pm 0,005 \text{ \AA}$ ) (VALARELLI, 1971) e de Panda Hill ( $a_0 = 10,5620 \text{ \AA}$ ) (JCPDS). O pirocloro é um mineral também encontrado em perfis derivados de carbonatito, como mineral herdado, a exemplo de Araxá (SILVA *et al.*, 1979), Mabounié (LAVAL *et al.*, 1988), Sukulu (REEDMAN, 1984) e San Vicente (HODGSON & LE BAS, 1992).

Durante a lateritização o pirocloro sofre modificações em suas propriedades químicas, como perda de Ca e Na (LAVAL *et al.*, 1988; MARIANO, 1989), enriquecendo-se em Ba e ETR, como Wigu Hill (HOGARTH, 1989; MARIANO, 1989), Catalão (VALARELLI, 1971), Araxá (ISSA FILHO *et al.*, 1984), Mabounié (LAVAL *et al.*, 1988). Em Seis Lagos, os dados obtidos indicam que o pirocloro primário também sofreu modificações químicas, enriquecendo-se em Ba, transformando-se em pandaíta.

85) com 15 pontos analisados, indica que a goethita contém em média 1,7 % de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e 1,2 % de  $\text{SiO}_2$ . Goethitas semelhantes foram encontradas por HORBE & COSTA (1994) em latossolos amazônicos, que representam uma superfície de acumulação residual de Fe, Si, Al e Ti. Além destes elementos, a matriz ferruginosa contém Pb, mas é pobre em Ba, Mn, Ga, ERT, Zr, Th e Nb. Análises de regressão linear mostram correlações Nb-Ti, P-Al-ETR(La, Ce)-Th-(Pb), que correspondem aos minerais de Ti-Nb e os fosfatos do grupo da crandalita. A relação  $\text{Ti/Nb} = 0,70$  é compatível ao encontrado para ilmenorutilo (0,62) por ADUSUMILLI (1991). Tudo indica assim que a goethita não contém esses elementos, mas envolve micristais de minerais de Ti-Nb e de fosfatos de alumínio, e não são os principais carreadores de Nb.

#### 4.2.2 Minerais de Manganês

Os minerais de Mn identificados foram hollandita, romanechita e oxi-hidróxidos amorfos. Os teores destes minerais são variáveis e expressivos atingindo até 41,9 % (Tabela 4), e compõem as crostas manganésíferas, situadas na área SW da estrutura (Figura 7). Apresentam-se com aspecto pulverulento, estruturas de segregação e por vezes botrioidal. Ao microscópio, os oxi-hidróxidos de manganês ocorrem como plasma de coloração negra, preenchendo fraturas ou formando manchas na forma arborescente (Figura 14) sobre goethita microcristalina.

A romanechita ( $\text{BaMn}_9\text{O}_{16}(\text{OH}_4)$ ) é a denominação atual da psilomelana (KLEIN & HURLBUT Jr, 1992), que é uma mistura de vários óxidos de manganês. Tem seu padrão difratométrico mostrado na Figura 15. A rocha com romanechita (Tabela 7) é formada basicamente de ferro (42,6 %  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), manganês (24,5 % MnO), e bário (12,73 % BaO). São elevados os teores de ETR (1,36 %), Be (146 ppm) e Co (200 ppm).



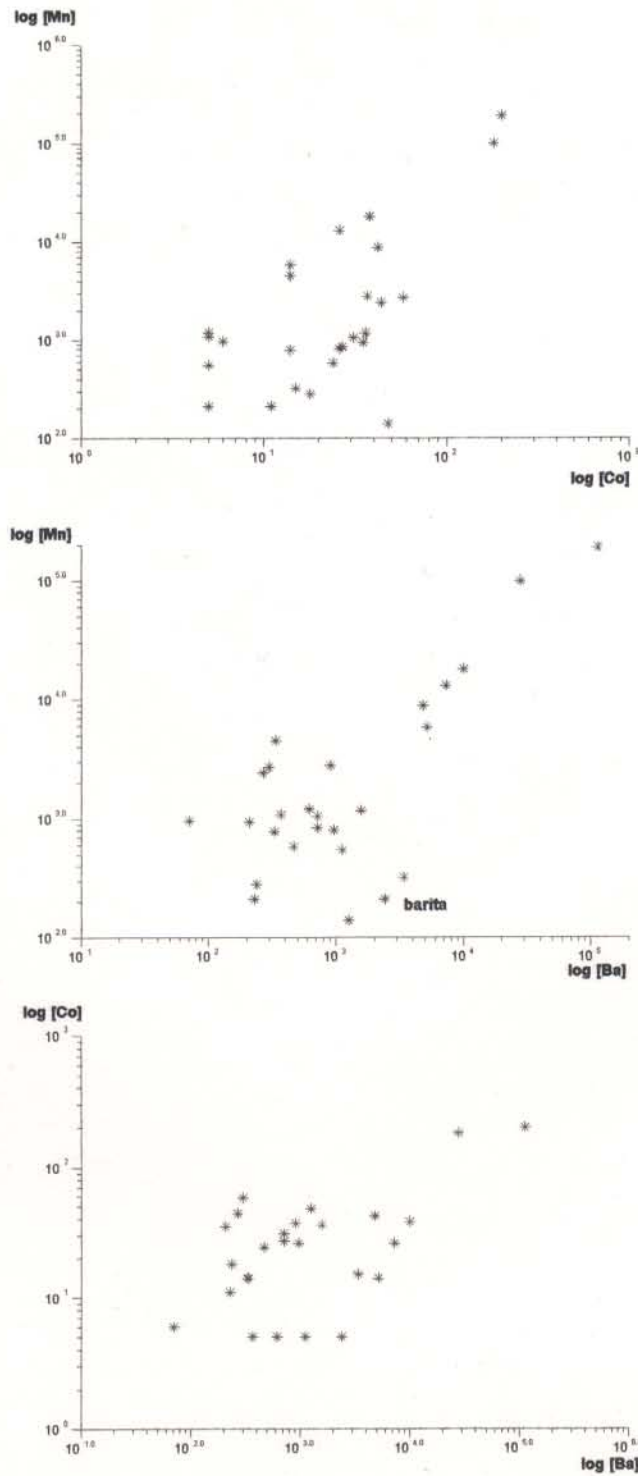


Figura 29 - Diagramas de correlação entre Mn, Ba e Co na crosta de Seis Lagos.



esses elementos, aliada aos seus teores elevados, sugere a influência também de rochas ultramáficas.

#### 4.3.2.3 Vanádio, Zircônio e Estanho

Os teores de Zr (70 a 1200 ppm) e V (24 a 1250 ppm) (Figura 24) distribuídos na crosta de Seis Lagos (Figuras 30 e 31) estão dentro da normalidade de crostas lateríticas se comparando com os dados de KRONBERG *et al.* (1979), COSTA (1982), REEDMAN (1984), LOTTERMOSER (1990) e COSTA *et al.* (1991) (Tabela 17).

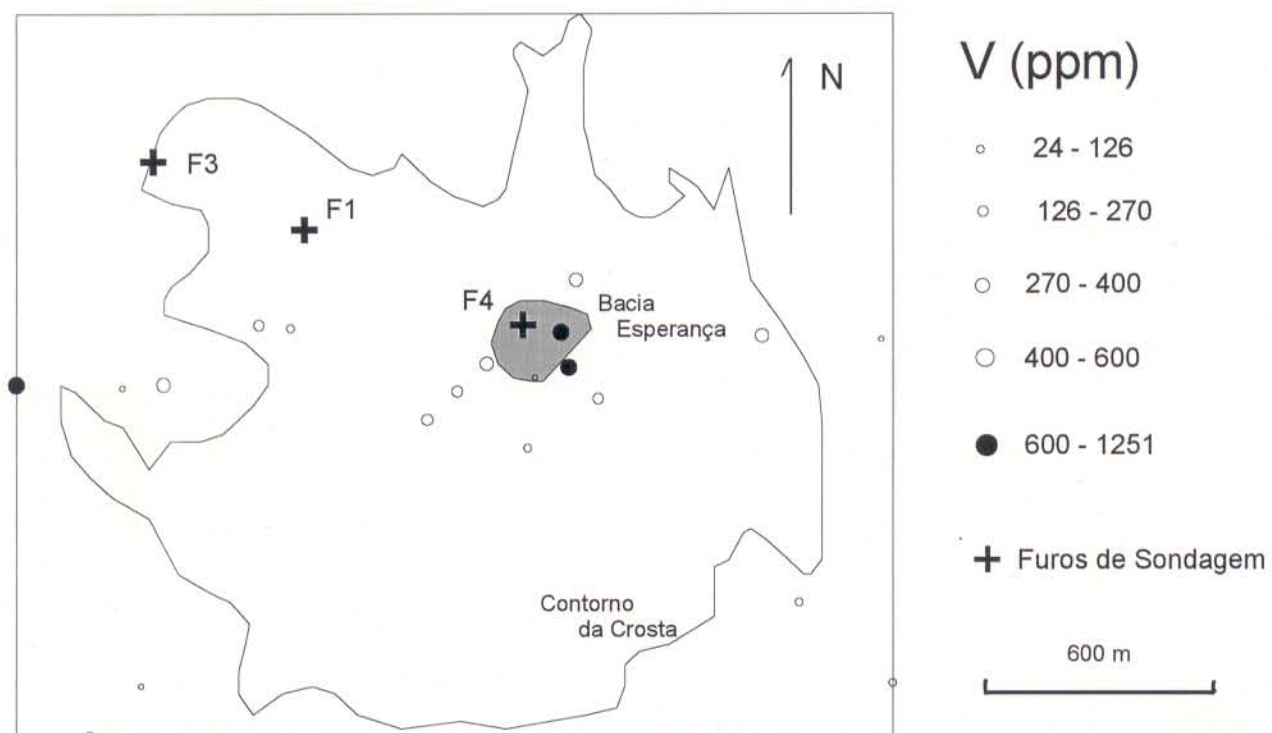


Figura 30 - Mapa de distribuição dos teores de V na área de Seis Lagos.

Em Seis Lagos ao contrário das crostas ferruginosas em geral, o V não se correlaciona com Fe (Figura 32). A correlação é mais significativa com Zr, Ti e em parte com Sn (Figura 33).

Tabela 17 - Concentrações de elementos traços (ppm) em algumas ocorrências mundiais e a média crustal.

Elemento	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Be	--	3-5	--	5-95	10	--	2,8
Mo	--	2-56	0,3-3	<2-280	53	--	1,2
Y	--	13-65	3-10	<10-800	--	100-1000	31
Zr	--	263-2014	200-2000	120-5000	--	50-1%	162
Ba	--	1-617	1-7	400-10%	--	500-2%	390
Mn	701	38-3697	--	1800-<5000	--	--	1084
Co	110	1-502	0,03-0,5	5-100	--	--	29
Cr	1868	24-528	0,5-15	5-480	--	--	122
V	--	409-1165	40-400	5-250	--	100-1000	136
Pb	55	<1-14	2-15	15-1350	--	--	13
Sc	--	21-118	3-300	--	--	--	25
Sn	--	<1-27	1-9	--	--	--	2,1
ETR	67-5200	--	--	1370	--	0,5-30%	137

(1) crosta ferruginosa de Maicuru (COSTA *et al.*, 1991)

(2) lateritos fosfáticos de Gurupi (COSTA, 1990 b)

(3) lateritos bauxíticos da Amazônia (KRONBERG *et al.*, 1979)

(4) solos lateríticos de Sukulu (REEDMAN, 1984)

(5) bauxitas cársicas (Shroll & Sauer apud SHROLL, 1976)

(6) lateritos de Mt. Weld (LOTTERMOSE, 1990)

(7) média crustal (Fairbridge apud KRONBERG *et al.*, 1979)

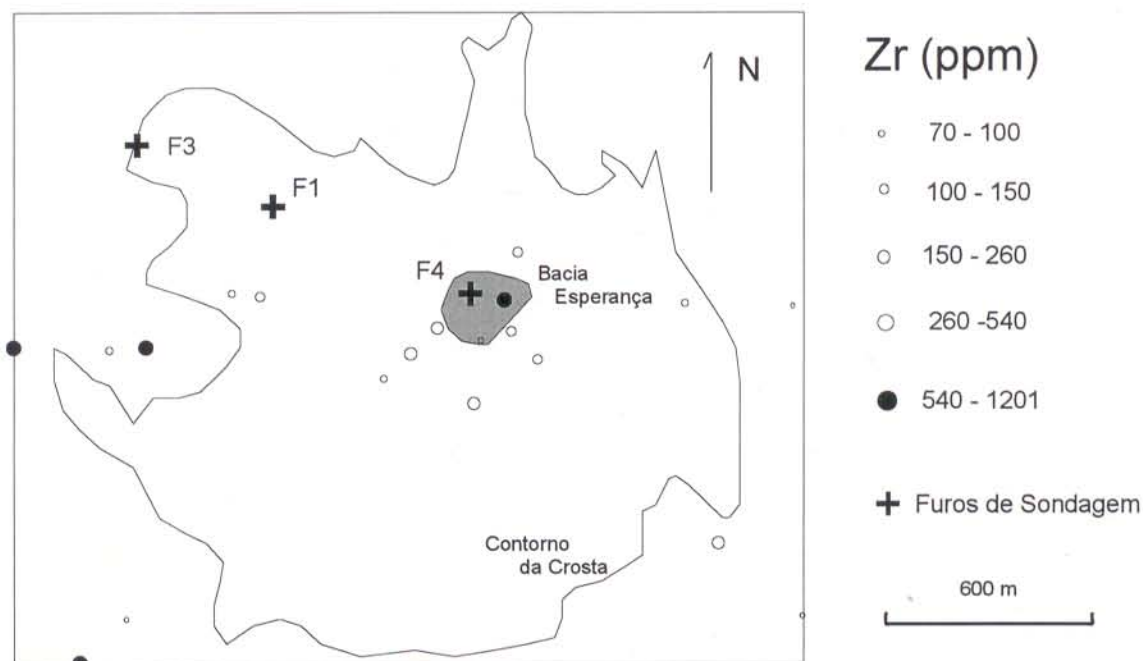


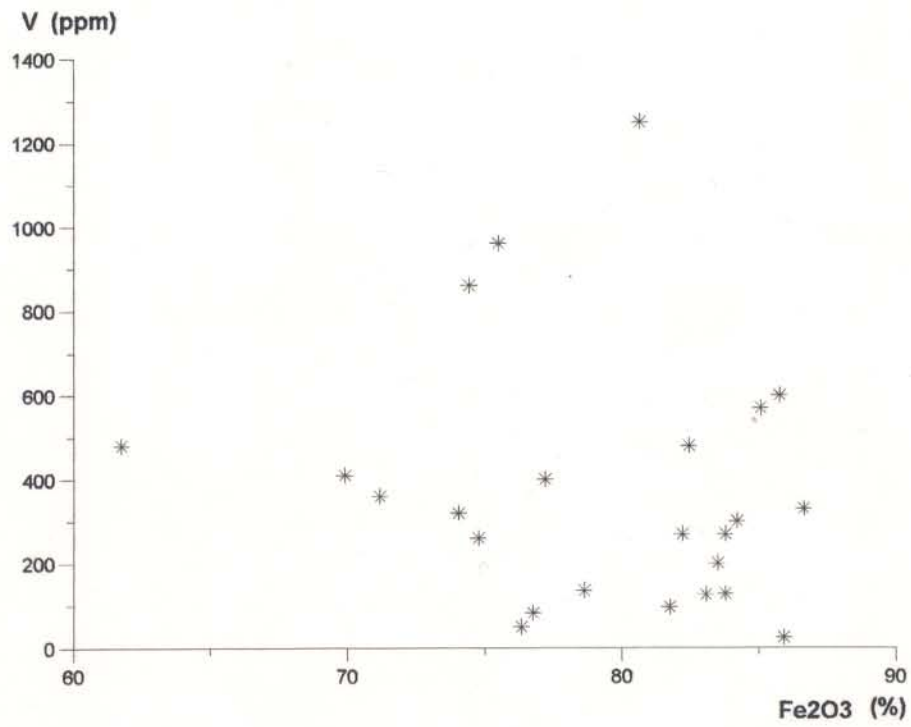
Figura 31 - Mapa de distribuição dos teores de Zr na área de Seis Lagos.

As concentrações de Sn são para crostas lateríticas muito elevadas, variando de <10 a 460 ppm (Figura 24) (a média crustal é de 2,1 ppm), retratando rochas com fortes anomalias para Sn.

Assim, que em Seis Lagos, V, Zr e Sn, se correlacionam entre si e com o Ti. Minerais de Zr e Ti (zircão e ilmenorutilo), devem ser responsáveis por essa correlação, já que são os mais abundantes. As correlações de Ti com Nb, V e Sn (Figura 34), por este lado, indicam que os minerais de titânio-nióbio são carreadores de grande parte do V e Sn. Vanádio e estanho são descritos com frequência associados a esses minerais em ambiência supergênica sobre complexos carbonatíticos (MARIANO, 1989).

#### 4.3.2.4 Escândio

Encontra-se em concentrações muito elevadas, superiores as ocorrências conhecidas com anomalias de Sc (Zheltorechensk, na Ucrânia, e Oka, em Quebec) (TARKHANOV *et al.*, 1992; EBY, 1973), com média de 249 ppm, variando de 119 a 600 ppm (Figura 24). Teores anômalos



**Figura 32 - Diagrama de espalhamento Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> versus V na crosta de Seis Lagos**

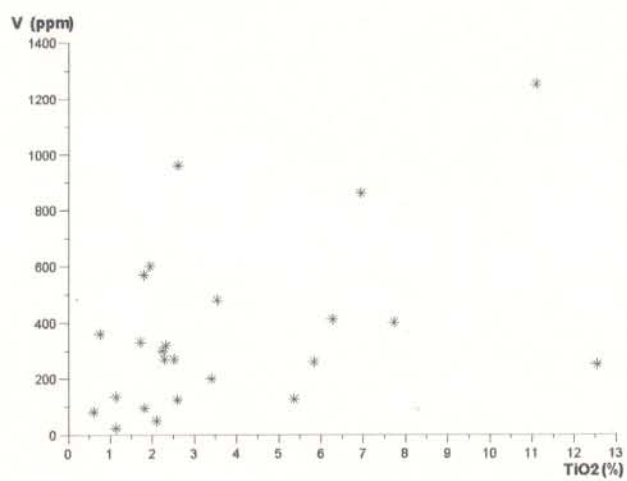
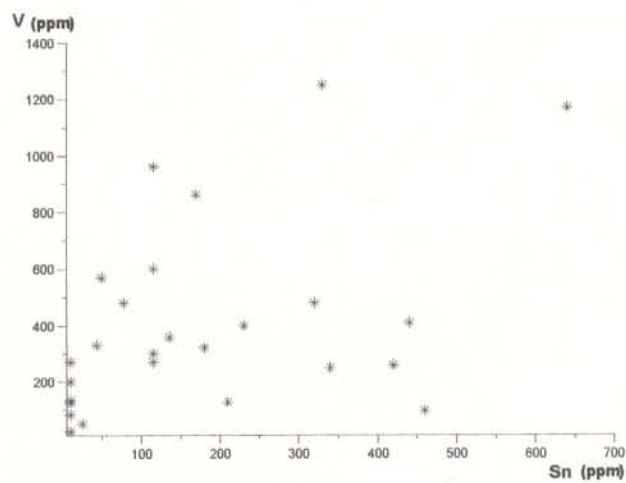
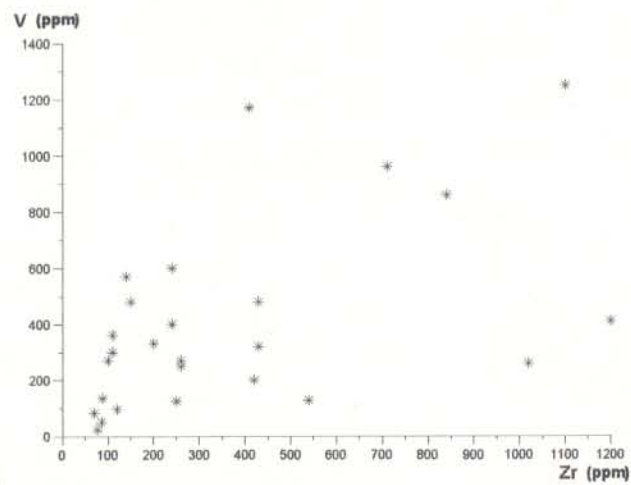


Figura 33 - Correlações entre V, Zr, Sn e Ti na crosta de Seis Lagos

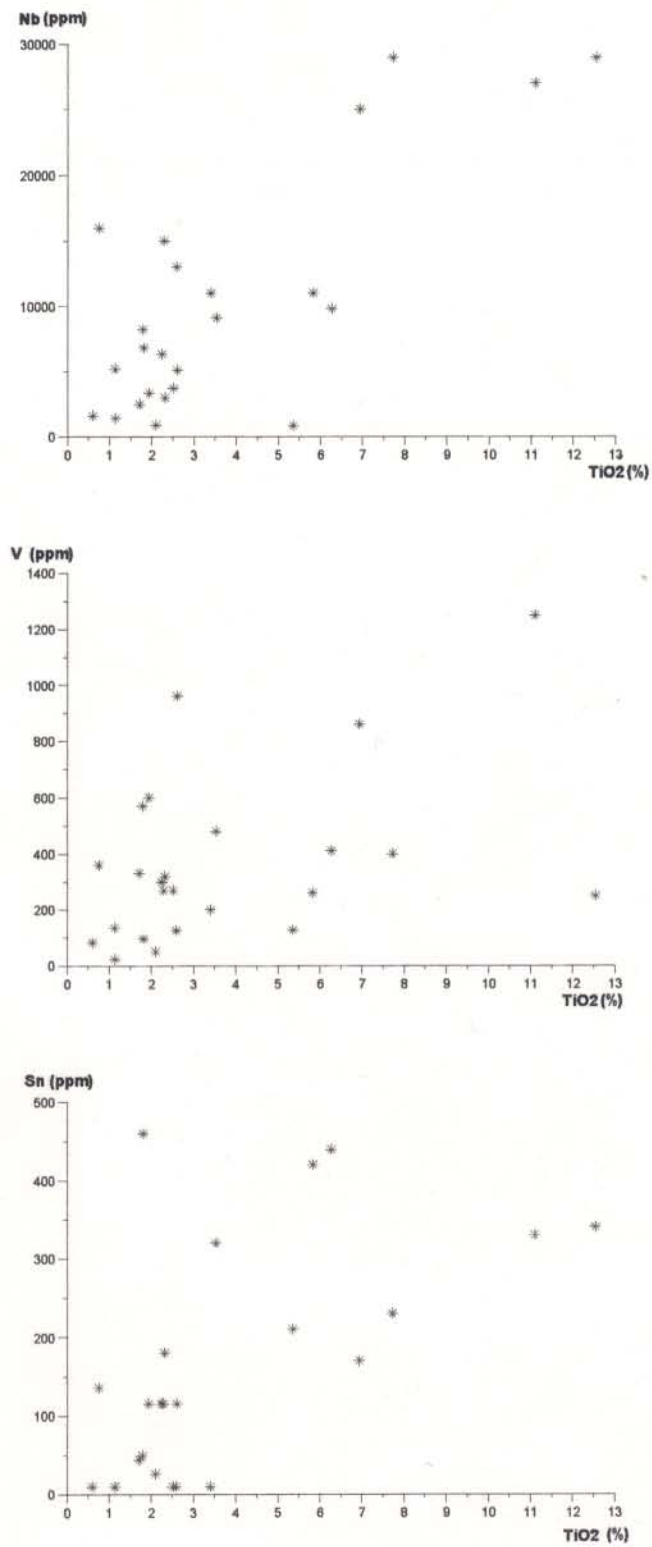


Figura 34 - Diagramas de correlação entre TiO<sub>2</sub>, Nb, V e Sn na crosta de Seis Lagos



de Sc retratam a influência de rochas alcalinas e também de fosfatos (COSTA, 1982). Nos lateritos do Gurupi, os teores mais elevados de Sc estão relacionados com os fosfatos de alumínio (COSTA, 1982). Nas crostas superficiais o Sc se correlaciona parcialmente com o Ce, não se correlacionando com nenhum outro elemento. Os elevados teores de Sc encontram-se distribuídos por toda estrutura de Seis lagos, principalmente na parte central (Figura 35).

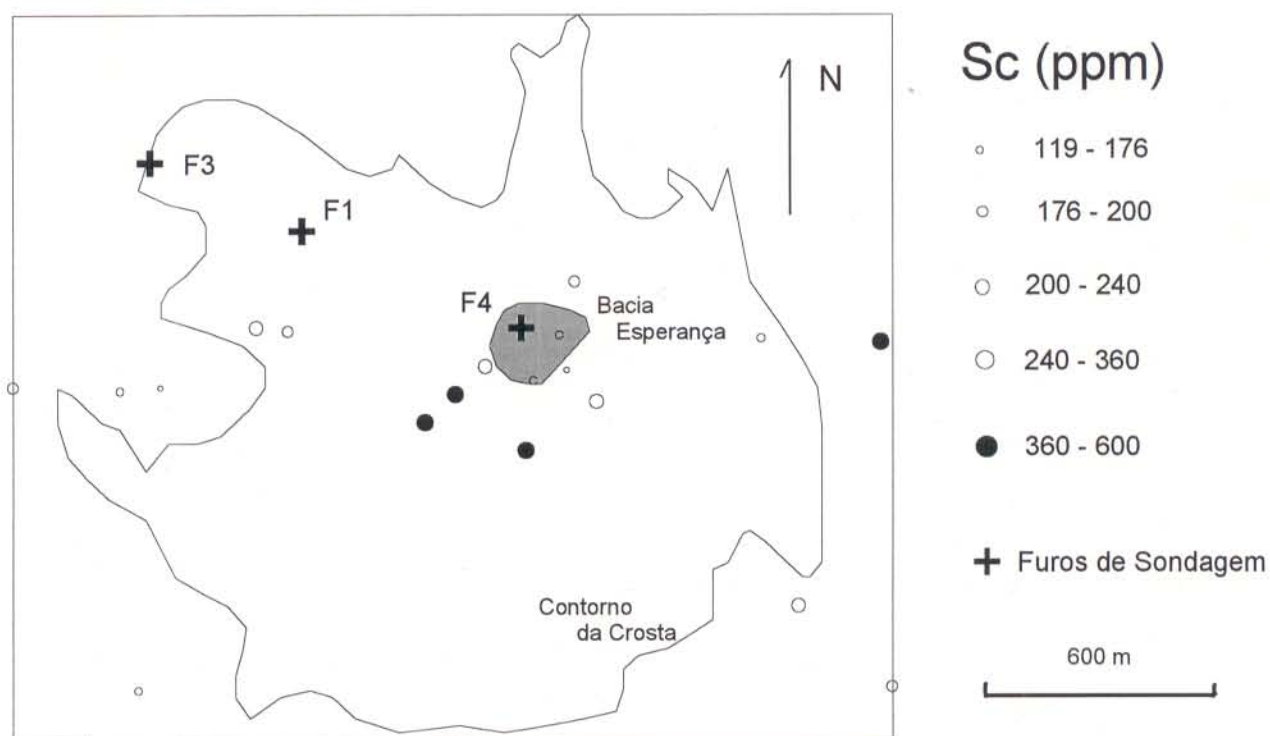


Figura 35 - Mapa de distribuição dos teores de Sc na área de Seis Lagos.

#### 4.3.2.5 Chumbo e Tório

Os teores de Pb (250 a 1250 ppm) e Th (61 ppm a 0,55 %) (Figura 24) são muito elevados, muito superiores às crostas lateríticas em geral. Eles são encontrados por toda a área estudada de Seis Lagos (Figuras 36 e 37). Teores dessa ordem de Pb, são reportados sobre

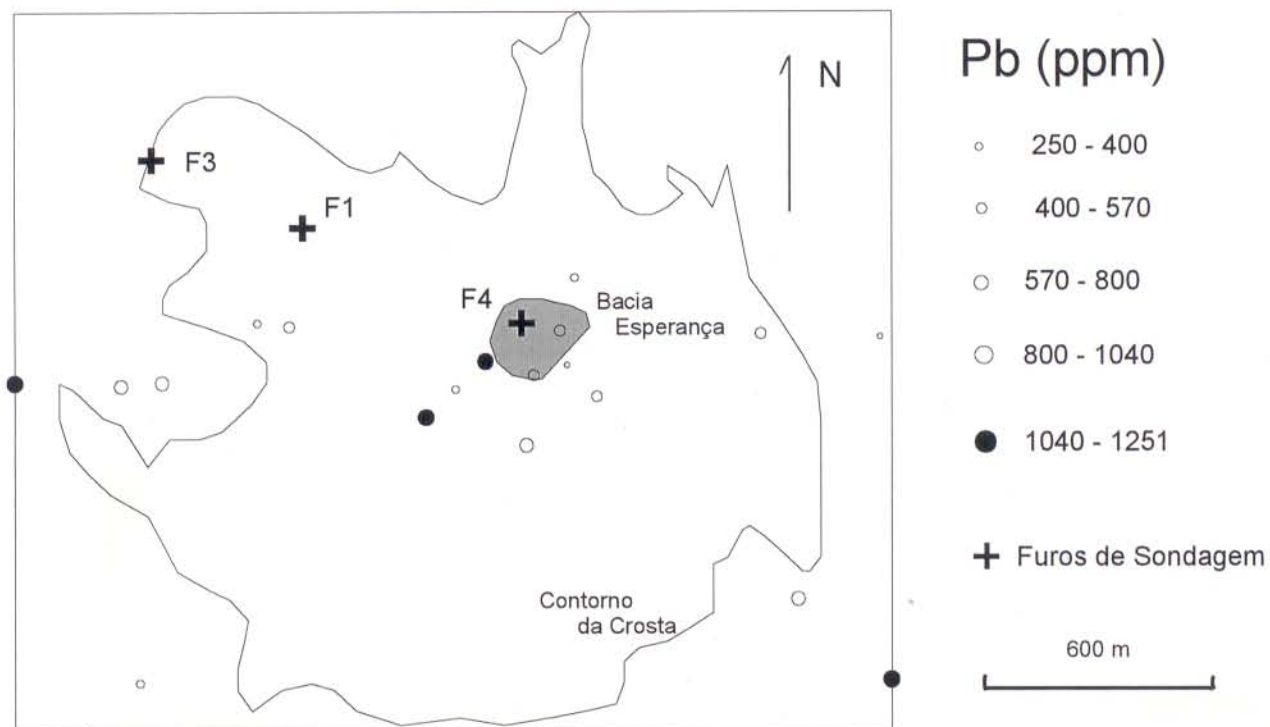


Figura 36 - Mapa de distribuição dos teores de Pb na área de Seis Lagos.

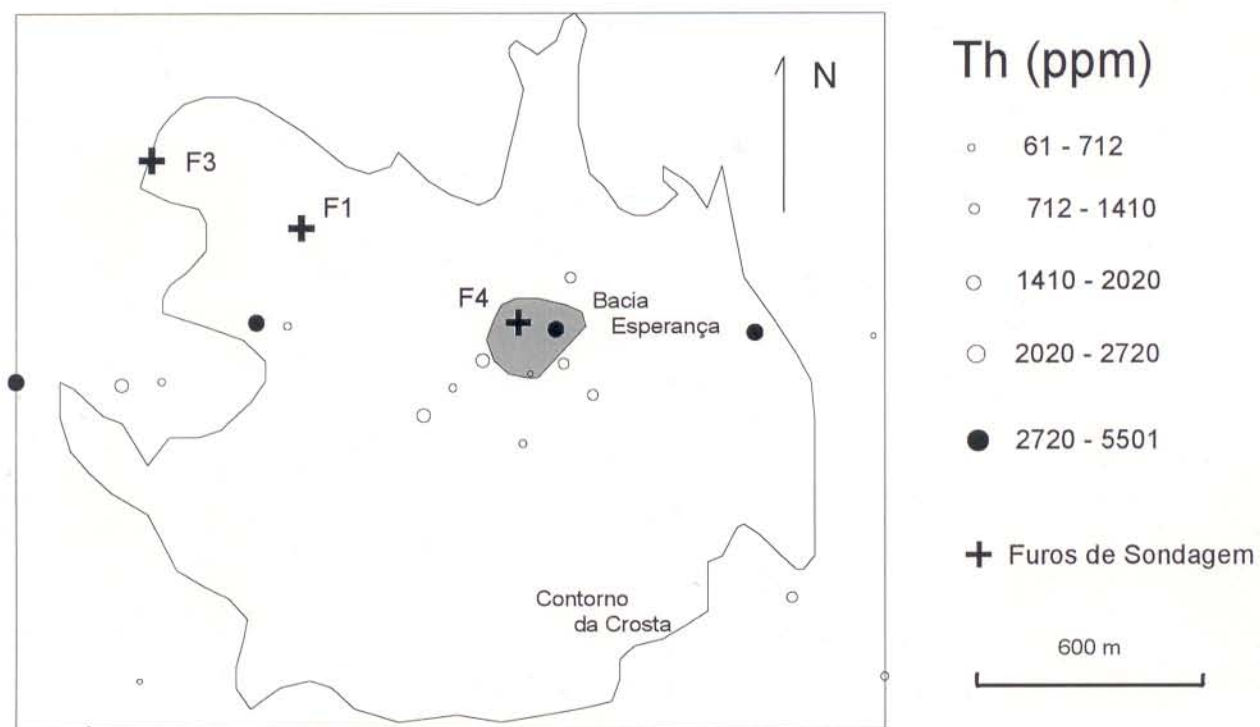


Figura 37 - Mapa de distribuição dos teores de Th na área de Seis Lagos.



crostas gossânicas formadas às expensas de corpos sulfetados com minerais de chumbo (TAYLOR, 1987). Crostas lateríticas com fosfatos de Al contém teores elevados de Pb, especialmente as derivadas de rochas de complexos carbonatíticos como em Mt. Weld (LOTTERMOSER, 1990), em Maicuru (ANGÉLICA, 1990), mesmo assim inferior a de Seis Lagos. O diagrama de correlação entre Pb e Th apresentado na Figura 38 mostra correlacionamento positivo entre estes elementos em algumas amostras. As elevadas concentrações de Th estão relacionadas com elevados teores de La, Ce e Nd, e em poucas amostras com P, indicando a presença de fosfatos, cujo mineral identificado é a monazita, carreador de ETR (La, Ce e Nd), como nos lateritos de Catalão (MÓRTEANI & PREINFALK, 1996). As amostras em que Pb e Th se correlacionam positivamente devem ser as portadoras de monazita. O chumbo não apresenta nenhuma correlação significativa com os demais elementos. O Th é responsável pela elevada radioatividade em Seis Lagos, pois os teores de U estão abaixo do limite de detecção (< 15 ppm).

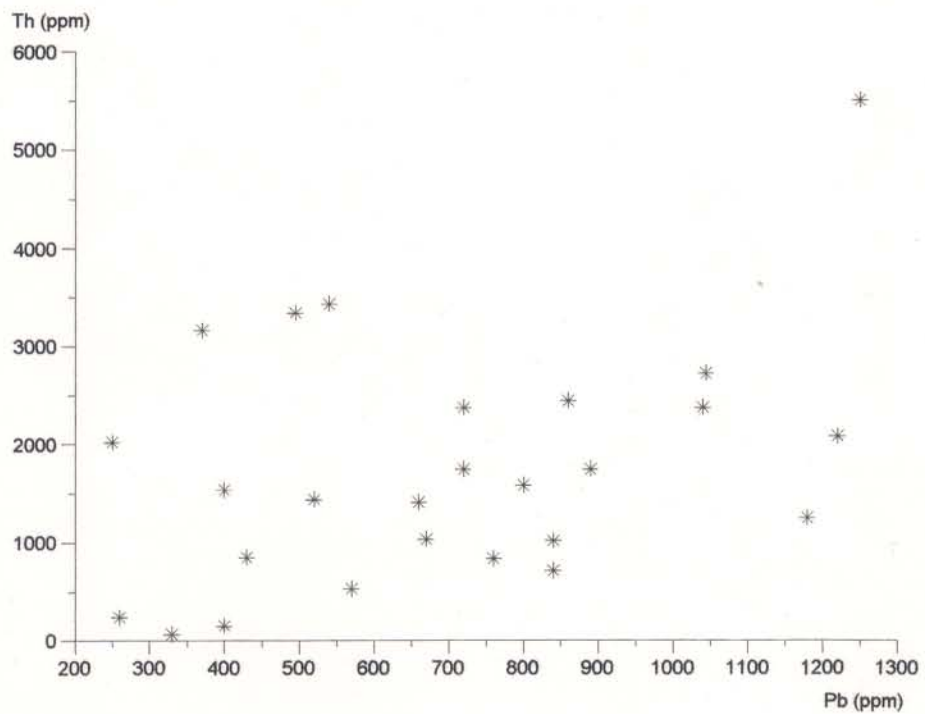


Figura 38- Correlação entre Pb e Th nas crostas de Seis Lagos

#### 4.3.2.6 Ítrio

O ítrio ocorre em concentrações desde ao nível crustal até muito elevadas (<10 a 1.080 ppm) nas crostas de Seis Lagos, predominando os valores elevados (Figura 24). Teores dessa ordem são muito anômalos e devem espelhar a presença de rocha mineralizada em ítrio no substrato. Em Sukulu e Mt. Weld, ocorrem teores dessa grandeza, formados sobre rochas de complexos carbonatíticos. Esse elemento é encontrado em ambiente supergênico formado às expensas de rochas alcalinas, a exemplo dos perfis lateríticos do Pitinga, Amazonas (HORBE, 1990), cujo substrato alcalino contém xenotima,  $YPO_4$ . Em Seis Lagos o ítrio apenas se correlaciona com os ETR (Nd ao Lu), predominantemente os pesados (Figura 39) e negativamente com Ti. A correlação Y-ETRP é típica de xenotima (MARIANO, 1989) ou churchita (LOTTERMOSER, 1990). É possível que ocorra em Seis Lagos o mineral xenotima, ou na forma hidratada, a churchita, que, talvez pela pequena quantidade e quiçá diminuto tamanho dos cristais não foi possível identificar.

#### 4.3.2.7 Molibdênio

Em um quarto das amostras analisadas, o Mo foi encontrado em valores acima do limite de detecção (<5 ppm), valores esses, entretanto, muito elevados (64, 154, 175 e 320 ppm). São valores comparativamente muito anômalos para crostas ferruginosas, que também deve retratar anomalias nas rochas subjacentes primárias. Anomalias de Mo, são reportadas em complexos alcalino-carbonatíticos, como por exemplo em Sukulu (Tabela 17). Molibdênio é indicativo de mineralização do tipo Cu-Mo, Cu-Au-Mo, que não é o caso de Seis Lagos. Na crosta de Seis Lagos, o Mo se correlaciona parcialmente com Al, P, Ca, La, Nd ao Lu, sugerindo relação com os fosfatos tipo crandalita-florencita-gorceixita.

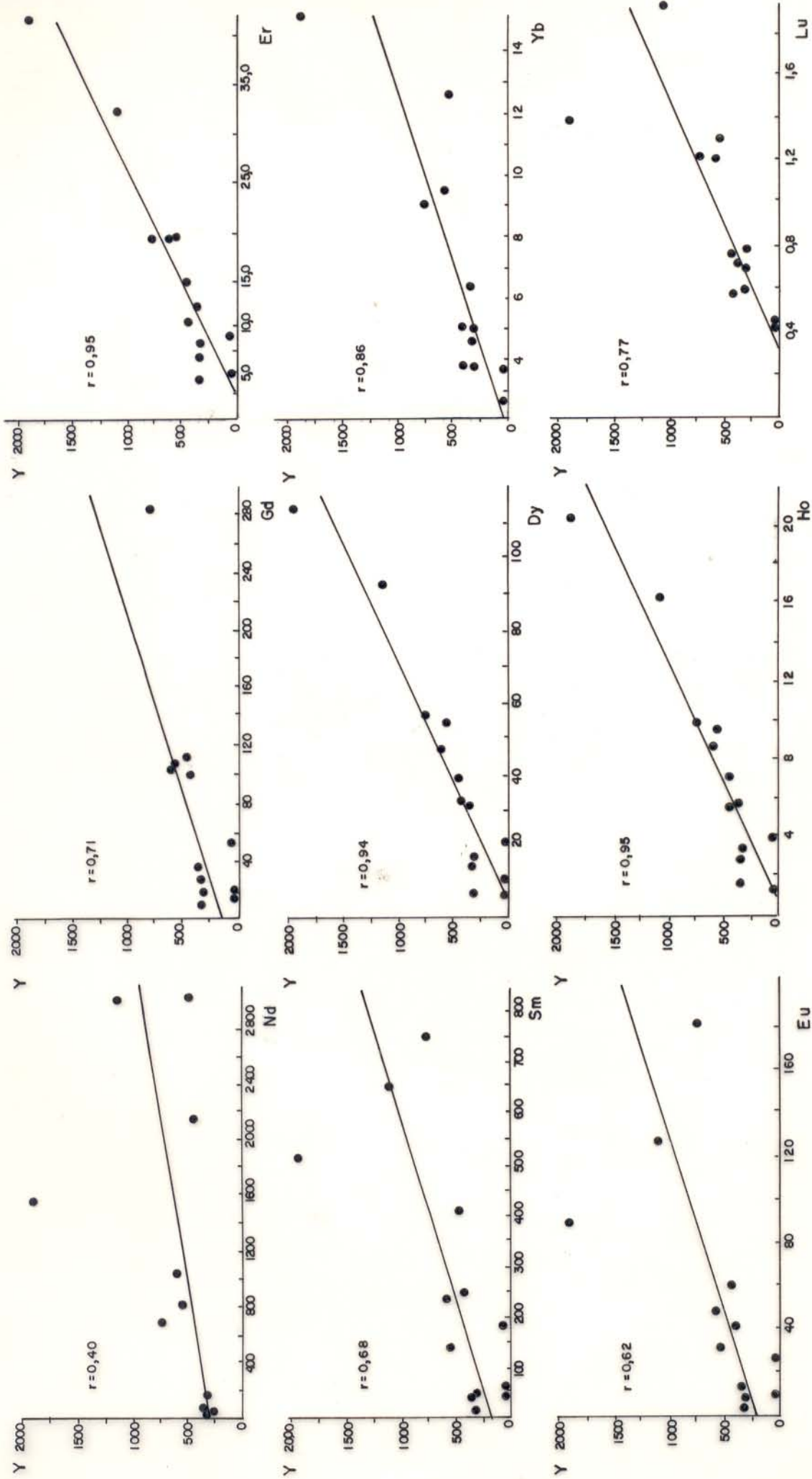


Figura 39- Correlação linear entre Y e Nd, Sm, Eu, Gd, Dy, Ho, Er, Yb e Lu na crosta de Seis Lagos.

#### 4.3.2.8 Berílio

Da mesma forma que o Mo, o Be se encontra na maioria das crostas em teores abaixo de 2 ppm, sendo que em quatro amostras apresenta-se em concentrações anômalas (26, 106, 128 e 146 ppm), que não são as mesmas amostras de Mo. Embora não frequentemente analisado em crostas lateríticas, estes teores de Be são comparativamente muito elevados, e retratam também complexidade química do substrato de Seis Lagos. Teores de Be em materiais intempéricos sobre complexos carbonatíticos podem ser elevados, a exemplo de Sukulu, Mt. Weld (Tabela 17). O Be se correlaciona parcialmente com Mn, P, Mg e Ce, e poderia estar relacionado a alguns oxihidróxidos de manganês, por ser este o mais abundante e formar minerais.

#### 4.3.2.9 Cromo, Cobre, Níquel, Gálio, Boro e Prata

As concentrações de cromo são muito baixas, muito aquém da média crustal e dos valores normalmente reportados em crostas lateríticas, como aquelas derivadas de rochas carbonatíticas (Tabelas 17), porém semelhantes aquelas derivadas de rochas ácidas (MIDDELBURG *et al.*, 1988). Os outros elementos encontram-se na crosta de Seis Lagos, abaixo do limite de detecção, que a exceção da prata (1 ppm) é de 5 ppm. Em crosta lateríticas derivadas de carbonatito, esses elementos, menos a Ag, se encontram em teores muito mais elevados que os aqui encontrados. Esses valores muito baixos para os elementos acima, sugere que a rocha mãe das crostas de Seis Lagos continham em geral teores extremamente muito baixos desses elementos, sendo dominadas claramente por carbonatitos.

#### 4.3.2.10 Elementos Terras Raras

As concentrações dos elementos terras raras (ETR), tanto dos leves (ETRL) como dos pesados (ETRP) nas amostras da crosta ferruginosa de Seis Lagos estão indicadas na Tabela 18. Os valores são extremamente variados, indo desde valores ligeiramente superiores a média crustal até valores muito elevados. O total de ETR varia de 381 a 15.174 ppm, sendo que os ETRL se sobrepõem aos ETRP em fator de até quase 100 vezes (Tabela 19). Ce é sempre o mais abundante, sendo suplantado pelo Nd nas amostras CB-112 (1.566 ppm), CB-88 (2.949 ppm) e CB-61 (691,3 ppm). O Sm é o mais abundante na amostra CB-61 (750,3 ppm), que é a mais rica em Eu (182,4 ppm) e Gd (288,5 ppm) de todas as amostras analisadas. A amostra CB-48 é, em termos de ETR, constituída praticamente só de Ce (85,5 % do total) ou 1,3 % de Ce contra 0,22 % para os demais. Nela foi encontrada cerianita. Crostas lateríticas com teores anômalos de ETR, especialmente os leves, estão intrinsecamente relacionados com complexos carbonatíticos, como se depreende dos exemplos de Sukulu (REEDMAN, 1984), Mt. Weld (LOTTERMOSER, 1990), Maicuru (LEMOS, 1990; COSTA *et al.*, 1991; ANGÉLICA & COSTA, 1993). Em crostas lateríticas não derivadas desses complexos, os teores de ETR estão a nível crustal ou abaixo deste, como na região do Gurupi (COSTA, 1982) e na Bacia do Senegal (BONNOT-COURTOIS & FLICOTEAUX, 1989), mesmo ocorrendo fosfatos do grupo da crandalita.

Os principais minerais de ETR identificados na crosta de Seis Lagos foram florencita, cerianita (rara) e oxi-hidróxidos de Mn. Desses os mais abundantes são os oxi-hidróxidos de Mn. Os fosfatos encontram-se em concentrações tão baixas, que seus teores não justificariam sozinhos os altos teores de ETR. Cerianita, rara, foi encontrada apenas na amostra CB-48. Monazita é também rara. Portanto, os principais portadores de ETR em Seis Lagos devem ser os oxi-hidróxidos de Mn, que são em Seis Lagos os minerais mais abundantes entre aqueles portadores

Tabela 18- Concentrações dos elementos terras raras (ppm) em amostras de superfície da crosta laterítica.

AMOSTRA	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Gd	Dy	Ho	Er	Yb	Lu
MS-220	96,52	200,40	35,17	16,04	4,75	11,59	7,14	1,43	3,90	3,75	0,59
MS-06	2856,00	4216,00	1625,00	179,10	25,28	53,52	20,59	3,78	8,52	3,64	0,59
CB-114	4269,00	6769,00	2107,00	148,60	42,20	103,20	32,49	5,52	9,95	3,85	0,57
CB-112	514,60	1062,00	1566,00	517,30	90,49	187,20	115,30	20,35	41,30	15,11	1,37
CB-103	664,50	1608,00	1036,00	236,70	47,47	107,40	47,48	8,58	18,53	9,46	1,20
CB-102	3421,00	6652,00	2960,00	411,60	60,01	114,20	39,45	6,97	14,21	5,06	0,75
CB-93	128,50	2821,00	54,42	18,98	6,38	21,00	17,15	3,22	7,65	4,98	0,77
CB-88	1787,00	1670,00	2949,00	653,80	127,30	240,70	93,87	16,35	31,87	15,75	1,90
CB-85	181,90	413,10	180,20	46,00	14,03	28,97	15,09	2,79	6,42	4,59	0,69
CB-61	71,34	172,20	691,30	750,30	182,40	288,50	57,18	9,86	18,65	9,03	1,21
CB-60	118,30	210,00	132,50	42,50	8,55	14,94	5,94	1,15	2,90	2,58	0,44
CB-58	48,39	1394,00	96,46	40,12	12,37	36,75	31,41	5,59	11,50	6,34	0,71
CB-48	914,20	1360,00	821,10	142,00	31,57	180,60	54,70	9,52	18,59	12,58	1,29
CB-24	1627,00	1176,00	421,00	55,67	9,11	18,87	10,32	1,94	4,58	2,15	0,41
CB-40	2293,00	4867,00	1600,00	219,10	35,22	75,62	35,29	6,59	15,45	7,29	1,26
CB-42	239,70	537,80	200,00	34,05	11,00	22,50	13,00	1,99	4,17	3,32	0,53
CB-44	331,20	1163,00	180,20	28,82	5,94	17,30	10,71	2,00	4,73	2,31	0,53
CB-59	83,83	445,10	123,70	36,85	10,10	30,76	26,41	4,86	10,97	5,51	0,97
CB-64	1474,00	2631,00	715,10	150,20	34,62	73,26	28,77	5,19	11,17	6,21	0,87
CB-70	824,10	1745,00	606,60	79,42	16,76	48,43	28,99	5,02	9,65	4,25	0,28
CB-78	151,10	490,90	148,00	16,50	3,57	8,56	4,10	0,66	1,46	0,92	0,20
CB-79	1105,00	8076,00	926,90	112,70	17,27	50,20	23,50	3,45	7,00	2,90	0,59
CB-82	2159,00	5869,00	1604,00	216,80	51,85	126,80	53,38	8,86	14,79	7,10	1,23
CB-83	1043,00	1721,00	439,90	59,87	10,48	28,81	13,59	2,51	5,73	3,86	0,75
CB-104	972,10	2072,00	604,80	99,64	19,14	50,29	18,90	3,31	6,56	2,60	0,59
CB-21	3880,00	19781,00	7855,00	634,20	120,20	264,70	81,17	13,00	19,20	8,10	1,00
MÉDIA	1194,39	3493,18	1141,47	194,12	38,39	82,03	34,07	5,94	11,90	5,92	0,82

Tabela 19 - Relações ETRL/ETRP, Ce/Ce\* e (La/Yb)<sub>N</sub> em amostras da crosta laterítica de Seis Lagos.

AMOSTRA	ETR	ΣETRL	ΣETRP	ΣETRL/ΣETRP	(La/Yb) <sub>N</sub>	Ce/Ce*
MS-220	381,28	352,88	28,40	12,42	17	1,09
MS-06	8792,02	8701,38	90,64	98,20	492	0,79
CB-114	13591,38	13435,80	155,58	85,72	748	0,80
CB-112	4131,02	3750,39	380,63	9,85	23	0,66
CB-103	3785,32	3592,67	192,65	18,65	47	0,99
CB-102	13685,25	13504,61	180,64	74,76	456	0,91
CB-93	3084,05	3029,28	54,77	55,31	17	11,38
CB-88	7587,54	7187,10	400,44	17,95	77	0,38
CB-85	8983,78	835,23	58,55	14,26	27	1,04
CB-61	2252,17	1867,74	384,43	4,85	5	0,39
CB-60	540,00	512,05	27,95	18,31	31	0,79
CB-58	1683,73	1591,34	92,39	17,24	5	10,94
CB-48	15174,15	14968,87	205,28	53,91	49	6,67
CB-24	3327,05	3288,78	38,27	85,92	511	0,39
CB-40	9156,45	9014,32	142,13	63,42	195	1,03
CB-42	1968,06	1022,55	45,51	22,47	49	1,06
CB-44	1746,74	1709,16	37,58	45,48	97	1,77
CB-59	779,06	699,58	79,48	8,80	10	2,21
CB-64	5130,39	5004,92	125,47	39,89	160	0,91
CB-70	3367,50	3270,88	96,62	33,85	131	1,02
CB-78	825,97	810,07	15,90	50,95	111	1,49
CB-79	10325,51	10237,87	87,64	116,82	257	3,45
CB-82	10112,81	9900,65	212,16	46,66	205	1,31
CB-83	3329,50	3274,25	55,25	59,26	182	0,85
CB-104	3849,93	3767,68	82,25	45,80	252	1,05
CB-21	32657,57	32270,40	387,17	83,55	323	1,92
MÉDIA	6548,00	6061,55	140,68	45,55	172	2,12
AKONGO <sup>1</sup>	284,97	274,09	10,88	25,19	72	0,90
MAICURU <sup>2</sup>	891,59*	854,65*	35,43*	24,12	5-235	0,33-38,97

\* valores médios

$$\text{Ce/Ce}^* = 3(\text{Ce/Ce}_N / [2\text{La/La}_N + \text{Nd/Nd}_N]) (\text{La/Yb})_N = (\text{La/La}_N) / (\text{Yb/Yb}_N)$$

Fonte: BRAUN *et al.*, 1990.



de ETR, e, entre eles se destaca a romanechita, que tem estrutura adequada para abrigar elementos de raios iônicos grandes, a exemplo dos ETR, Ba, Pb (KLEIN & HURLBUT, 1992).

Análises de regressão linear mostram que os ETR não são entre si homogêneos, onde La e Ce, não se correlacionam positivamente com a série do Sm ao Lu, mas apenas com Nd, ou seja La-Ce-Nd formam um grupo à parte daquele do Sm ao Lu, fato observado parcialmente por HORBE (1990) no Pitinga, Amazonas, e por RANKIN & CHILDS (1976) na Nova Zelândia. Isso deve refletir a partição mineral dos ETR, onde La-Ce-Nd devem alojar-se preferencialmente na estrutura da romanechita, e ainda na monazita, especialmente o Ce. Sm ao Lu, e em parte ainda com La e Nd, que se correlacionam positivamente com Al e P, por outro lado devem fazer parte da estrutura do grupo da crandalita (florencita) e quiçá minerais de ítrio (supostamente xenotima ou churchita).

As curvas dos ETR normalizadas em relação aos condritos (Figura 40) mostram comportamentos diferentes, podendo ser agrupadas em três conjuntos principais (Figura 40): o conjunto "a" (Figura 40 a) formado por curvas fortemente deplecionadas em ETRP, como mostram as mais altas razões  $(La/Yb)_N$ , variando de 456 a 748, da Tabela 19, correspondendo as amostras mais ricas em ETR (Tabela 19). O conjunto "b" constitui-se pelas curvas com forte anomalia positiva de Ce (Figura 40 b), também deplecionadas nos ETRP, em cuja amostra (CB-48) foi identificada cerianita. O conjunto "c" está representado pelas curvas que apresentam anomalias menos comuns como anomalia positiva de Sm, negativas ou positivas de Nd ou mesmo positiva de Eu. Essas curvas são menos deplecionadas em ETRP do que as anteriores. De um modo geral, as curvas apresentadas estão intrinsecamente relacionadas à sua mineralogia: as amostras que fazem parte do conjunto "a", são aquelas que na sua maioria contém fosfatos do grupo da crandalita e minerais de Ti; as amostras do conjunto "b", também contém minerais de Ti,

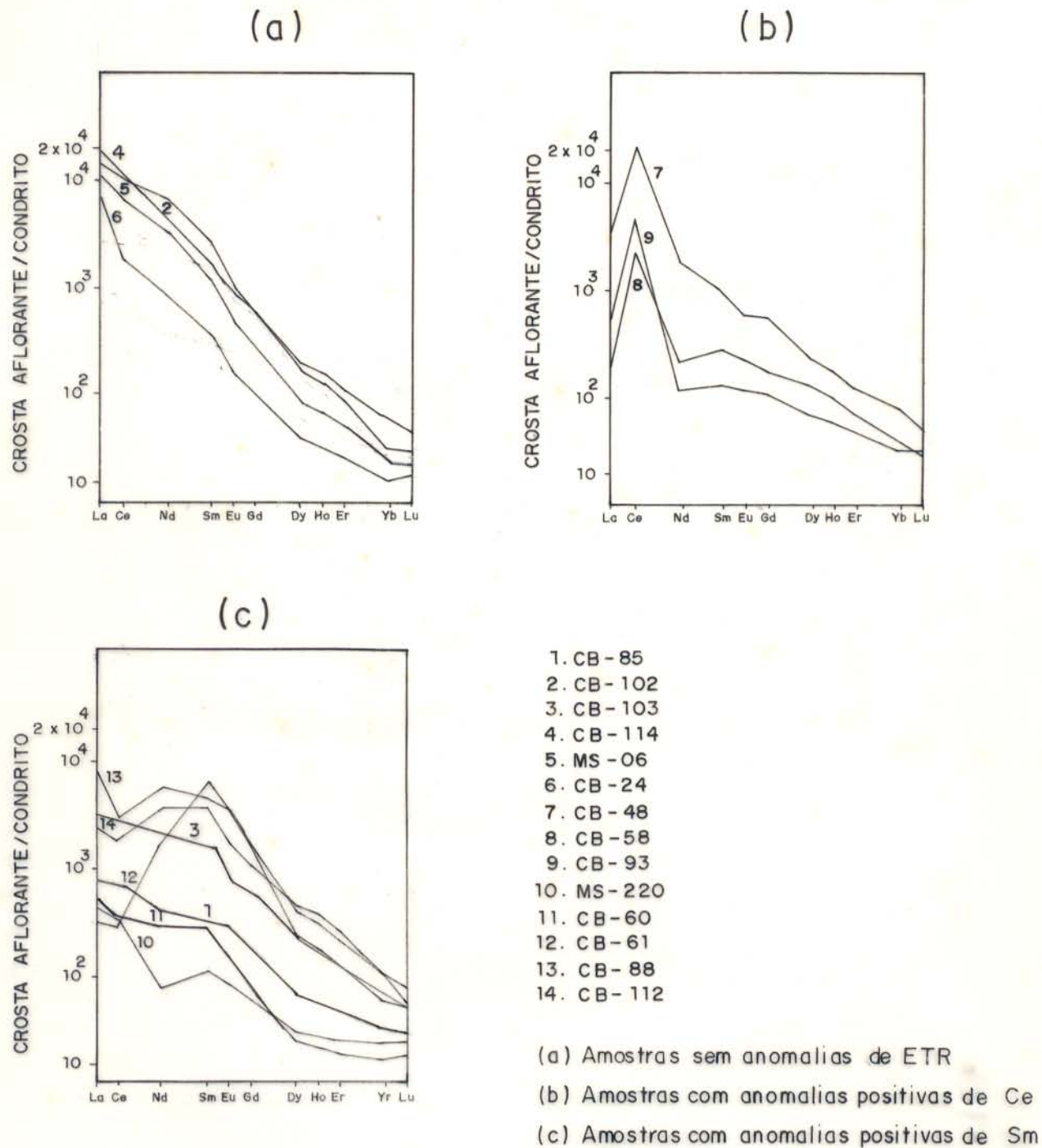


Figura 40 - Curvas normalizadas aos condritos de amostras da crosta aflorante-Seis Lagos (AM).

além de oxi-hidróxidos de Mn, e mesmo cerianita; e as do conjunto "c", também são constituídas de minerais de Ti e oxi-hidróxidos de Mn, além de pirocloro. Sendo assim, os minerais de Ti que estão presentes nos três conjuntos e não se correlacionam positivamente com os ETR, não seriam responsáveis pelas anomalias positivas seja de Ce, Sm, e mesmo de Nd ou Eu. Já os oxi-hidróxidos de Mn que constituem amostras dos conjuntos "b" e "c", seriam os responsáveis por essas anomalias, por serem conhecidos como altamente enriquecidos em ETR, com notáveis anomalias em Ce (ELDERFIELD *et al.*, 1981; FORMOSO *et al.*, 1989).

## 5 O PERFIL LATERÍTICO

Uma seção geológica esquemática inferida, representativa do perfil de alteração laterítica da estrutura de Seis Lagos, está indicada na Figura 41, modificada de VIÉGAS FILHO & BONOW (1976). Os autores inferem uma crosta ferruginosa, espessa, com até 250 m, recobrindo a estrutura, mesmo nas suas frações laterais, que teria sido desenvolvida sobre carbonatitos, não atingidos pelos furos de sondagens. Os autores acima, entretanto, ressaltam que as rochas carbonatíticas teriam sido encontradas a partir de 233 m até 360 m de profundidade, com base no furo de sondagem realizado na Bacia Esperança, que não é mostrado na Figura 41. Nessa seção, os carbonatitos teriam como rochas encaixantes, granitos e gnaisses, que afloram nas encostas mais baixas da estrutura e que foram atingidas por um furo de sondagem (furo 3, indicado na figura 41).

Neste trabalho foram estudados os perfis ao longo dos furos de sondagens 1 e 3 (Figura 41). O perfil do furo 1, realizado no alto da estrutura, tendo 90 m de profundidade, compreende tão somente a crosta essencialmente ferruginosa em toda a sua extensão. Essa crosta tem cor marrom-avermelhada, normalmente apresenta estrutura cavernosa, mas às vezes pode ser densa, compacta, constituída principalmente de goethita e hematita. O perfil do furo 3, situado na encosta, tem 110 m de profundidade, é, ao contrário do perfil do furo 1, constituído de vários horizontes e atingiu inclusive a rocha primária ligeiramente alterada. O perfil desse furo é constituído, da base para o topo, de:

- Rocha-mãe, levemente intemperizada, de cor esverdeada com manchas escuras, granular, às vezes afanítica, constituída principalmente de biotita, feldspatos e anfibólios, correspondente a biotita-hornblenda gnaisses, segundo VIÉGAS FILHO & BONOW (1976);

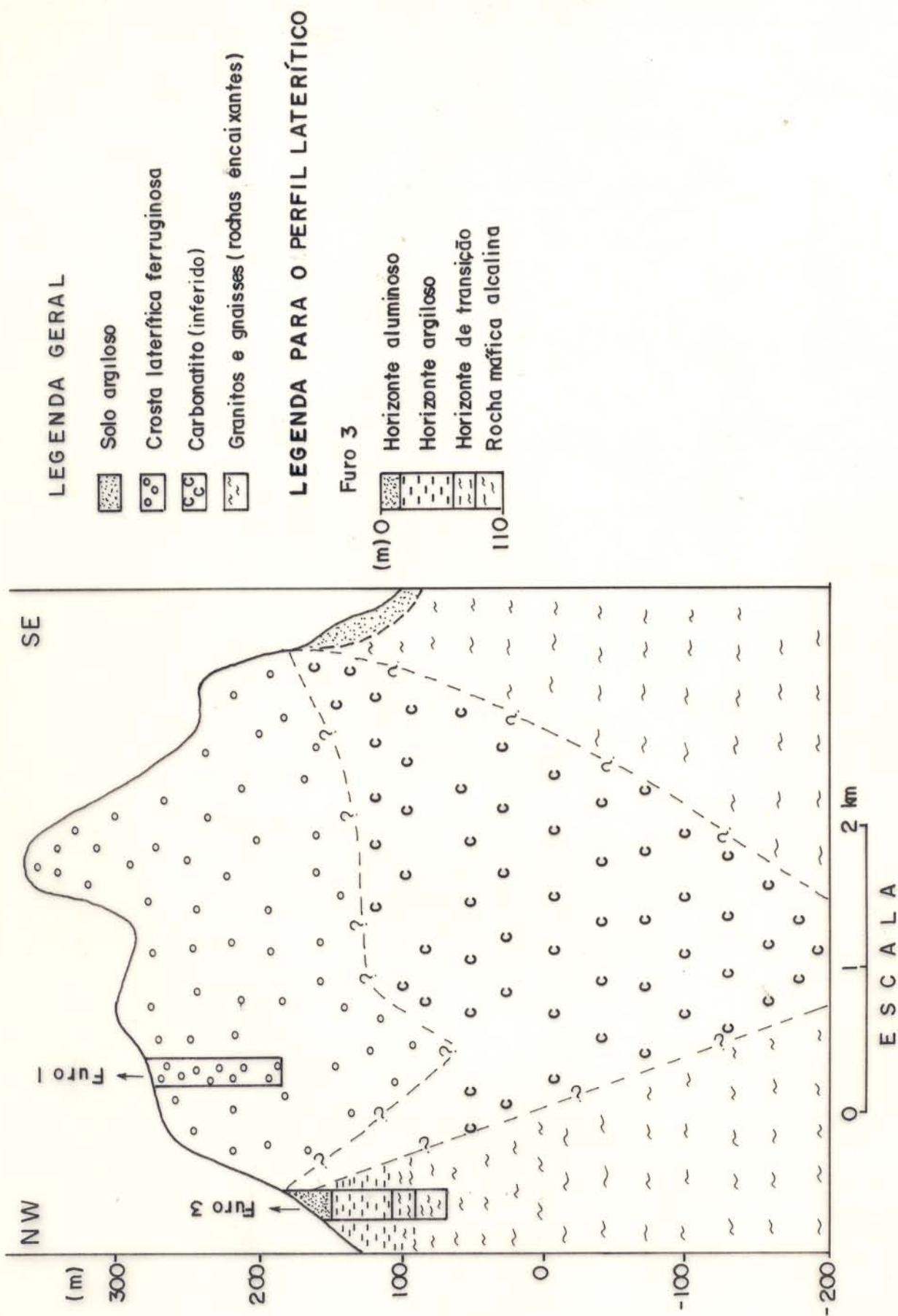


Figura 41 - Perfil geológico esquemático da Estrutura de Seis Lagos. Modificado de VIÉGAS FILHO & BONOW (1976).

- Horizonte de transição, logo acima da rocha mãe, com cerca de 17 m de espessura, de coloração esverdeada a marrom-avermelhada, onde os minerais da rocha mãe, anfibólios, feldspatos, mica e clorita estão em fase de alteração;
- Horizonte argiloso, com espessura aproximada de 43 m, de coloração marrom-avermelhada, tem predominância de argilo minerais 1:1 e quartzo;
- Horizonte aluminoso, com espessura em torno de 13 m, de coloração bege, constituído de hidróxidos e fosfatos de alumínio;

O perfil do furo 1 tem constituição rochosa equivalente às descritas como crostas superficiais no item 4, enquanto as do furo 3, são completamente diferentes e se relacionam a perfis lateríticos bem estruturados, maduros, derivados de rochas ricas em aluminosilicatos e pobres em ferro.

## 5.1 MINERALOGIA

Os minerais identificados por difração de raios-X, nos perfis lateríticos dos furos 1 e 3 são:

- Minerais de ferro: hematita e goethita;
- Minerais de manganês: pirolusita, hollandita, romanechita e lithioforita;
- Gibbsita;
- Fosfatos do grupo da crandalita;
- Cerianita;
- Silicatos: argilo-minerais (caolinita, illita), quartzo, mica hidratada, além de feldspatos, clorita e anfibólio.

O perfil do furo 1 (Figura 42) é formado basicamente de hematita e goethita, atingindo mais de 90% ao longo do perfil, exceto no intervalo de 20 a 45 m, onde diminuem para 65%, no qual se concentram os óxidos de manganês. A hollandita e a romanechita ocorrem no intervalo de 20 a 35 m, e a pirolusita entre 35 e 45 m. Esses minerais chegam a atingir quase 35%. Nos primeiros 20 m de profundidade se localizam os minerais de titânio, ilmenorutilo, Nb-brookita e Nb-rutilo (4%) e os fosfatos do grupo da crandalita (florencita), que atingem até 3,5%. Entre 25 e 40 m ocorre cerianita. Esse quadro mineral é, portanto, semelhante ao encontrado anteriormente para as amostras das crostas superficiais e aquelas derivadas de carbonatitos, caracterizado pela presença, principalmente dos minerais de Ti, ilmenorutilo, Nb-rutilo e Nb-brookita, dos minerais de manganês como a romanechita e a hollandita, e da cerianita.

Os dados difratométricos indicam ser a goethita essencialmente ferruginosa, enquanto os fosfatos do grupo da crandalita, apresentam reflexões semelhantes ao do membro florencita, da mesma maneira que os apresentados pelas crostas de superfície. As espécies mineralógicas encontradas nesse perfil são semelhantes a crosta de Mt. Weld (LOTTERMOSER, 1990), que é derivada de carbonatitos.

A distribuição mineral do perfil laterítico do furo 3 está mostrada na Figura 43. Gibbsita e fosfatos de alumínio do grupo da crandalita constituem o horizonte aluminoso, onde perfazem juntos 80%, ou seja, concentram-se no topo do perfil. O grupo da crandalita neste perfil está representado principalmente por crandalita-goyazita. Caolinita e quartzo formam o horizonte argiloso, alcançando 85%. A mica hidratada, os anfibólios e os feldspatos, são os minerais do horizonte de transição. A rocha mãe é composta de mica, feldspato, anfibólio, quartzo e clorita.

A Figura 44 mostra as possíveis transformações mineralógicas ocorridas ao longo do perfil laterítico do furo 3. Anfibólios, feldspato, mica e opacos deram origem a goethita/hematita e illita/caolinita, que são encontrados no horizonte de transição. No horizonte argiloso o

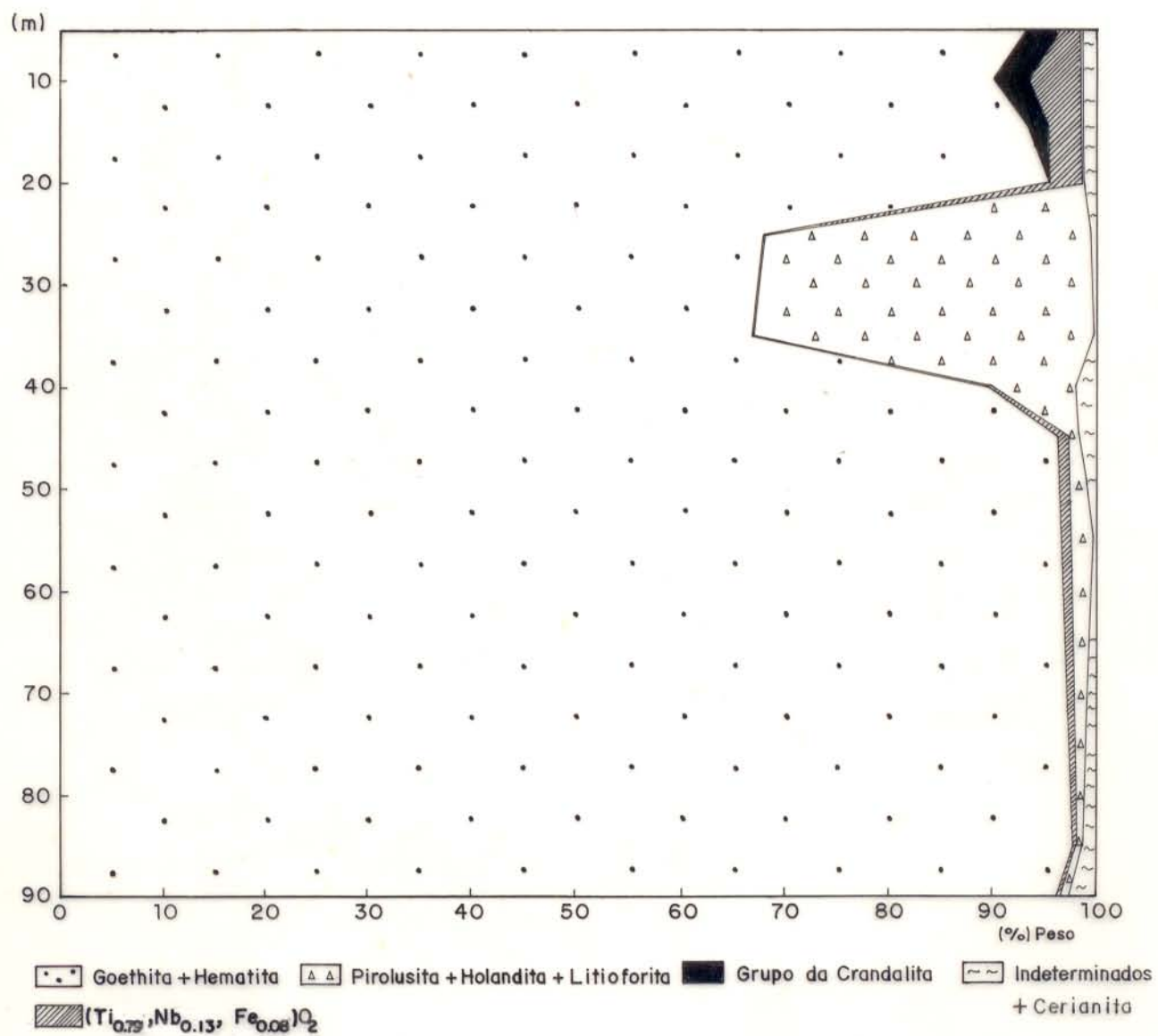


Figura 42 - Distribuição dos minerais ao longo do perfil do furo I em Seis Lagos.



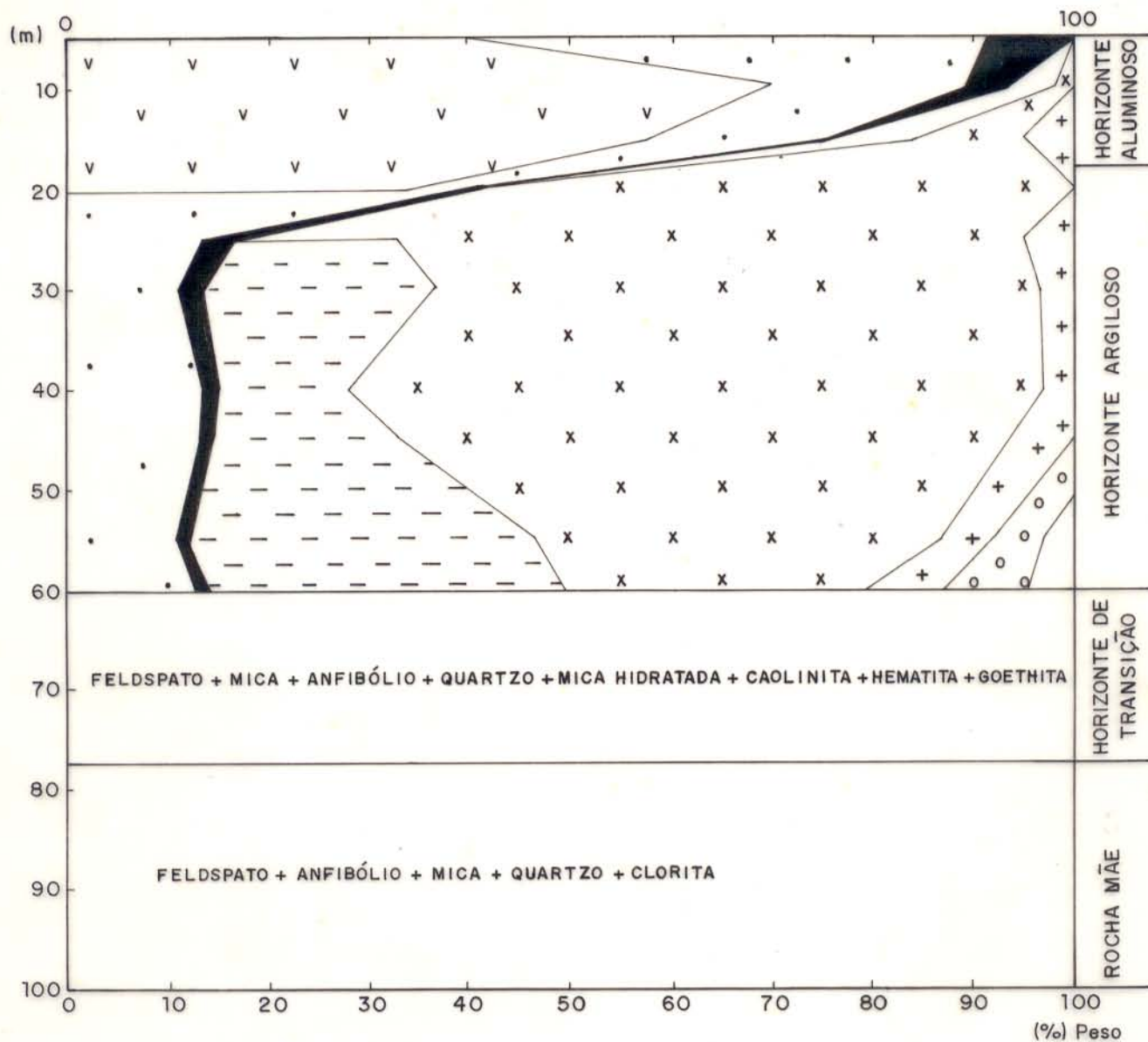


Figura 43 - Distribuição dos minerais ao longo do perfil do furo 3 em Seis Lagos.

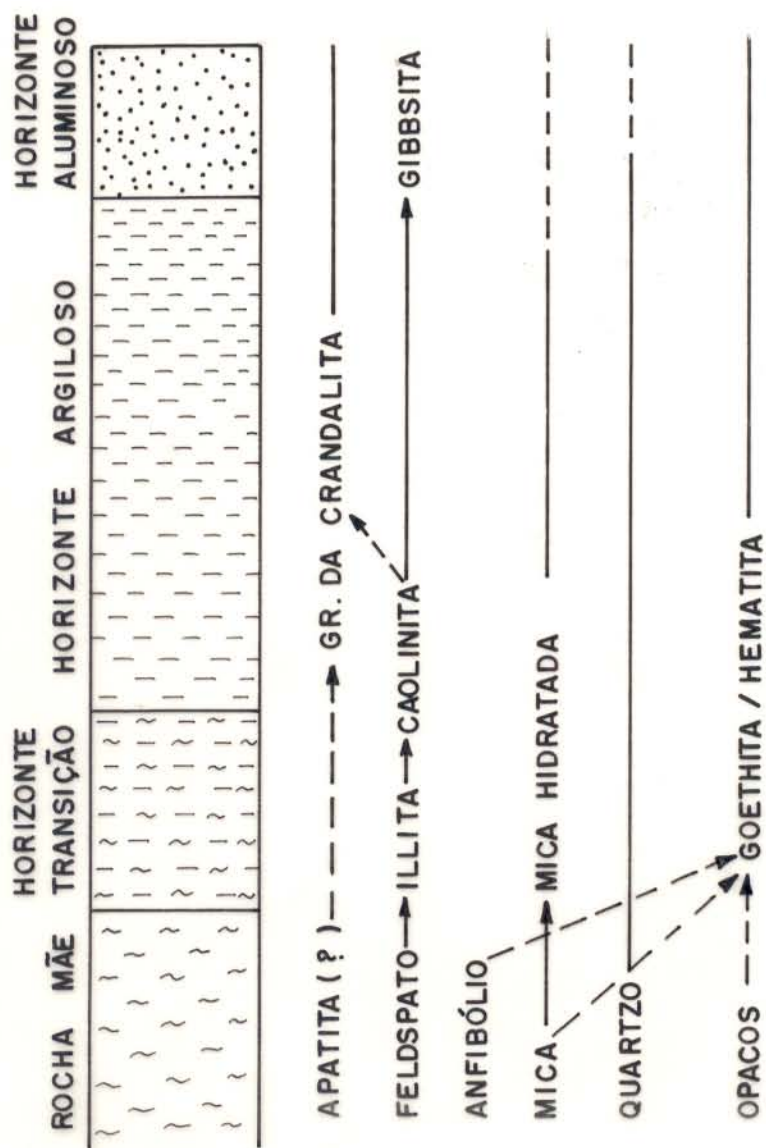


Figura 44 - Evolução mineralógica simplificada ao longo do perfil laterítico do furo 3, de Seis Lagos.

aparecimento de fosfatos do grupo da crandalita, indica presença de um fosfato primário tipo apatita na rocha mãe. A dissolução da caolinita propiciou a formação de gibbsita e aumento da concentração de fosfatos de Al no horizonte aluminoso.

O perfil do furo 1 (crosta) é mineralogicamente similar às crostas superficiais de Seis Lagos e comparável às crostas derivadas de rochas carbonatíticas. Neste perfil, os minerais de Mn concentram-se em uma zona bem definida, refletindo possivelmente uma anomalia ainda herdada do substrato. Na parte superior do perfil, a homogeneidade da crosta é diferenciada pela presença dos minerais de Al (fosfatos), que reflete uma ligeira diferenciação da crosta indicada no topo.

O perfil do furo 3 equivale a um perfil bem desenvolvido, maduro, como os descritos por COSTA (1990 b), formado pelo intemperismo de rochas aluminossilicatadas, pobres em ferro, como as encaixantes de Seis Lagos, que segundo VIÉGAS FILHO & BONOW (1976), seriam rochas de composição granodioríticas guardando muito pouca influência de carbonatitos no perfil.

Os dois perfis não mostram similaridade mineralógica entre si, com exceção da presença dos fosfatos do grupo da crandalita, que mesmo assim estão representados por florencita na crosta do perfil do furo 1 e crandalita-goyazita no horizonte aluminoso do perfil do furo 3. O membro florencita tem sua ocorrência associada a perfis lateríticos derivados de carbonatitos (SVISERO *et al.*, 1984; BRAUN *et al.*, 1990), enquanto a solução sólida crandalita-goyazita, é encontrada em perfis lateríticos nem sempre relacionados a estas rochas, como nos lateritos fosfáticos da região do Gurupi (COSTA & SÁ, 1980; COSTA, 1982). Portanto, os dois perfis apresentados, devem ter sido originários de diferentes rochas-mães.

## 5.2 GEOQUÍMICA

### 5.2.1 Composição Química dos 90 m de Crosta do Perfil do Furo 1

O perfil do furo 1, que, na realidade é formado apenas da crosta laterítica, destaca-se pelas concentrações muito elevadas de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (55,4 a 88,5 %), com média de 79,4 % (Figura 45). Também na Figura 45 observa-se concentrações muito variáveis até muito elevadas de MnO (0,04 a 28,79 %), com média de 5,99 %, significativas de  $\text{TiO}_2$  (0,15 a 3,76 %), com teor médio de 1,18 %, e baixos de  $\text{SiO}_2$  (0,20 a 11,27 %) e  $\text{P}_2\text{O}_5$  (0,02 a 0,97 %), em relação a média crustal. Estes resultados se igualam com amostras superficiais das crostas de Seis Lagos descritas no item 4, e com aquelas também de outras crostas ferruginosas, a exemplo de Sukulu (REEDMAN, 1984), que é derivada de rochas carbonatíticas.

Dentre os elementos traços analisados no perfil do furo 1, destacam-se as concentrações elevadas de  $\text{Nb}_2\text{O}_5$ , em média de 0,90 %, variando de 0,09 a 2,99 % (Figura 45). Neste perfil, os teores mais elevados de Nb são observados nos primeiros 20 metros (Figura 46), onde ocorrem as concentrações mais elevadas de Ti. É forte o paralelismo entre Ti e Nb (Figura 46), o que vem reforçar, o que ocorreu nas crostas superficiais, a premissa de que ambos devem se concentrar na mesma estrutura mineral, ilmenorutilo (ainda Nb-rutilo e Nb-brookita). Minerais como esses ocorrem como minerais herdados nas crostas derivadas de carbonatitos (MARIANO, 1989; LOTTERMOSER, 1990). V e Sn encontram-se na parte superior do perfil, com teores máximos de 644 e 200 ppm, respectivamente (Figura 47). Esses elementos também estão alojados nos minerais de Ti. Os teores de Ba alcançam 4,1 % (Figura 47) na parte intermediária do perfil (Figura 48), compondo os minerais de Mn romanechita e hollandita. Minerais de Mn como esses ocorrem também na crosta laterítica de Mt. Weld (LOTTERMOSER, 1990), derivada de carbonatito. Assim como o Ba, o Co também apresenta seu teor máximo (360 ppm; Figura 47) na zona manganésifera (entre 25 e 35 m) (Figura 48), fazendo parte dos minerais de Mn, como nas

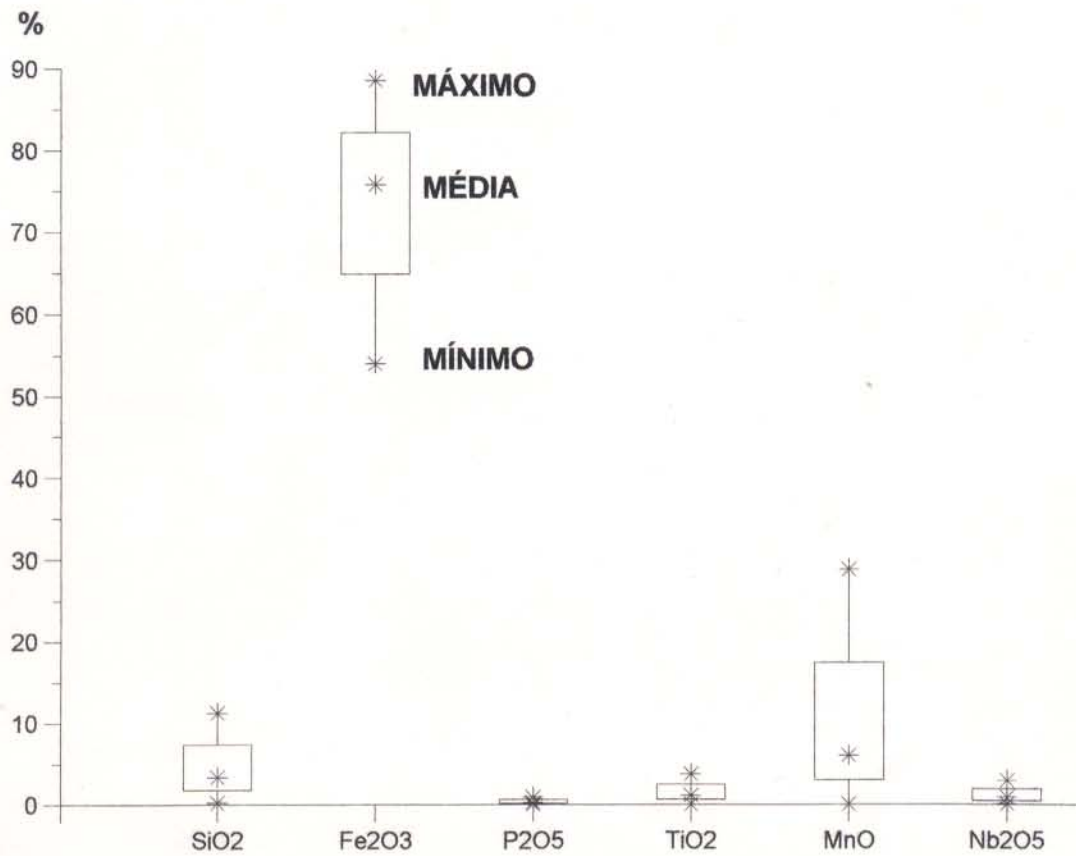


Figura 45 - Médias e variações das concentrações dos elementos maiores no perfil do furo 1 (crosta).

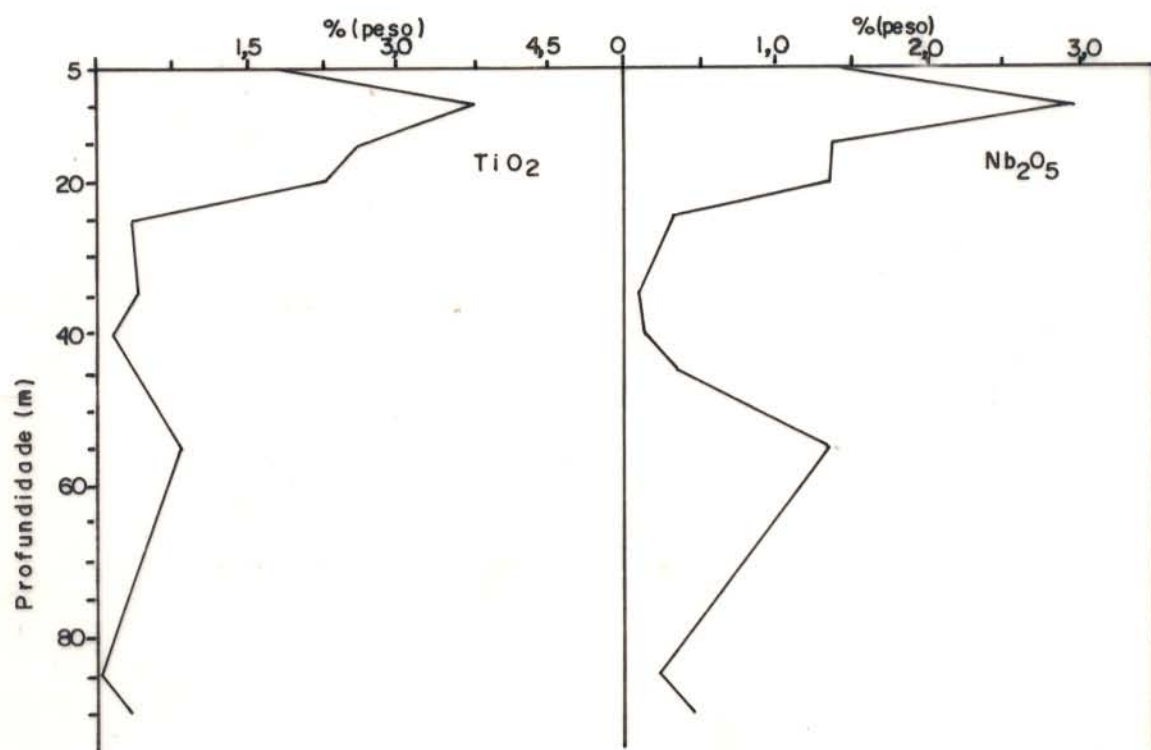


Figura 46 - Distribuição de  $TiO_2$  e  $Nb_2O_5$  ao longo do perfil do furo 1, em Seis Lagos.

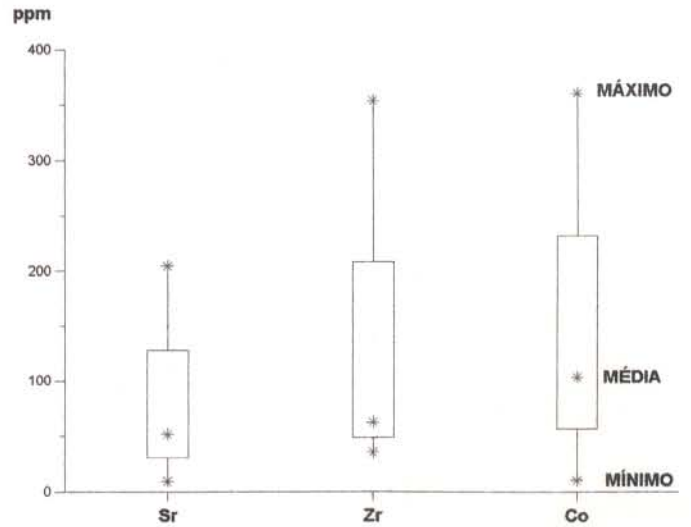
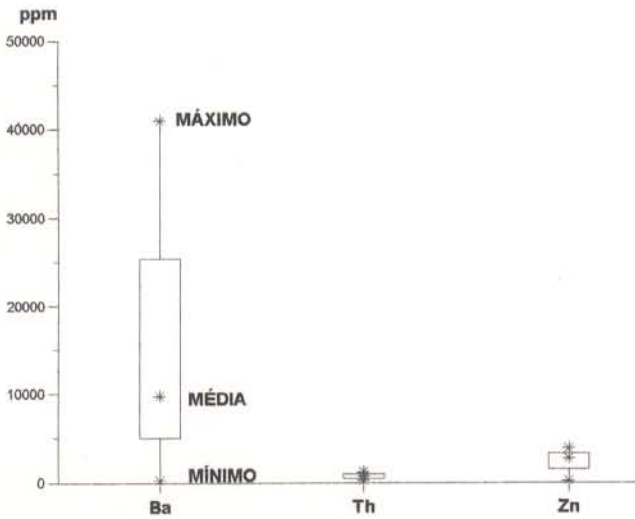
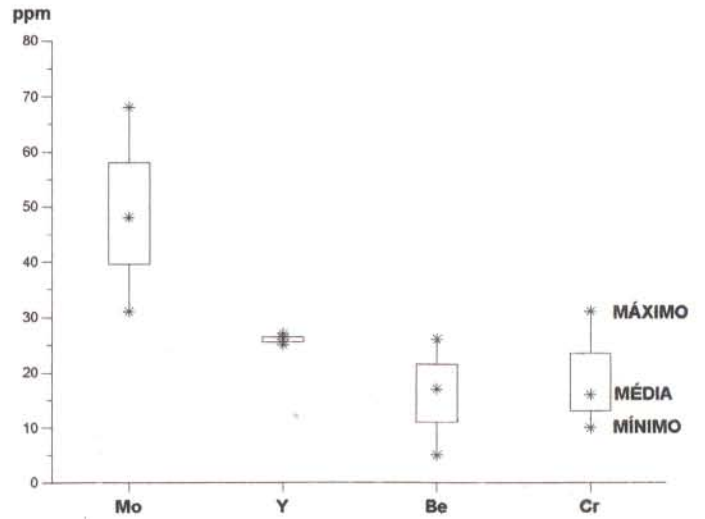
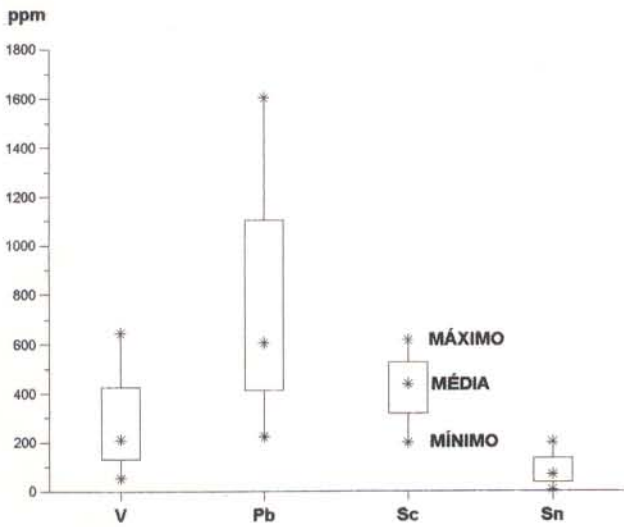


Figura 47 - Médias e variações das concentrações dos elementos traços no perfil do furo 1 (crosta).

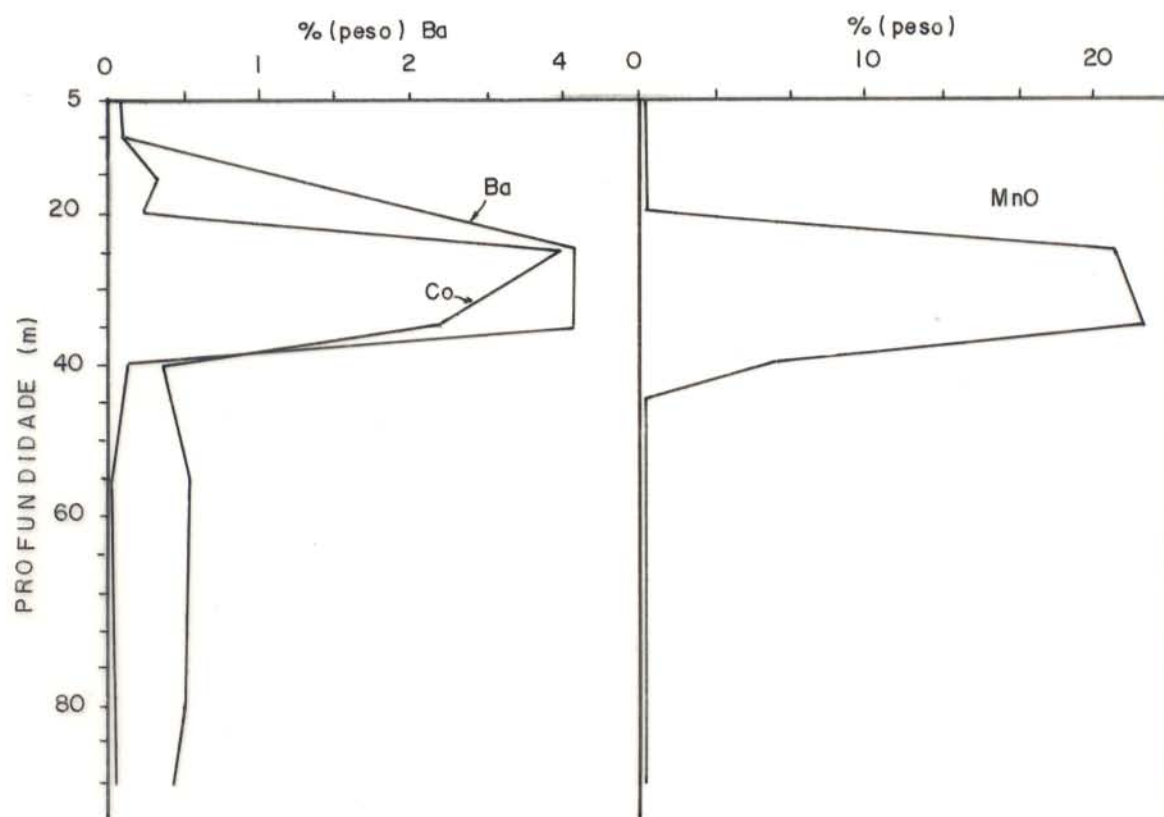


Figura 48 - Distribuição de Ba, Co e MnO ao longo do perfil do furo I, em Seis Lagoas.



crostas superficiais. Os teores de Mo, embora inferiores aos encontrados nas crostas superficiais, são ainda muito superiores à média crustal, com teor máximo de 68 ppm (Figura 47). O Be também encontra-se em teor superior à média crustal, com média de 16,9 ppm (Figura 47), possivelmente associado aos fosfatos do grupo da crandalita, como em Sukulu (REEDMAN, 1984). Os teores de Th são bastante elevados, com teor médio de 702 ppm (Figura 47), apesar de não ter sido identificado monazita neste perfil, o Th parece estar associado a fosfatos (Figura 49). O Pb atinge teor máximo (1603 ppm) na zona superior do perfil (Figura 49), onde concentram-se os fosfatos do grupo da crandalita, devendo fazer parte da estrutura desses minerais. Esses elementos ( $\text{Th}^{4+}$  e  $\text{Pb}^{2+}$ ) podem estar alojados na estrutura dos fosfatos deste grupo (MCKIE, 1962; WAMBEKE, 1977). Os teores de Zn são bastante elevados, com teor médio de 2748 ppm (Figura 46) e acompanham a distribuição de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , onde deve estar relacionado à goethita. O Sc encontra-se em concentrações elevadas, variando de 198 a 615 ppm (Figura 47). Como nas crostas superficiais, neste perfil os teores elevados de Sc estão relacionados a elevados teores de Ce (Figura 50). Ao contrário das crostas superficiais, onde predominam teores elevados de Y, neste perfil, o Y (Figura 47) ocorre em concentrações a níveis crustais. Também a níveis crustais, encontra-se o Cr (Figura 47), como nas crostas superficiais. O estrôncio com teor médio (52 ppm) inferior à média crustal, apresenta seu valor mais elevado na zona mais aluminosa (204 ppm) e acompanha a distribuição de  $\text{P}_2\text{O}_5$  (Figura 51), onde deve estar relacionado aos fosfatos do grupo da crandalita, por ser este elemento comum na estrutura desses minerais, que aqui no caso está representado pela florencita que pode conter teores apreciáveis de Sr (WALL & MARIANO, 1996).

As concentrações dos elementos terras raras nas amostras do perfil do furo 1 (crosta) estão indicadas na Tabela 20. Os valores são relativamente baixos, com exceção do Ce, que apresenta teores muito elevados (1972 a 22613 ppm). O total de ETR varia de 2618 a 23413 ppm,

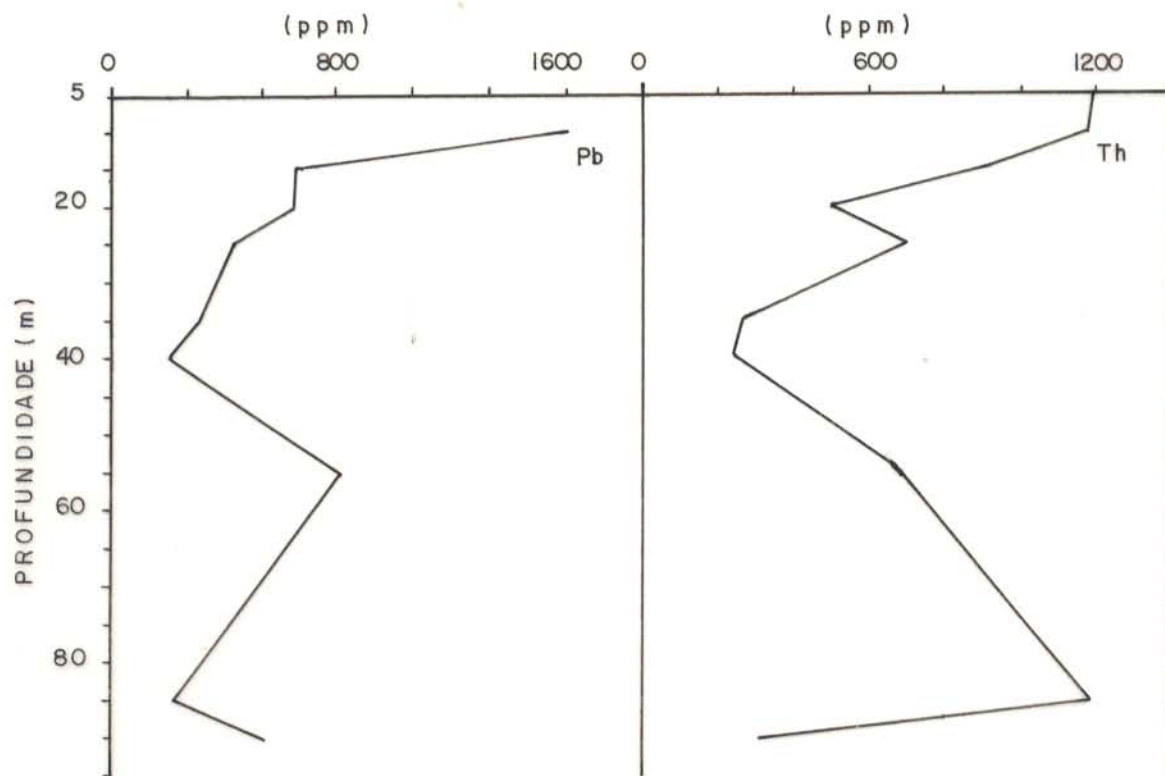


Figura 49-Distribuição de Pb e Th ao longo do perfil do furo I.

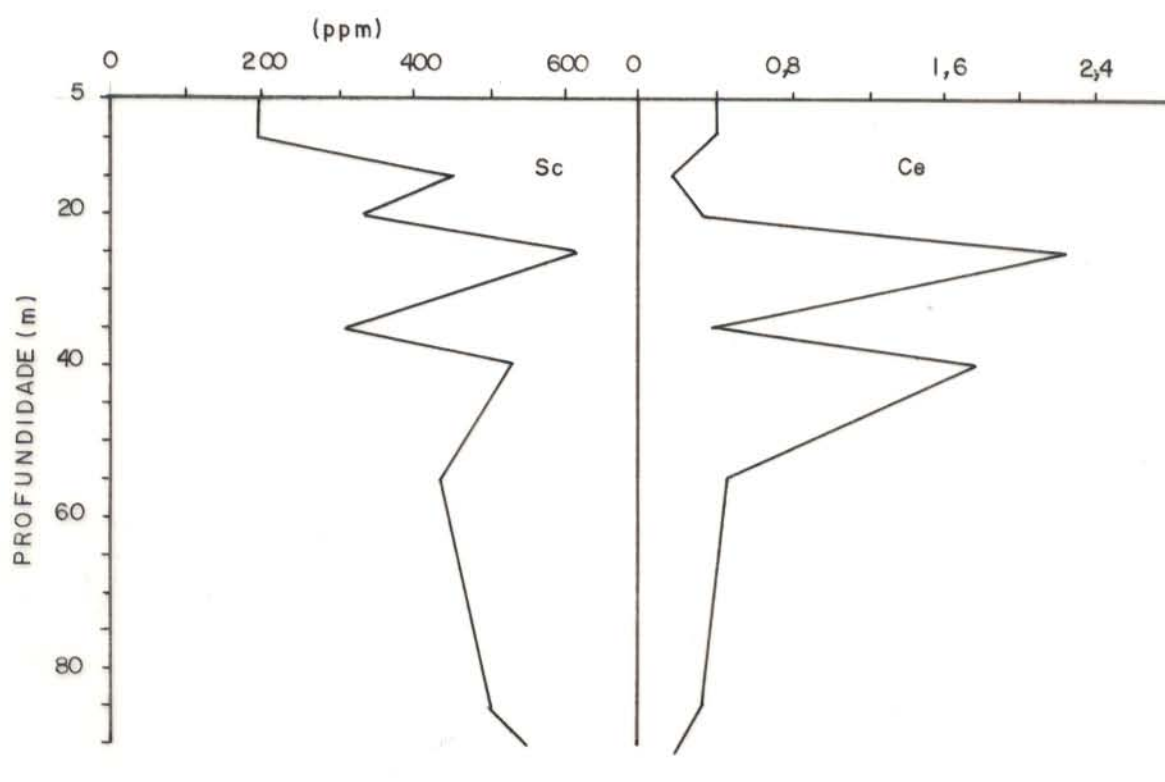


Figura 50 - Distribuição do Sc e Ce ao longo do perfil do furo 1.

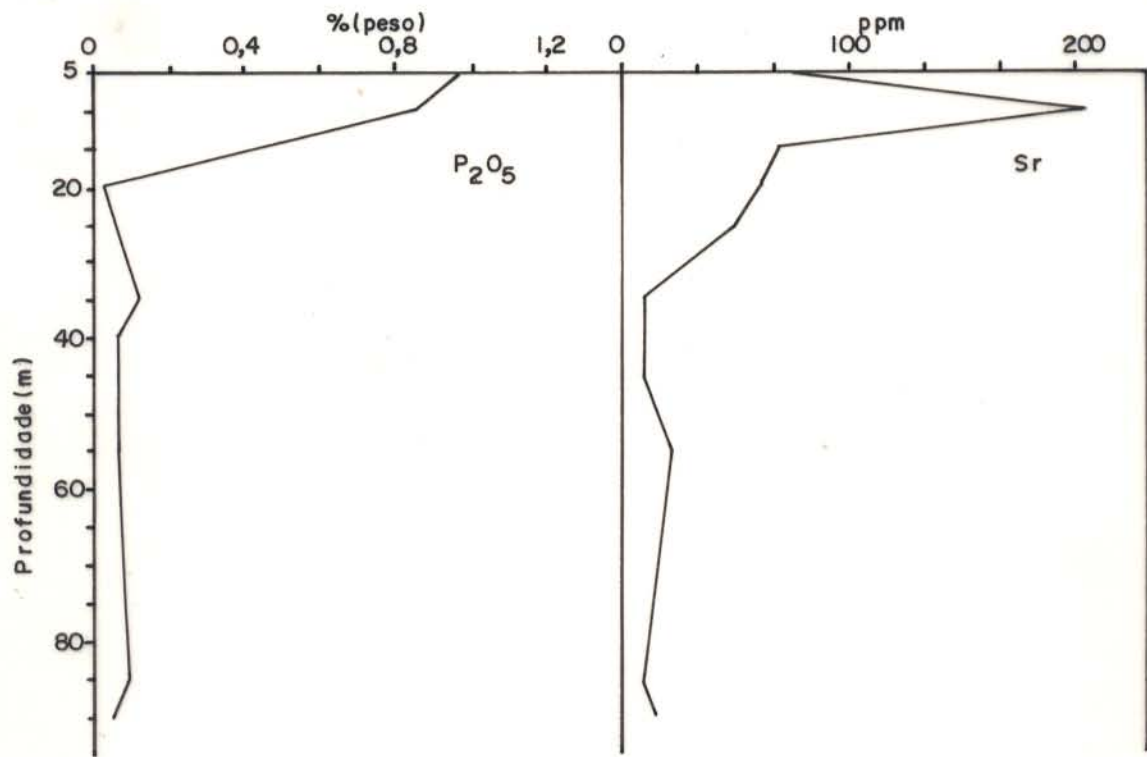


Figura 51- Distribuição de  $P_2O_5$  e Sr ao longo do perfil do furo 1, em Seis Lagos.

Tabela 20 - Concentrações dos elementos terras raras (ETR) em ppm, das amostras do perfil do furo 1

Amostra (Prof. m)	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Gd	Dy	Ho	Er	Yb	Lu
5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
10	1663,00	4237	974,70	118,70	19,99	50,36	24,20	3,52	6,70	3,23	0,69
15	573,40	1972	237,00	38,00	10,56	29,60	20,96	3,75	7,93	4,63	0,85
20	379,00	3498	133,20	24,21	5,88	23,20	21,08	3,83	8,42	4,75	0,81
25	252,80	22613	277,20	70,50	22,05	75,20	61,47	10,28	20,11	9,91	1,37
35	200,60	3365	353,40	79,23	22,40	76,01	59,98	10,96	24,30	11,97	1,41
40	57,73	17879	119,80	46,32	13,99	61,60	47,70	9,57	19,24	11,55	1,58
55	456,10	4778	334,30	53,00	12,10	60,50	56,89	10,56	24,39	15,67	2,05
85	30,18	3099	36,91	12,23	3,71	16,80	16,00	2,98	6,90	4,58	0,74
90	195,70	2185	134,20	22,27	5,74	22,98	24,29	4,68	11,71	10,25	1,25
MÉDIA	423,16	7069	288,97	51,60	12,93	46,29	36,93	6,68	14,41	8,50	1,19
(1)	1194,39	3493,18	1141,47	194,12	38,39	82,03	34,07	5,94	11,90	5,92	0,82

(1) média das crostas de superfície

-- não analisado

com relação ETRL/ETRP situando-se entre 21,8 a 130,3 (Tabela 21). Esses valores são superiores aos das crostas superficiais e de ocorrências conhecidas, como Akongo (BRAUN *et al.*, 1990) e Maicuru (ANGÉLICA & COSTA, 1993), entretanto, este valor muito elevado, deve-se somente ao Ce. Em direção ao topo do perfil, são observados os teores mais elevados de La (1663 ppm) e Nd (974,7 ppm) do perfil, que assim como nas crostas superficiais constituem os fosfatos do grupo da crandalita.

Fosfatos do grupo da crandalita, cerianita, romanechita, hollandita e lithioforita (rara), conhecidos concentradores de ETR, são os minerais representantes desses elementos neste perfil. Ao contrário das crostas superficiais, onde a ocorrência de cerianita é rara, na crosta deste perfil ela é abundante.

As curvas dos ETR normalizados aos condritos (Figura 52) apresentam, com exceção de uma única amostra (10 m), somente fortes anomalias positivas de Ce, e os principais responsáveis por essas anomalias seriam a cerianita e a romanechita, assim como foram nas crostas superficiais. Os outros minerais presentes, como os fosfatos do grupo da crandalita, que apesar de serem minerais portadores de ETR, a única amostra (10 m) que não apresenta anomalia, contém esses fosfatos, e os minerais de Ti, que não mostram correlação positiva desse elemento com os ETR. Portanto, a cerianita e romanechita, principalmente, seriam os responsáveis por essas anomalias. Apesar da presença rara da lithioforita neste perfil, esta também não deve ser ignorada, por ser conhecida como enriquecedora em Ce (FORMOSO *et al.*, 1989).

### 5.2.2 Composição Química do Perfil Laterítico Estruturado do Furo 3

O perfil do furo 3 tem características químicas muito diferentes do anterior. Os teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  são, em relação ao furo 1, relativamente pouco elevados (4,09 a 46,6 %), que crescem em direção ao horizonte aluminoso, com teor médio de 26,83 % (Figura 53). Em contraposição são

Tabela 21 - Relações ETRL/ETRP, (La/Yb)<sub>N</sub> e Ce/Ce\*, que indicam o fracionamento dos ETR no perfil do furo 1.

Amostra (Prof. m)	ETR	ΣETRL	ΣETRP	ΣETRL/ΣETRP	(La/Yb) <sub>N</sub>	Ce/Ce*
10	7102,09	7013,39	88,70	79,07	347	1,27
15	2898,68	2830,96	67,72	41,80	83	1,78
20	4102,38	4040,29	62,09	65,07	54	4,78
25	23413,89	23235,55	178,34	130,29	17	40,10
35	4205,26	4020,63	184,63	21,77	11	6,60
40	18267,98	18116,84	151,14	119,86	3	115,99
55	5803,56	5633,50	170,06	33,12	20	5,07
85	3230,03	3182,03	48,00	66,29	4	44,89
90	2618,07	2542,91	75,16	33,83	13	5,45
MÉDIA	7960,21	7846,23	113,98	65,68	61	25,11
(1)	5636,34	5472,72	163,61	40,53	179	2,66

(1) Média das crostas de superfície

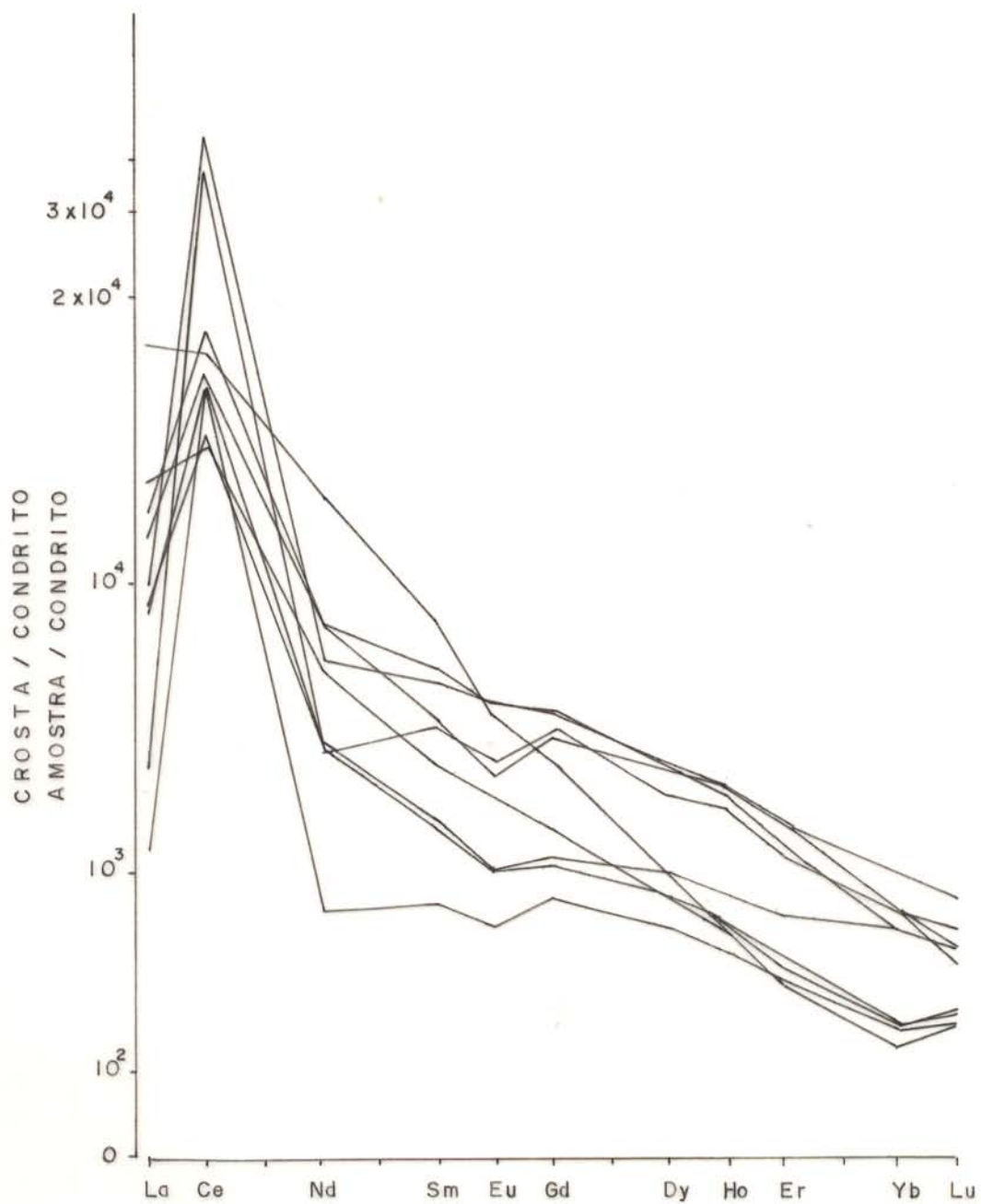
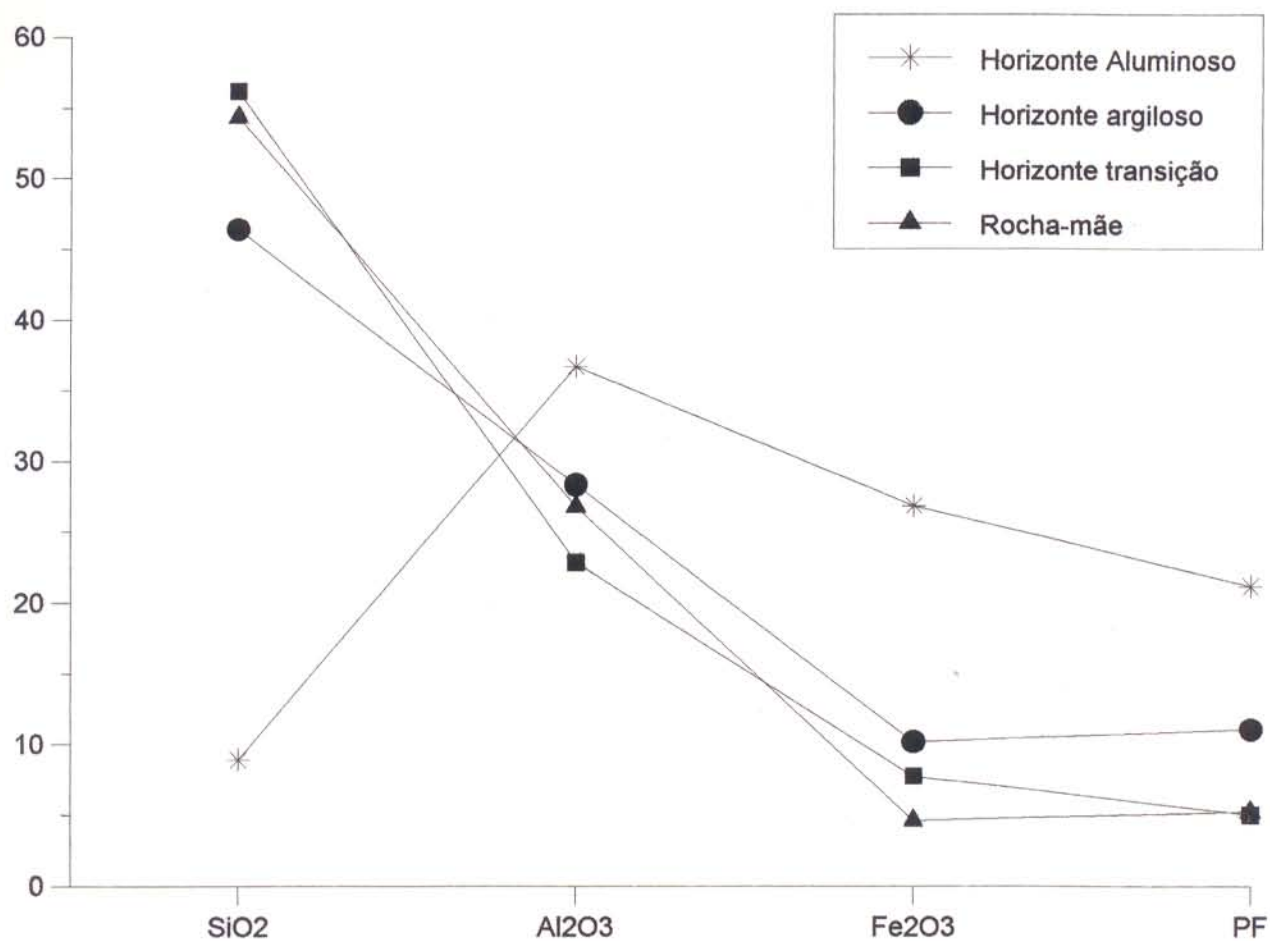


Figura 52- Curvas dos ETR normalizadas aos condritos (EVENSEN et al., 1978) das amostras do perfil do furo 1 (crosta).

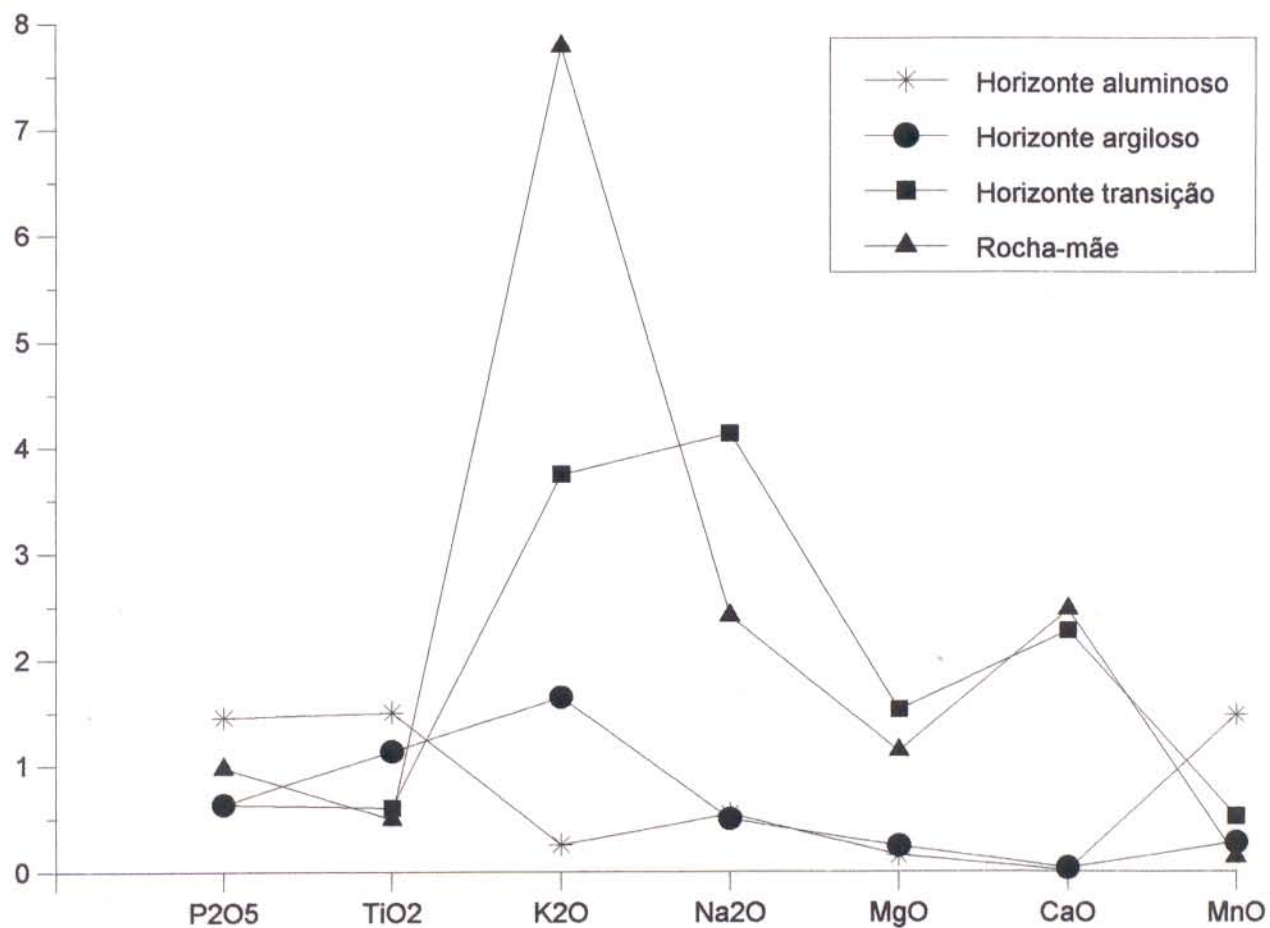




**Figura 53 - Distribuição dos teores médios de SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e perda ao fogo (PF) ao longo do perfil do furo 3.**

altos os teores de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (22,3 a 44,36%), que crescem em direção ao topo do perfil, onde o teor médio atinge 36,7 % (Figura 53). A perda ao fogo (PF) aumenta em direção ao horizonte aluminoso (Figura 53), devido à presença de minerais hidratados. O teor médio de  $\text{P}_2\text{O}_5$  atinge 1,45% no horizonte aluminoso (Figura 54), e os de  $\text{TiO}_2$  que também são crescentes de baixo para cima, alcançam o teor médio de 1,5 % (Figura 54), como normalmente é verificado em perfis lateríticos. Os teores de Na, K, Ca e Mg, diminuem fortemente em direção ao topo do perfil. Essas características encontradas em termos de teores dos elementos analisados são clássicas de intemperismo laterítico, e se equivale aqueles descritos por TOPP *et al.* (1985), BOWELL (1993), amplamente distribuídos em zonas tropicais, derivados de rochas aluminossilicatadas.

No perfil do furo 3 os teores de  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  atingem valores anômalos (1393 ppm), embora muito inferiores aos do perfil anterior (Furo 1), que são observados no horizonte aluminoso, e que estão apenas parcialmente relacionados com os teores de Ti (Figura 55), divergindo em parte do comportamento desses dois elementos verificado nas crostas ferruginosas. O Nb também se correlaciona parcialmente com o Zr (Figura 55), fato verificado em perfis bauxíticos por SOUBIÉS *et al.* (1989), onde estes elementos fazem parte da estrutura da goethita. Além do Nb no horizonte aluminoso, são observadas as concentrações mais elevadas de Sr (2221 ppm), Pb (229 ppm) (Figura 56), Th (110 ppm), Sc (540 ppm), Ba (0,92%), Mo (128 ppm) e Co (124 ppm). Esse é o horizonte constituído de fosfatos do grupo da crandalita, como crandalita-goyazita, que a exemplo de outras ocorrências, pode conter teores elevados desses elementos e de ETR (WAMBEKE, 1971; COSTA & SÁ, 1980). Neste perfil a solução sólida do grupo da crandalita encontrada, diverge daquela encontrada nas crostas que é florencita. Elementos como V, em teores relativamente baixos (37 a 278 ppm) e Ni, a níveis crustais, com teores mais elevados em direção ao topo do perfil (Figura 57), parecem estar associados aos oxi-hidróxidos de Fe (Figura 58). O Mn (0,1 a 1,63 %) em teores muito inferiores aos do perfil anterior, com crostas



**Figura 54 - Distribuição dos teores médios de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, TiO<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O, MgO, CaO e MnO ao longo do perfil do furo 3.**

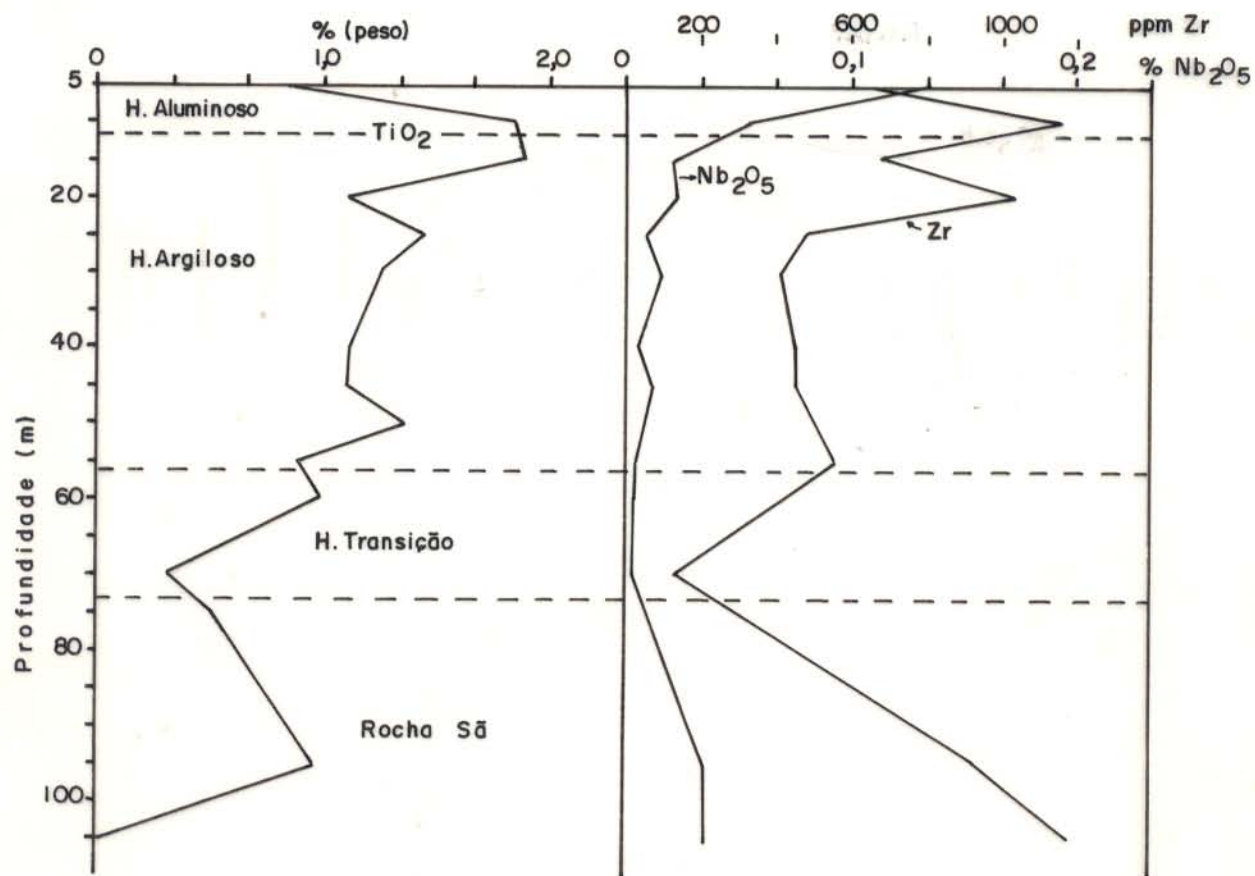


Figura 55-Distribuição de  $TiO_2$  e  $Nb_2O_5$  ao longo do perfil laterítico do furo 3, em Seis Lagos.

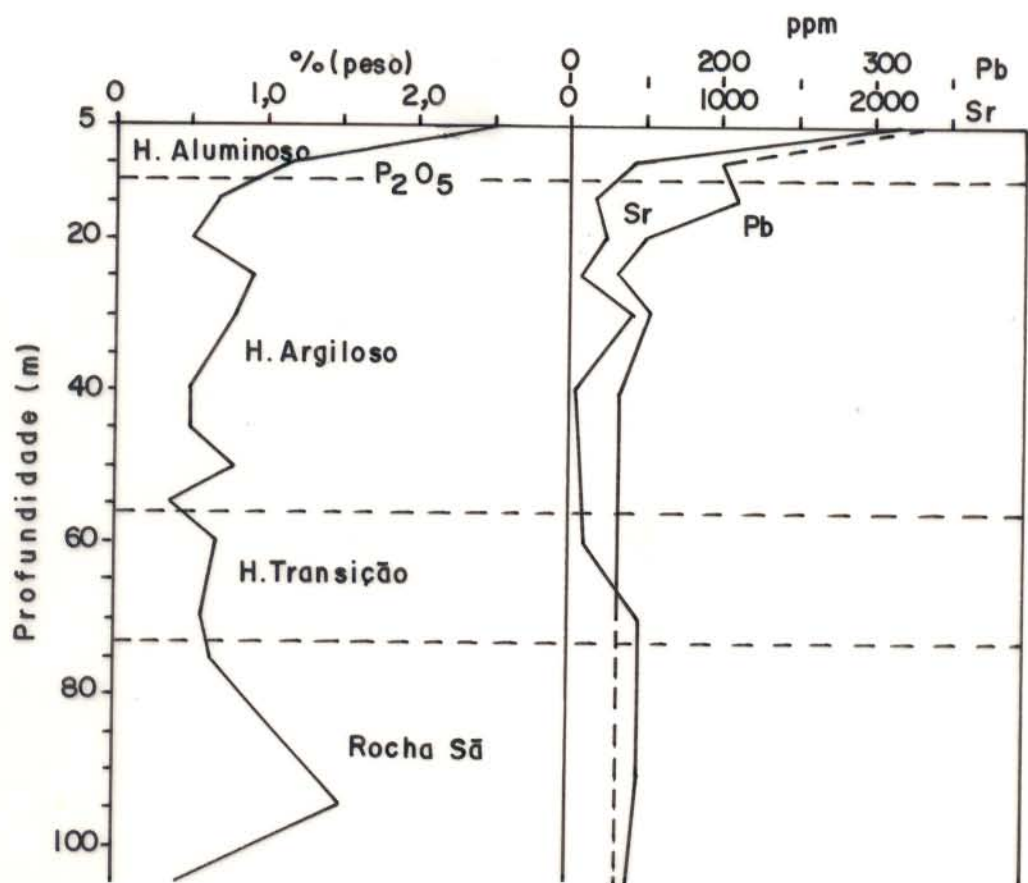


Figura 56 - Distribuição de  $P_2O_5$ , Sr e Pb ao longo do perfil laterítico do furo 3, em Seis Lagos.

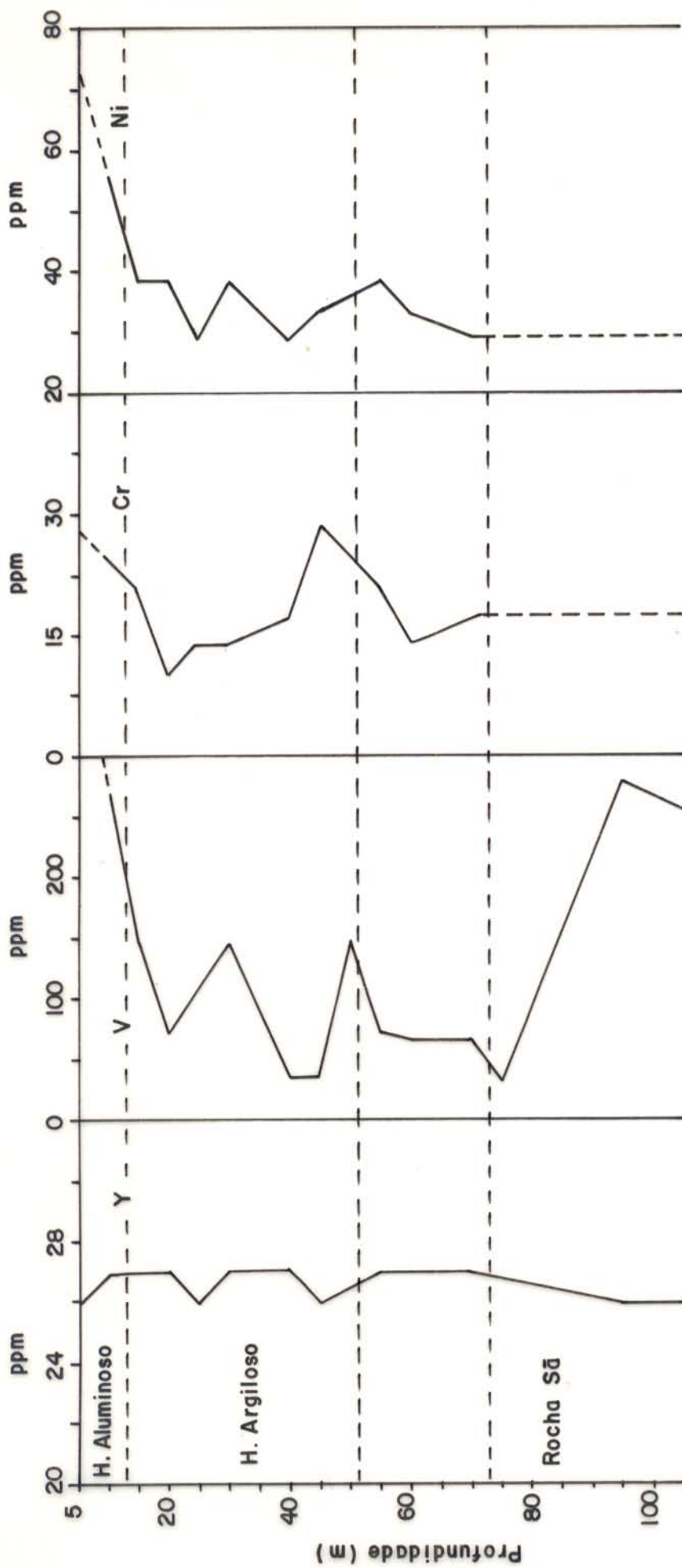


Figura 57 - Distribuição de Y, V, Cr e Ni ao longo do perfil laterítico do furo 3, em Seis Lagos.

ferruginosas, também apresenta a mesma distribuição do Fe (Figura 58), exceto no horizonte de transição, pois que aí ocorre como lithioforita, enquanto nos horizontes superiores deve estar como oxi-hidróxidos. O Be tem seu teor máximo (30 ppm) no horizonte de transição, onde deve fazer parte da lithioforita, pois correlaciona-se parcialmente com o Mn. No horizonte argiloso são observados os teores mais elevados de Cr (Figura 57) e Cu (Figura 59), que estão a níveis crustais, possivelmente alojados na estrutura da illita, característica de perfis lateríticos (COSTA, 1990 b) que ocorre na parte mais basal deste horizonte. No horizonte argiloso, também são observados os teores mais elevados de Zn (Figura 59). Cu, Cr, Zn e mesmo Rb, mais elevados nesse horizonte, também é uma característica de perfis lateríticos. A distribuição do Y é quase constante ao longo do perfil (Figura 57), com teores a níveis crustais. O Sn encontra-se abaixo de seu limite de detecção que é de 5 ppm.

No perfil do furo 3, as concentrações mais elevadas de ETR (Tabela 22), tanto dos ETRL como dos ETRP, são observadas no horizonte aluminoso. O Ce é o ETR mais abundante, com teor de 1,7 %. Além do Ce, destacam-se as concentrações de La (3577 ppm) e Nd (2251 ppm) no topo do perfil. Nos horizontes inferiores e na rocha mãe, os teores dos ETR são pouco elevados.

Os minerais portadores de ETR são os fosfatos do grupo da crandalita (crandalita-goyazita) e a lithioforita de ocorrência esporádica nos horizontes aluminoso (1 amostra) e argiloso (2 amostras).

As curvas dos ETR normalizados aos condritos (Figura 60) apresentam-se deplecionadas em ETRP, com anomalias positivas em Ce, cujas amostras ocorrem lithioforita e fosfatos do grupo da crandalita. FORMOSO *et al.* (1989) reportam a lithioforita como grande concentrador de ETR, com notável enriquecimento em Ce. A presença da lithioforita, que embora rara nos horizontes aluminoso (amostra 5m) e argiloso (amostras 40 m e 45 m), seria a responsável pelas anomalias

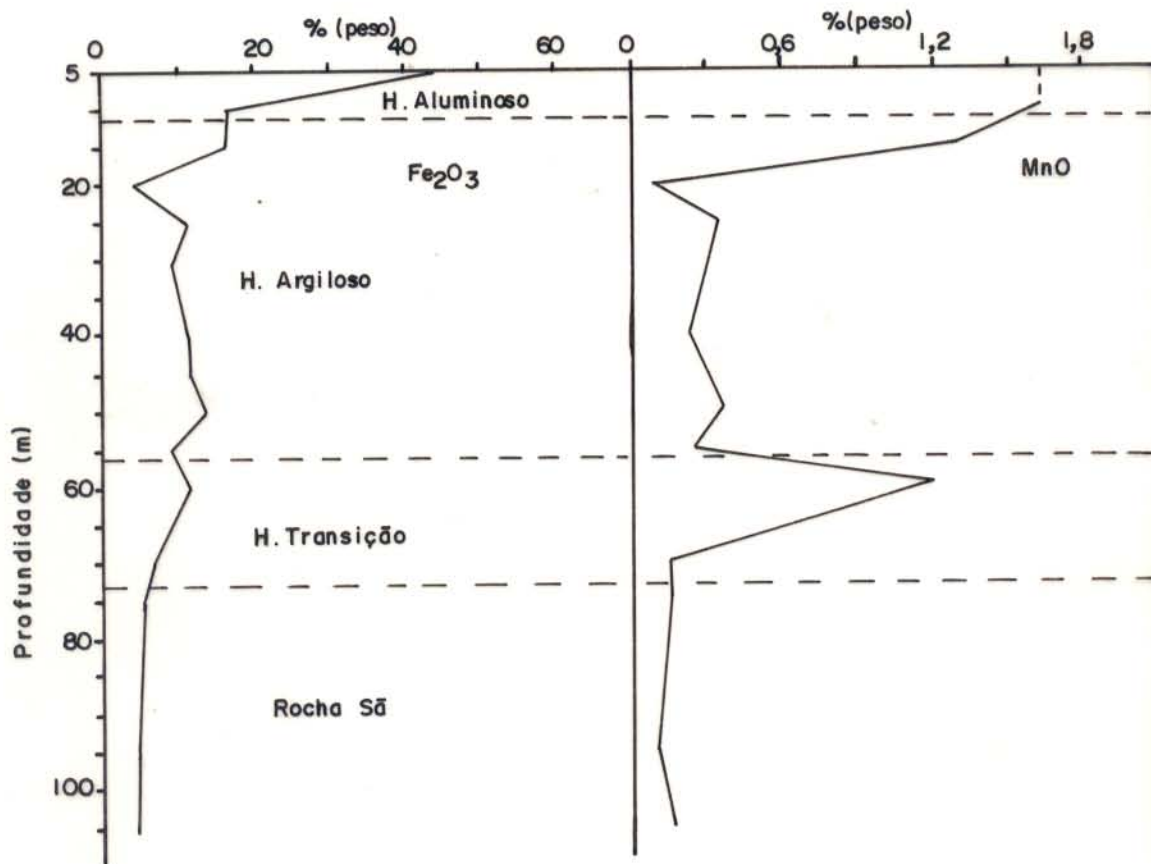


Figura 58 - Distribuição de  $Fe_2O_3$  e MnO ao longo do perfil laterítico do furo 3, em Seis Lagos.



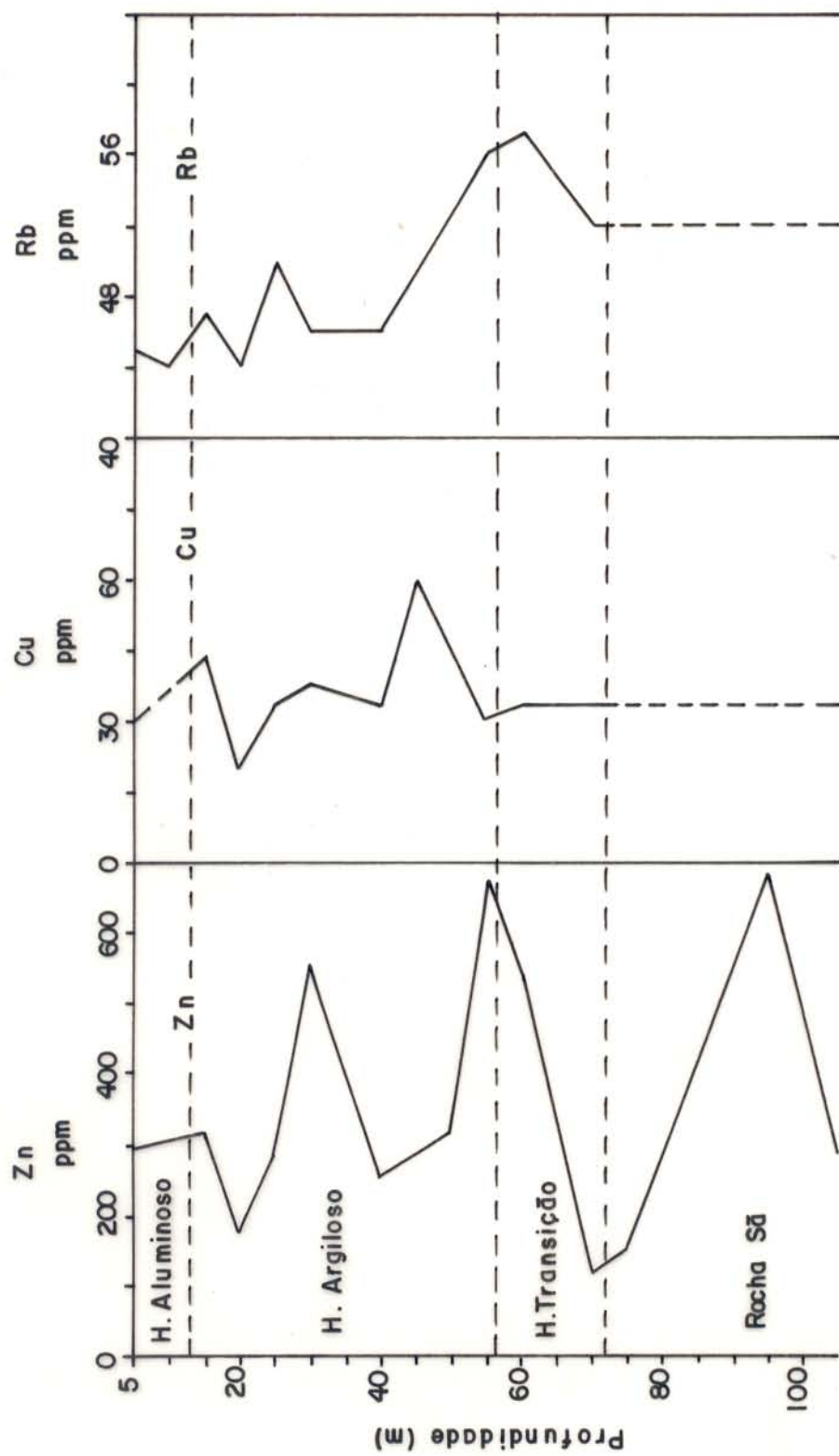


Figura 59 - Distribuição de Zn, Cu e Rb ao longo do perfil laterítico do furo 3, em Seis Lagos.

Tabela 22 - Concentração dos elementos terras raras (ETR) em ppm, das amostras do perfil do furo 3.

Horizonte	Amostra (Prof. m)	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Gd	Dy	Ho	Er	Yb	Lu
Aluminoso	5	3577,00	17274,00	2251,00	245,50	46,33	157,00	82,68	13,94	24,52	12,42	1,68
	10	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	15	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Argiloso	20	137,00	198,20	148,40	25,94	5,34	13,30	8,97	1,74	4,39	3,57	0,52
	25	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	30	199,40	180,20	159,00	27,56	6,29	17,03	10,72	1,90	3,89	2,17	0,28
	40	48,27	194,90	92,00	16,00	3,97	12,96	9,97	1,94	4,95	4,13	0,54
	45	47,42	198,60	65,85	13,32	3,26	11,40	7,20	1,33	3,01	2,23	0,27
	50	119,60	159,30	133,70	27,39	6,78	23,08	16,32	2,93	6,25	3,84	0,48
	55	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Transição	60	164,40	271,20	133,50	22,20	4,73	15,28	11,08	1,95	4,12	3,75	0,54
	70	33,00	77,34	37,50	8,01	1,75	5,62	5,08	1,04	2,93	2,46	0,35
	75	36,68	72,89	35,10	9,20	2,57	7,00	5,40	0,99	2,19	1,39	0,41
Rx. Mãe	95	33,05	83,67	59,00	20,37	7,97	28,20	31,30	6,72	13,78	9,01	1,05
	105	91,47	187,20	83,30	23,21	8,73	27,10	20,20	4,10	8,15	4,87	0,64

-- não determinado

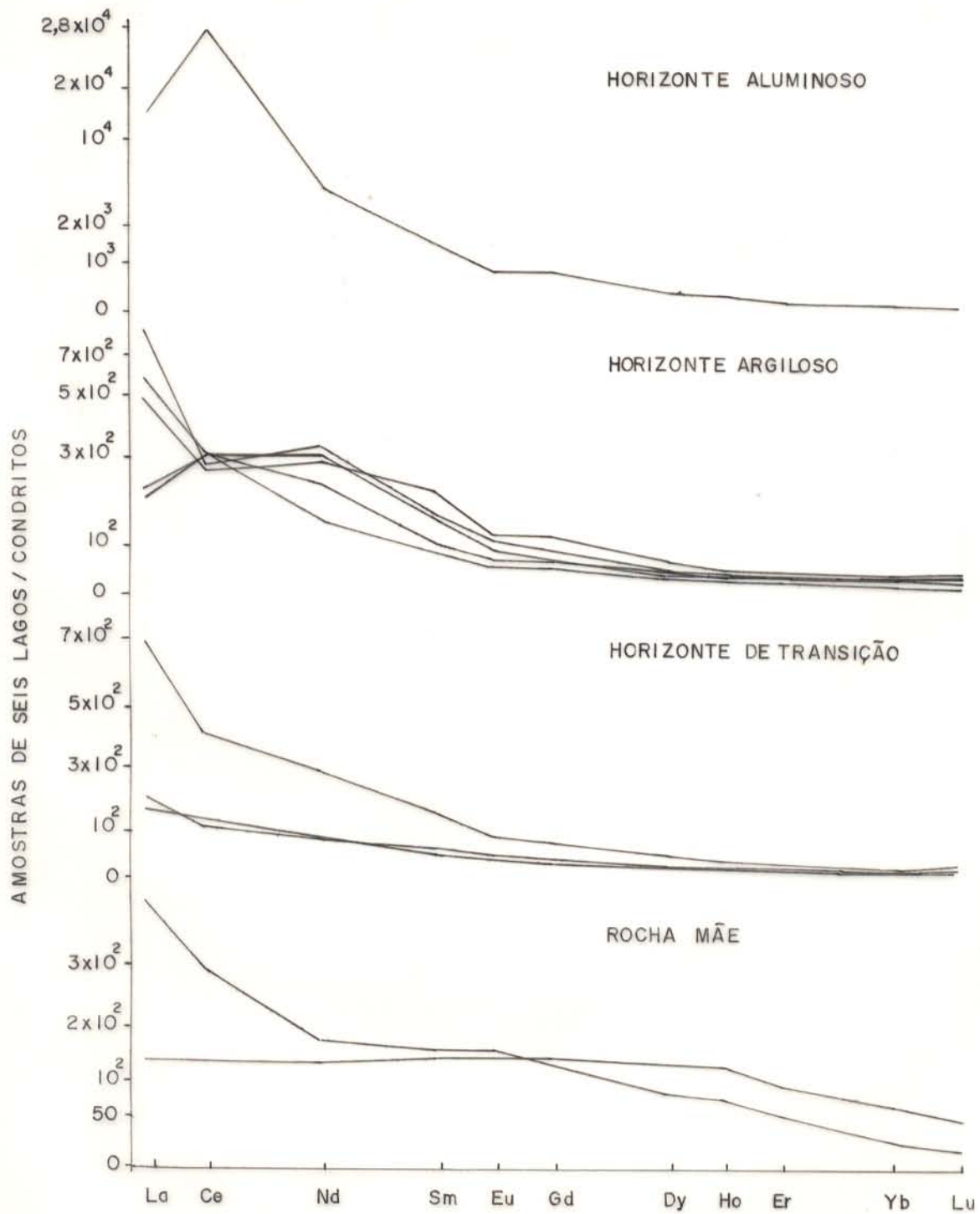


Figura 60 - Curvas dos ETR normalizadas aos condritos (EVENSEN et al., 1978) das amostras do perfil do furo 3.

positivas de Ce, uma vez que as amostras somente portadoras de fosfatos do grupo da crandalita são desprovidas de anomalias.

Assim como nas crostas superficiais e do perfil do furo 1, os minerais de Mn são os concentradores de ETR. Neste perfil, eles estão representados pela lithioforita, que também era rara no perfil do furo 1.

## 6 SEDIMENTOS LACUSTRES DA BACIA ESPERANÇA

Encaixada na crosta laterítica ferruginosa, a Bacia Esperança apresenta forma irregular, tem cerca de 290 m de diâmetro maior (E-W) (Figura 61) com uma área total de 89.730 m<sup>2</sup>, está situada na porção central do corpo de Seis Lagos (Figura 7) e foi preenchida por uma seqüência sedimentar, atualmente recoberta de pântano e/ou brejos.

Na área da Bacia Esperança predominam palmáceas oleígenas, sob as quais encontram-se solos ricos em matéria orgânica. Localmente, as palmeiras (buritiranas) apresentam associações com outros tipos de vegetais (VIÉGAS FILHO & BONOW, 1976).

Na superfície desta Bacia foram registradas anomalias radiométricas ainda mais acentuadas do que na crosta laterítica adjacente que constitui o morro de Seis Lagos, com valores na ordem de 8.000 cps (PINHEIRO *et al.*, 1976) (Figura 61).

### 6.1 SEQUÊNCIA LITOESTRATIGRÁFICA

A seqüência litoestratigráfica da Bacia Esperança obtida com base no furo (furo 4) de sondagem de 493 m de profundidade está representada nas Figuras 62 e 63. Ela está assim constituída da base para o topo: brecha carbonática (a base aparente), argila carbonosa, sapropelito, argila creme e horizonte de solo.

- A brecha carbonática foi delimitada no intervalo mínimo de 493 a 233 m. A coloração do material na sua totalidade é marrom-avermelhada. É constituída de fragmentos da crosta laterítica, de formas irregulares, em matriz carbonática. Os fragmentos da crosta são constituídos, principalmente, de minerais de Fe, de Ti e de Mn. A brecha carbonática é constituída de carbonato, óxido e sulfeto de ferro e óxidos de titânio, e apresenta níveis ricos em matéria orgânica.

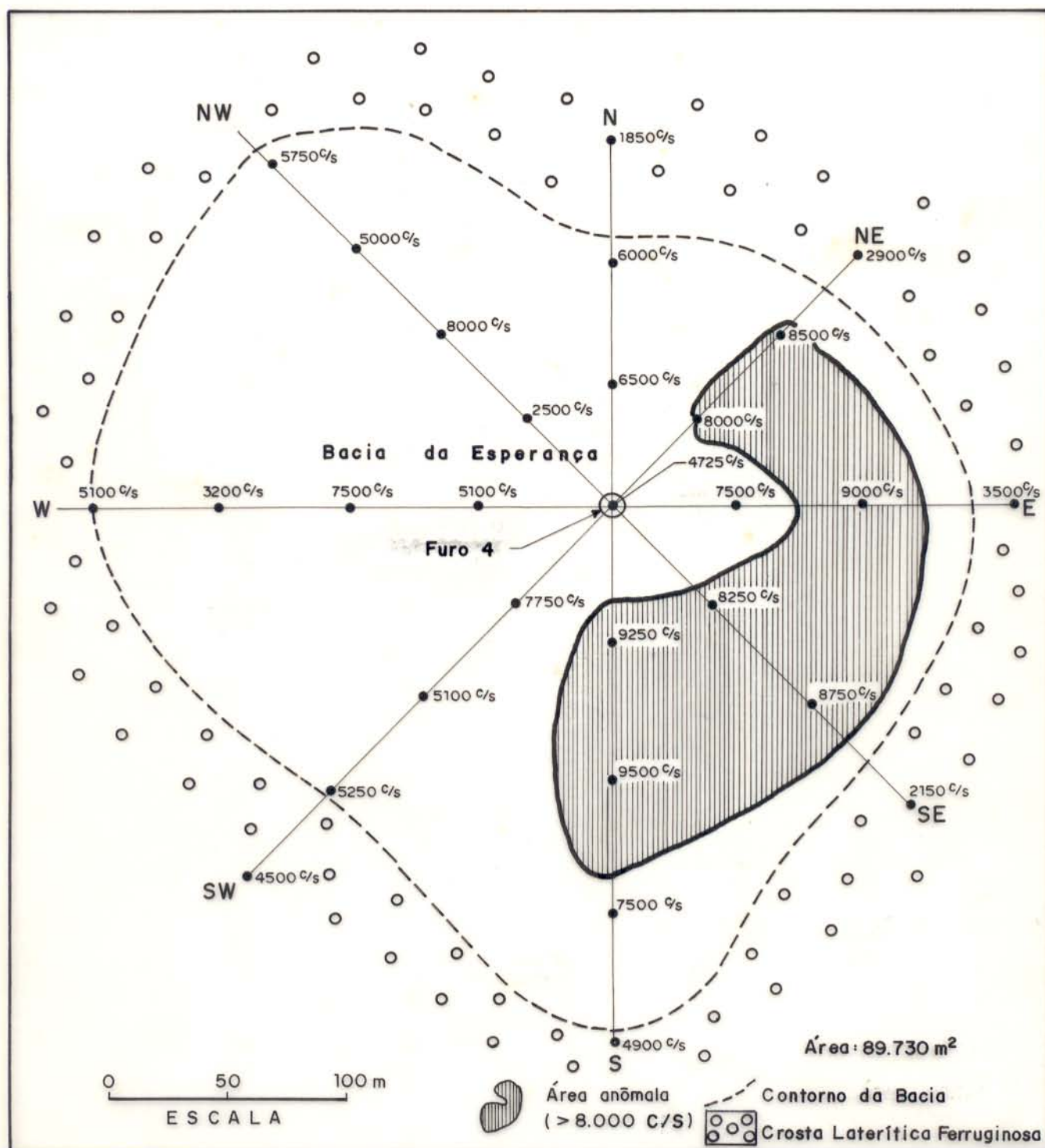


Figura 61 - Mapa cintilométrico sobre sedimentos superficiais da Bacía Esperança, Modificado de BONOW & ISSLER (1980).

## FURO 1SG-04-AM

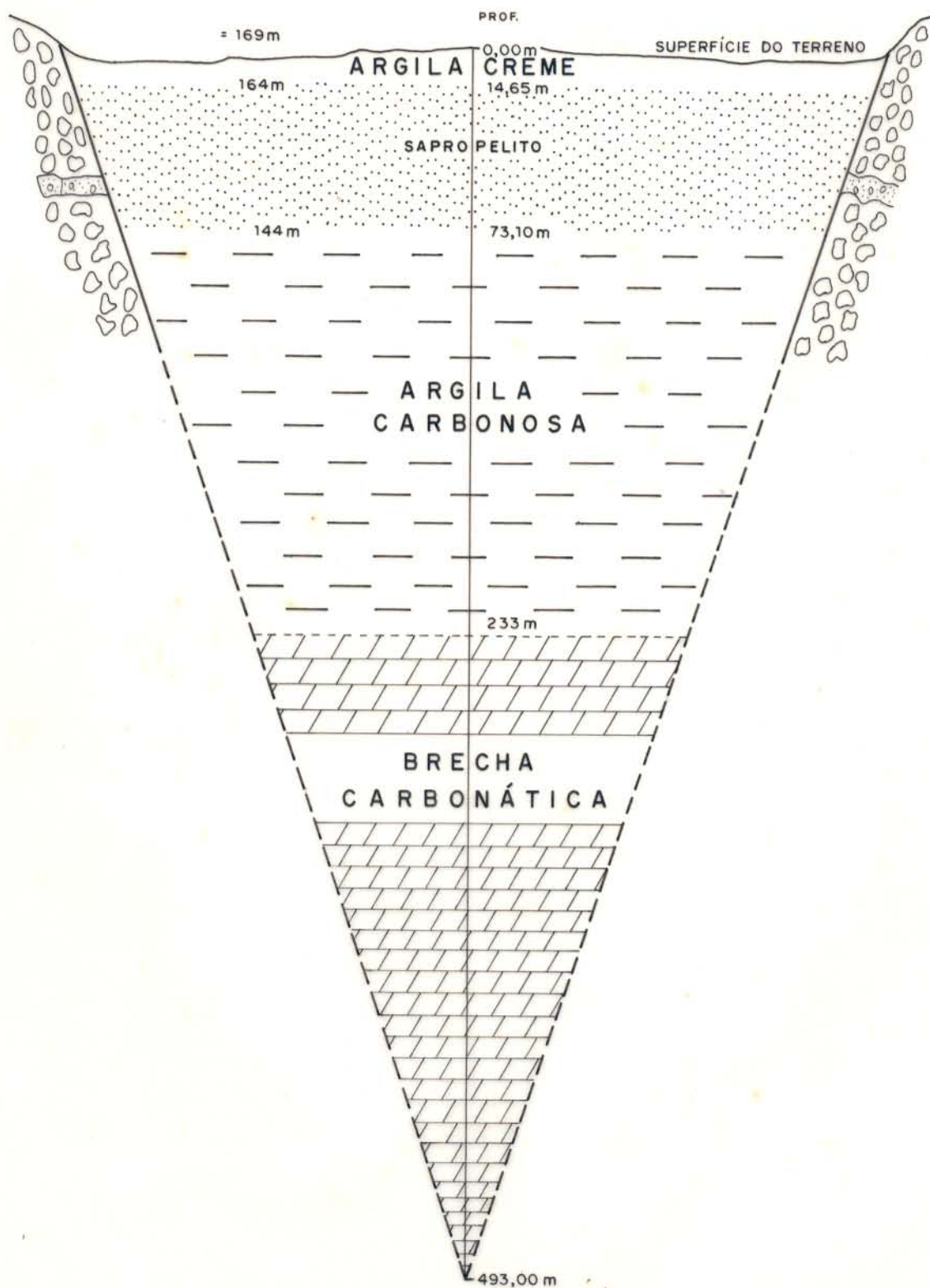


Figura 62 - Perfil lito-estratigráfico da Bacía Esperança. Modificado de BONOW & ISSLER (1980).



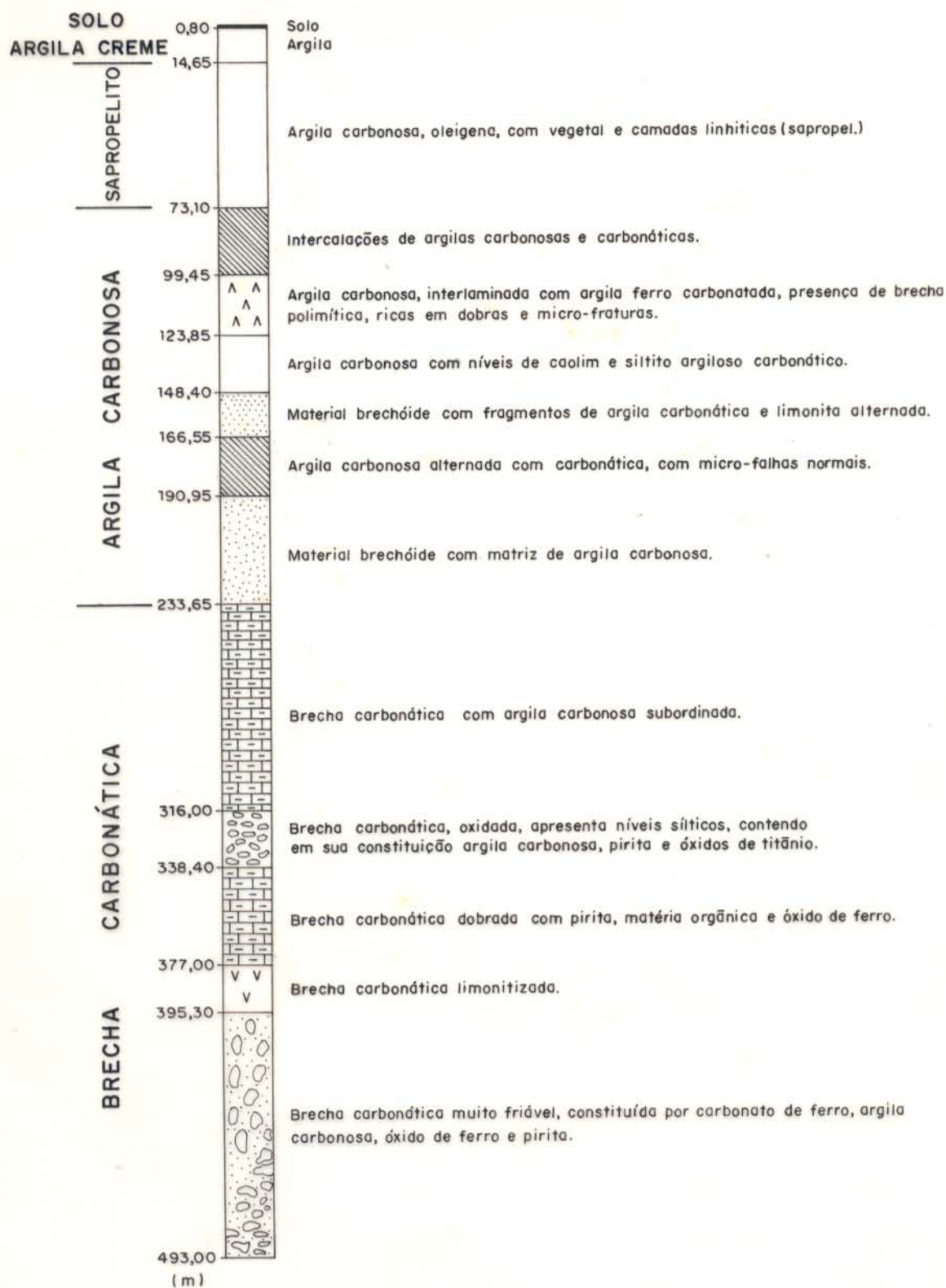


Figura 63 - Coluna litoestratigráfica ao longo do furo 1SG-04-AM sobre a Bacia Esperança em Seis Lagos. Modificado de BONOW & ISSLER (1980).



- **Argila carbonosa** situa-se no intervalo de 233 a 73,1 m. A coloração do material é marrom-avermelhada, constituído predominantemente de argilo-minerais, impregnados com matéria orgânica e está em contato gradacional com a brecha carbonática. Frequentemente a argila carbonosa apresenta-se intensamente fragmentada, em cujas fissuras depositaram-se óxidos-hidróxidos de ferro. A argila carbonosa contém níveis de caolim e silito argiloso carbonoso.
  
- **O sapropelito** ocorre no intervalo de 73,1 a 14,65 m, tem coloração acinzentada, é bastante friável, de granulação extremamente fina, de baixa densidade, sendo constituído de argilo-minerais com material carbonoso e sulfeto de ferro, com restos de vegetais e camadas linhíticas (sapropel).
  
- **A argila creme** ocorre no intervalo de 14,65 a 0,80 m, com granulação extremamente fina, de baixa densidade. O material argiloso é frequentemente entremeado com manchas avermelhadas de óxido de ferro.
  
- **Solo** (0,0-0,8 m profundidade) com as mesmas características da argila creme, parecendo derivar desta, apenas com coloração creme mais intensa quase alaranjada.

## 6.2 MINERALOGIA

Foram identificados por difração de raios-X os seguintes minerais, segundo as diferentes camadas, listados segundo ordem decrescente de abundância:

- brecha carbonática (base): goethita, hematita, siderita, gibbsita, pirita, ilmenorutílo, Nb-rutílo, Nb-brookita, fosfato do grupo da crandalita, pirocloro e oxi-hidróxidos de Mn amorfos;

- argila carbonosa: caolinita, goethita, quartzo, pirita, fosfatos do grupo da crandalita e mica;
- sapropelito: caolinita, pirita, goethita, fosfatos do grupo, da crandalita e monazita;
- argila creme/solo (topo): caolinita, gibbsita, ilmenorutilo, Nb-brookita, Nb-rutilo, fosfatos do grupo da crandalita e goethita.

### **Mineralogia Segundo Amostras de Calha**

A composição mineralógica média aproximada para as amostras de calha e pontuais está apresentada na Tabela 23. Ela foi calculada baseada nas análises químicas das amostras totais.

Observa-se que a brecha carbonática caracteriza-se pelas concentrações elevadas de goethita (51,9 %) e siderita (19,1 %), e de concentrações menores de gibbsita (6,8 %), pirita (4,8 %), ilmenorutilo + Nb-brookita + Nb-rutilo (4,2 %) e fosfatos do grupo da crandalita (1,9 %). Além desses constituintes mineralógicos, algumas amostras desta camada contém pirocloro e óxidos/hidróxidos de Mn amorfos e hematita. Sendo que esta última ocorre na parte basal da brecha carbonática. Com exceção de siderita e pirita, os demais minerais foram encontrados nas crostas superficiais de Seis Lagos.

Já a argila carbonosa apresenta concentrações elevadas de caolinita (36,2 %) e goethita (32,2 %). Apresenta quantidades subordinadas de quartzo (11,1 %), fosfatos do grupo da crandalita (2,1 %) e pirita (2,6 %). Foi identificado mica em algumas amostras. Diverge assim da camada anterior, pela ausência de siderita e abundância de caolinita e quartzo.

O sapropelito caracteriza-se pelos teores mais elevados de pirita (5,1 %) e muito baixos de goethita (3,3 %), quando comparados com as outras camadas. Os teores de caolinita são relativamente baixos (14,6 %), ao passo que os fosfatos do grupo da crandalita (3,3 %) são mais elevados que nas

Tabela 23 - Composição mineralógica média das amostras de calha e pontuais da bacia Esperança.

Mineral (% peso)	AMOSTRAS DE CALHA				AMOSTRAS PONTUAIS			
	Brecha carbonática N=4	Argila carbonosa N=2	Sapropelito N=1	Argila creme/solo N=2	Brecha carbonática N=4	Argila carbonosa N=2	Sapropelito N=1	Argila creme/solo N=2
Caolinita	0,4	36,2	14,6	71,7	0,4	34,2	14,2	40,8
Goethita	51,9	32,2	3,3	5,7	44,6	47,0	6,7	3,3
Pirita	4,8	2,6	5,1	--	2,8	1,6	15,3	--
Gibbsita	6,8	--	--	2,3	--	--	--	37,3
Fosfato do Gr. da Crandalita	1,9	2,1	3,3	2,7	2,6	1,7	8,4	11,8
Minerais de Ti	4,2	--	--	4,2	3,8	--	--	5,4
Quartzo	--	11,1	--	--	--	10,5	--	--
Siderita	19,1	--	--	--	34,5	--	--	--
Outros	10,9 (a)	15,8 (b)	(c)	13,4 (d)	13,3 (a)	5,0 (b)	(c)	1,4 (d)

-- não determinado

(a) pirocloro, oxi-hidróxidos de Mn amorfos

(b) mica

(c) matéria orgânica (&gt; 50%), monazita, mica

(d) não identificado

outras camadas. Além desses fosfatos, algumas amostras contém monazita. Essa camada contém mais de 50 % de matéria orgânica, daí sua relativa pobreza em constituintes minerais.

A argila creme é fundamentalmente constituída de caolinita (40,8 %), gibbsita (37,4 %), fosfatos do grupo da crandalita (2,7 %) e ilmenorutilo + Nb-brookita + Nb-rutilo (5,5 %).

### **Mineralogia Segundo Amostras Pontuais**

Nessas amostras os teores de alguns minerais encontrados, são, para as mesmas camadas mais elevados que nas amostras de calha. Deste modo o teor médio de siderita (34,5 %) na brecha carbonática é consideravelmente mais elevado do que o encontrado nas amostras de calha (19,1 %). Já o teor médio de goethita (42,6 %) é bem inferior ao calculado para as amostras de calha (51,9 %). Os demais minerais não apresentam valores tão discrepantes. Na argila carbonosa a divergência entre os valores encontrados deve-se apenas ao teor médio de goethita (47 %), bem superior ao anterior. No sapropelito a discrepância observada deve-se ao teor de pirita (15,3 %), valor esse muito elevado em relação ao encontrado anteriormente. A divergência maior observada acontece na argila creme, devido a presença de gibbsita (74,7 %).

### **6.3 COMPARAÇÃO MINERALÓGICA ENTRE AS CROSTAS SUPERFICIAIS, PERFIS LATERÍTICOS E SEDIMENTOS**

Ao longo de toda a coluna sedimentar da bacia Esperança foi observado a presença de ilmenorutilo, Nb-rutilo, Nb-brookita, pirocloro, monazita e os fosfatos do grupo da crandalita, e ainda gibbsita que são os minerais encontrados nas crostas superficiais e nos perfis lateríticos (furos 1 e 3), desenvolvidos em Seis Lagos.

A brecha carbonática (base da bacia) contém fragmentos de crosta ferruginosa, constituída de hematita reliquiar, ilmenorutilo, Nb-rutilo, Nb-brookita, pirocloro, gibbsita e oxi-hidróxidos de

manganês (geralmente amorfos), minerais esses encontrados na crosta aflorante e na do perfil do furo 1.

As camadas superiores (argila creme/solo) da Bacia são constituídas de caolinita, gibbsita, fosfatos do grupo da crandalita, que são os mesmos minerais que compõem o horizonte aluminoso do perfil laterítico do furo 3.

Os únicos minerais que não foram encontrados nos materiais lateríticos são pirita e siderita. Eles são minerais comuns de ambiente sedimentar, não são minerais de perfis lateríticos. Ou seja, a sequência sedimentar da bacia Esperança é composta de minerais tipicamente lateríticos (fosfatos do grupo da crandalita, oxi-hidróxidos de manganês amorfos, oxi-hidróxidos de ferro, caolinita, gibbsita), minerais herdados como ilmenorutilo, Nb-brookita, Nb-rutilo e pirocloro, típicos de ambientes carbonatíticos, e minerais sedimentares (pirita e siderita), tendo sido assim, parcialmente, constituída de minerais das crostas e dos perfis lateríticos, que serviram de área fonte desses sedimentos.

## 6.4 MINERAIS LATERÍTICOS

### 6.4.1 Grupo da Crandalita

Esses minerais apresentam as características difratométricas da florencita (Tabela 24), e se assemelham as encontradas nas crostas superficiais. Assim como nas crostas, os fosfatos desse grupo não foram reconhecíveis ao microscópio ótico. Os parâmetros da cela unitária ( $a_0 = 6,9871 \pm 0,0056 \text{ \AA}$  e  $c_0 = 16,2030 \pm 0,0214 \text{ \AA}$ ) se equivalem a florencita encontrada nas crostas superficiais e a florencita de Catalão (VALARELLI, 1971), cujos valores encontram-se no item 4.2.4.

A composição química obtida por microsonda eletrônica de plasma predominantemente fosfático (Tabela 25) na matriz argilosa da camada superior (argila creme/solo), mostram teores

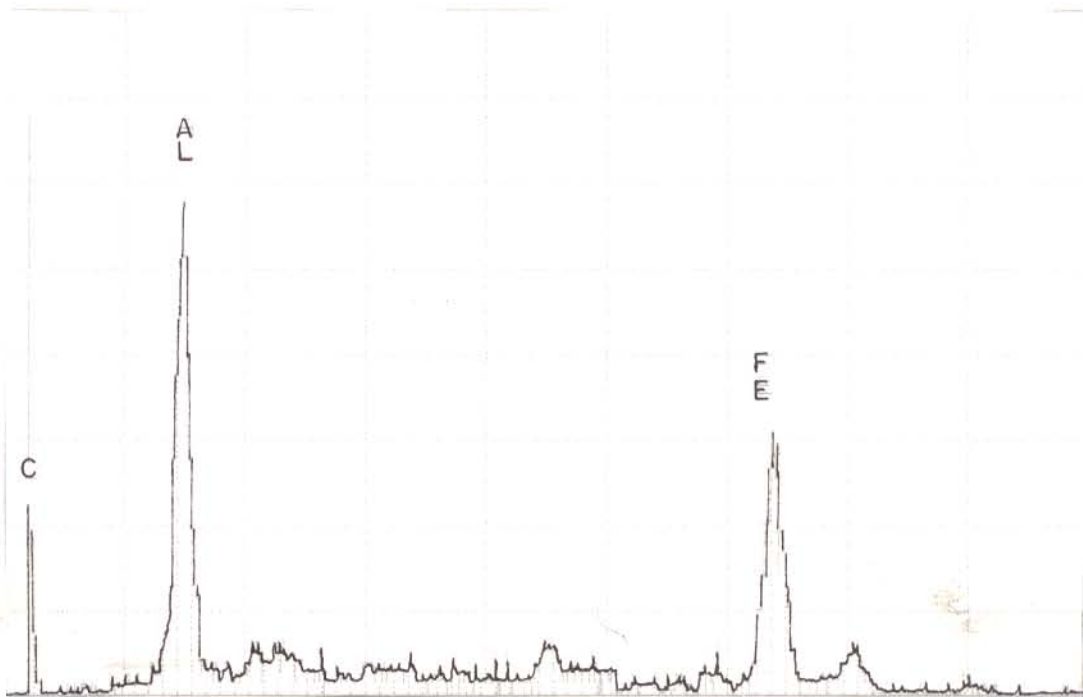
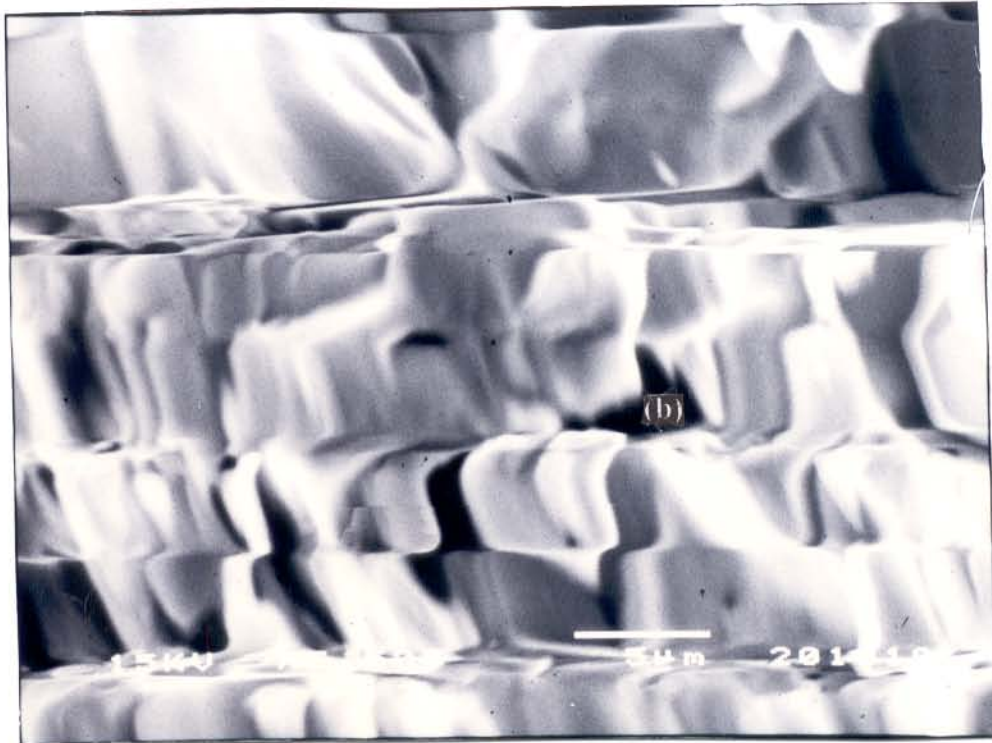


Figura 65 - Cristais e espectro (MEV) de gibbsita (a), manchados de goethita (b).

Amostras 474,4 m de profundidade.

Tabela 24 - Comparações das reflexões dos fosfatos do grupo da cranialita dos sedimentos lacustres com a florencita das crostas superficiais de Seis Lagos e do JCPDS.

Fosfatos do Grupo da cranialita dos sedimentos		Florencita das crostas superficiais		Florencita JCPDS (8-143)	
d (Å)	(I/I <sub>0</sub> )	d (Å)	(I/I <sub>0</sub> )	d (Å)	(I/I <sub>0</sub> )
5,661	(89%)	5,670	(70%)	5,63	(90%)
3,504	(66%)	3,482	(70%)	3,48	(70%)
3,360	(33%)	3,352	(125)	3,37	(10%)
2,938	(100%)	2,967	(100%)	2,93	(100%)
2,817	(20%)	2,846	(26%)	2,83	(20%)
2,704	(13%)	2,673	(36%)	2,71	(40%)
2,418	(76%)	2,434	(15%)	2,42	(50%)
2,287	(20%)	2,272	(34%)	2,28	(20%)
2,204	(38%)	2,212	(30%)	2,21	(80%)
2,164	(58%)	2,181	(16%)	2,16	(80%)
2,049	(60%)	2,020	(14%)	1,99	(20%)
1,892	(60%)	1,904	(35%)	1,885	(80%)
1,753	(60%)	1,752	(13%)	1,741	(70%)
1,685	(43%)	1,685	(12%)	1,683	(10%)
1,668	(15%)	1,673	(10%)	1,661	(10%)
1,657	(19%)	1,650	(10%)	1,60	(40%)
1,487	(17%)	1,495	(18%)	1,486	(50%)

Tabela 25 - Composição química de plasma predominantemente fosfático na matriz da camada argila creme/solo de sedimentos da Bacia Esperança, obtida por microsonda eletrônica.

% (peso)	(1)	(2)	(3)
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21,78	16,52	17,80
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	18,59	15,76	18,19
Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10,70	10,62	12,55
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,29	5,98	7,51
FeO	5,80	15,76	--
ThO <sub>2</sub>	2,10	1,68	1,93
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1,99	3,15	2,34
BaO	0,94	0,50	0,77
CaO	0,34	0,59	0,60
Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,31	0,00	--
SiO <sub>2</sub>	0,19	0,17	--
SnO <sub>2</sub>	0,07	0,08	0,18
MnO	0,00	0,00	0,00
Na <sub>2</sub> O	0,00	0,00	0,00
Total	70,10	70,81	61,87

(1) e (2) - Amostra 0,4 m de profundidade (2 pontos)

(3) - Amostra 1,4 m de profundidade

-- não determinado



elevados de Ce e La, que constituem a florencita, também elevados de Nb e baixos de Sn e Ta, que representam os minerais de Ti (ilmenorutilo, Nb-rutilo e Nb-brookita) como foi observado nas crostas. Do mesmo modo, as concentrações elevadas de Th estão associadas aos fosfatos como foi detectado no horizonte aluminoso do perfil do furo 3 (item 5.2.2), e os teores de Fe devem-se, propriamente, à goethita/hematita. Assim, os teores elevados de Nb e baixos de Ta e Sn, representam os minerais de Ti (ilmenorutilo, Nb-brookita e Nb-rutilo), como foi observado nas crostas de Seis Lagos. Do mesmo modo, as concentrações elevadas de Th são devidas, parcialmente, à monazita.

#### **6.4.2 Oxi-hidróxidos de Mn Amorfos**

Esses minerais são abundantes na brecha carbonática, e também foram encontrados em abundância nas crostas superficiais de Seis Lagos.

#### **6.4.3 Gibbsita**

Tem ocorrência esporádica nas amostras da brecha carbonática, porém é abundante no topo da argila creme onde praticamente não ocorre caolinita, como pode-se observar na Figura 64. O padrão difratométrico mostrado na Figura 64, indica que a gibbsita é bem cristalizada. Ao microscópio eletrônico os cristais de gibbsita na forma de estrutura em "pente", estão manchados de goethita na matriz carbonática (Figura 65). Gibbsita é o constituinte principal do horizonte aluminoso do perfil do furo 3, possível fonte dos sedimentos.

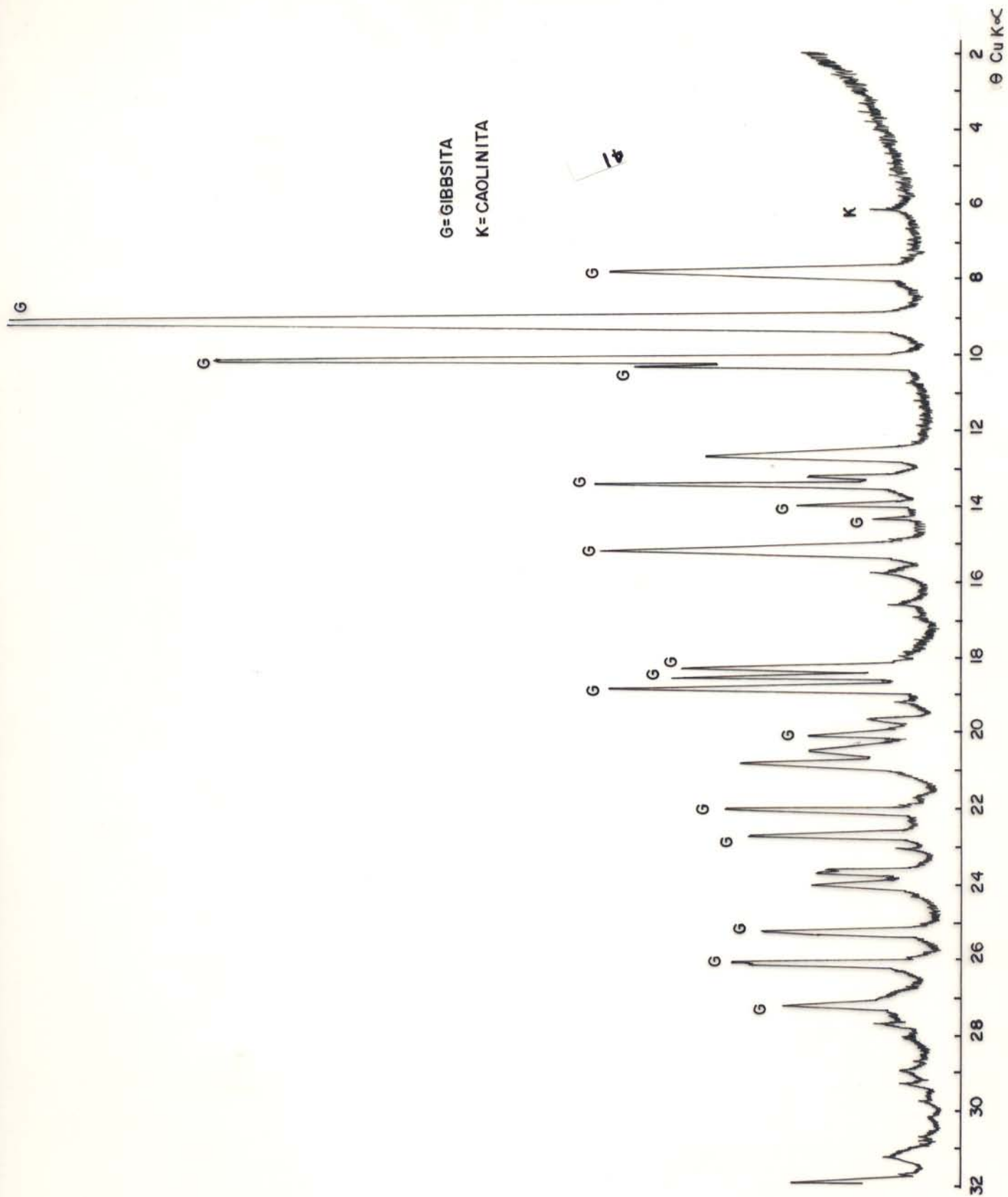


Figura 64 - Padrão difratométrico da gibbsita com traços de caolinita (amostra 1,40m de profundidade). Seis Lagos (AM).

#### 6.4.4 Caolinita

Assim como a gibbsita, a caolinita que ocorre nos sedimentos é bem cristalizada, é abundante nas amostras mais basais da argila creme, e é o argilo-mineral que constitui a argila carbonosa. Sua fonte principal deve ter sido os perfis lateríticos derivados das rochas encaixantes e alcalinas.

### 6.5 OS MINERAIS PRIMÁRIOS HERDADOS

#### 6.5.1 Minerais de Titânio

Foram identificados nos sedimentos ilmenorutilo, Nb-rutilo e Nb-brookita. Além de apresentar o mesmo padrão difratométrico observado nas crostas de Seis Lagos, o ilmenorutilo é também o mais abundante. Ao microscópio eletrônico com EDS os minerais de Ti encontram-se na matriz carbonática (Figura 66) ainda bem preservados. São prismáticos, estão encobertos e envoltos por siderita, indicando que esta teve formação posterior a eles.

#### 6.5.2 Pirocloro

É relativamente abundante na brecha carbonática, e tal como foi observado nas crostas superficiais de Seis Lagos, parece ser também um bariopirocloro (pandaíta), como mostram os dados da Tabela 26. Ao microscópio eletrônico com EDS os cristais de bariopirocloro (Figuras 67 e 68) são envolvidos por cristais de siderita na matriz carbonática, sobrepostos aos óxidos de ferro, indicando que o carbonato se formou posteriormente. A dimensão de sua cela unitária ( $a_0 = 10,523 \pm 0,0093 \text{ \AA}$ ) se equivale ao pirocloro das crostas superficiais e aos do Catalão ( $a_0 = 10,526 \pm 0,005 \text{ \AA}$ ) e do JCPDS ( $a_0 = 10,5620 \text{ \AA}$ ). O pirocloro é um mineral típico de ambiente carbonatítico, e a pandaíta daqueles intemperizados.

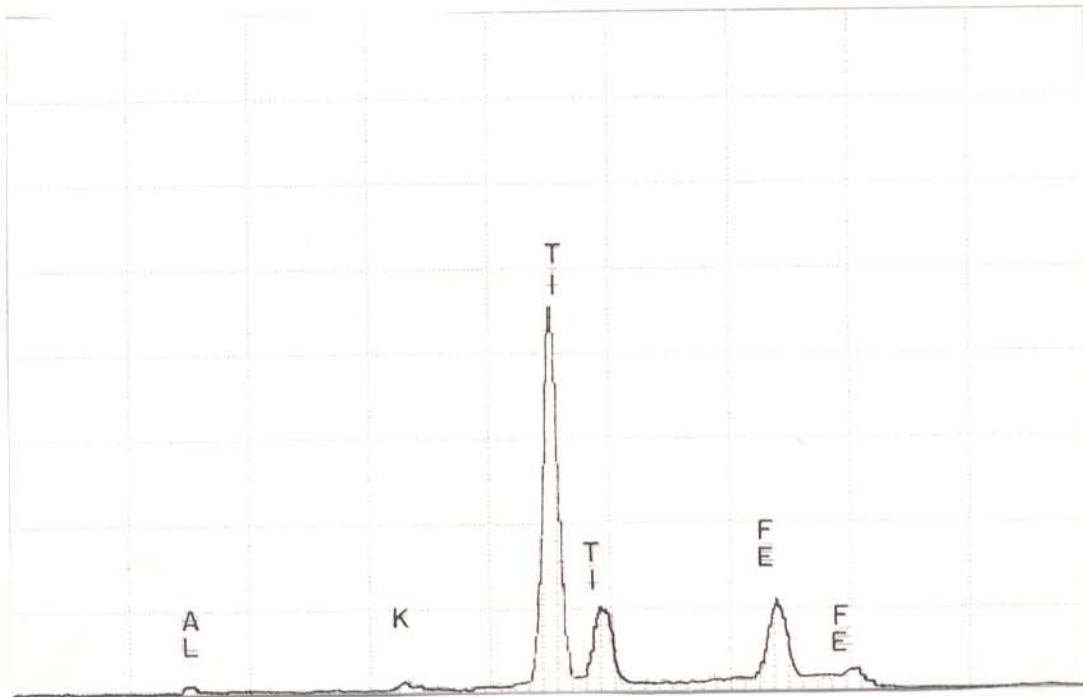
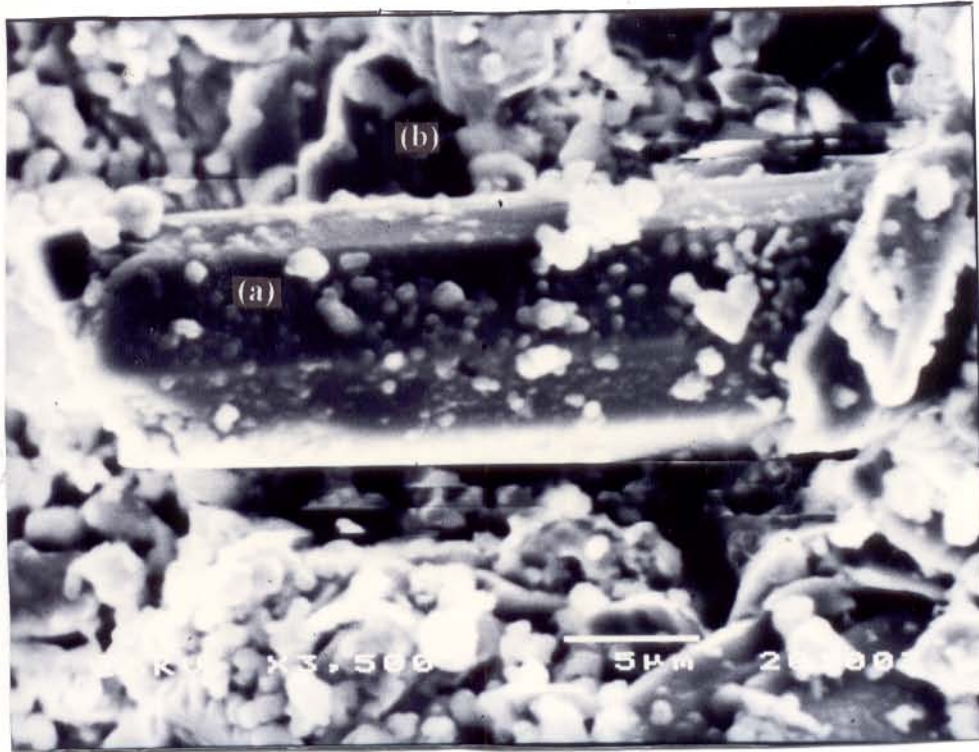


Figura 66 - Cristal e espectro (MEV) de rutilo (a) na matriz carbonática (b).

Tabela 26 - Comparações das reflexões do pirocloro dos sedimentos lacustres com o das crostas superficiais e do JCPDS.

Pirocloro dos sedimentos lacustres		Pirocloro das crostas superficiais		Pandaíta JCPDS nº 12.285	
d (Å)	I/I <sub>o</sub>	d (Å)	I/I <sub>o</sub>	d (Å)	I/I <sub>o</sub>
6,040	(42%)	6,080	(25%)	6,090	(80%)
3,162	(23%)	3,162	(17%)	3,180	(50%)
3,072	(100%)	3,025	(100%)	3,040	(100%)
2,594	(23%)	2,622	(12%)	2,636	(40%)
2,137	(41%)	2,147	(13%)	2,156	(40%)
2,063	(12%)	2,025	(8%)	2,029	(70%)
1,855	(46%)	1,861	(25%)	1,864	(15%)
1,845	(16%)	1,814	(97%)	1,781	(5%)
1,595	(29%)	1,606	(6%)	1,609	(70%)
1,586	(23%)	1,587	(17%)	1,590	(20%)

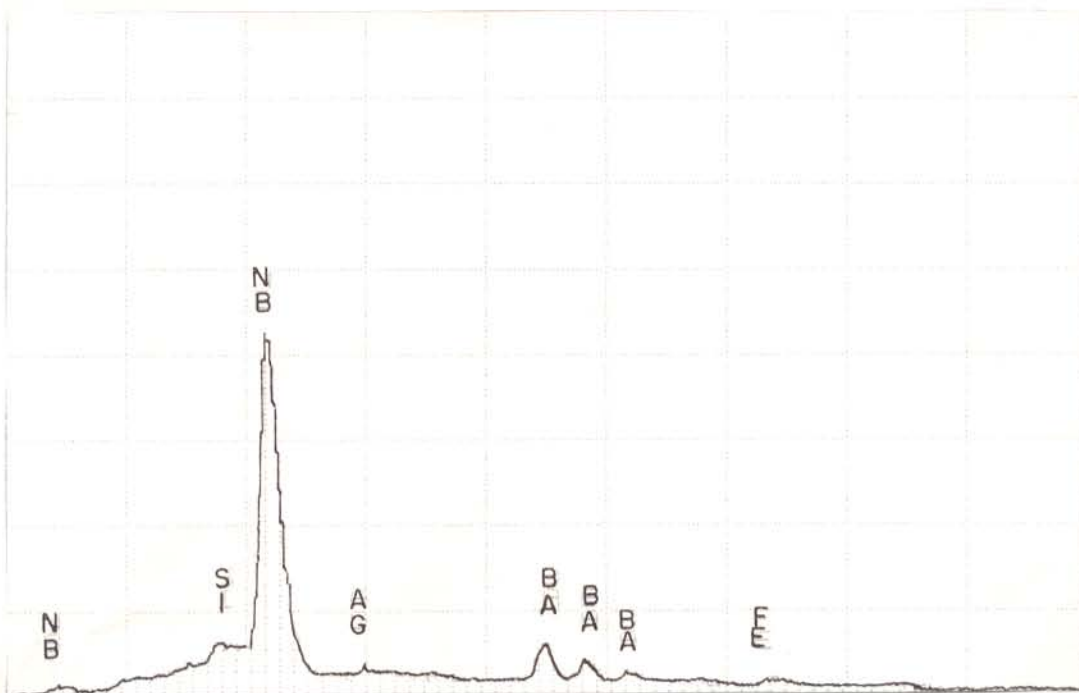
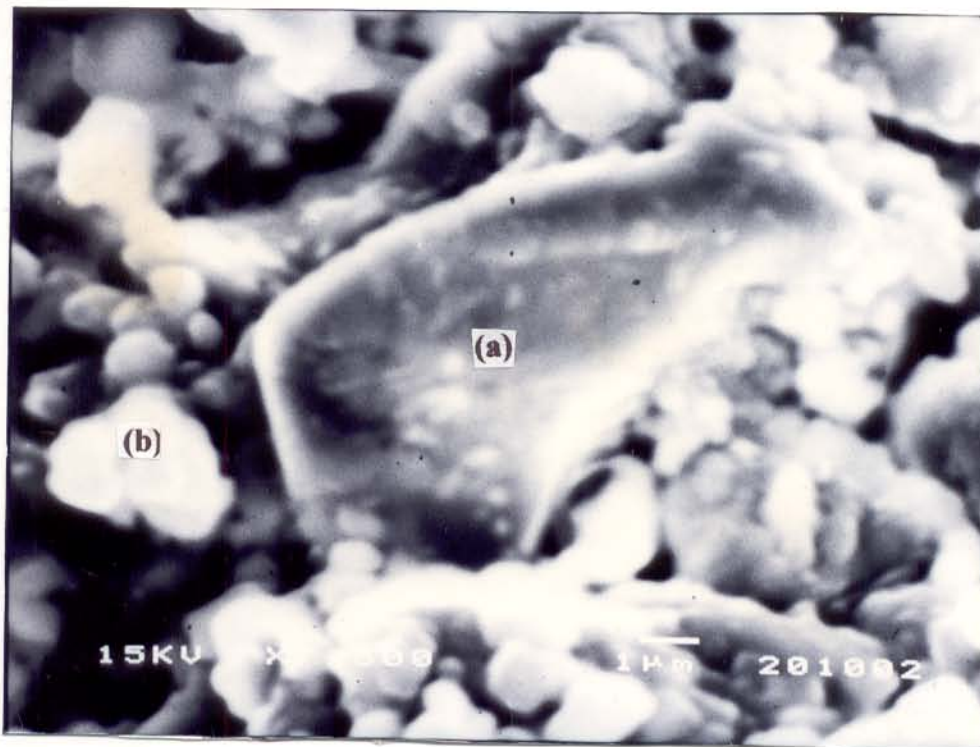


Figura 67 - Cristal e espectro (MEV) de bariopirocloro (a) envolvido por cristais de siderita (b). Amostra 420 m de profundidade.





Figura 68 - Cristal de bariopirocloro envolvido por cristais prismáticos de siderita na brecha carbonática (MEV).

### 6.5.3 Monazita

A monazita é rara, e apresenta o mesmo padrão difratométrico observado nas crostas superficiais de Seis Lagos. Monazita também é um mineral típico de ambiente carbonatítico.

## 6.6 MINERAIS SEDIMENTAR-DIAGENÉTICOS

### 6.6.1 Siderita

#### Aspectos Gerais

Os cristais de siderita são translúcidos, subédricos a anédricos. Em alguns cristais encontra-se inclusões de pirocloro e matéria orgânica. A siderita apresenta-se em duas tonalidades: uma esbranquiçada com brilho intenso, fragmentada; a outra é formada de agregados amarelos.

Sob o microscópio em luz natural (Figura 69), os cristais de siderita variam de 0,0125 mm de tamanho, são incolores, euédricos a anédricos, com goethita infiltrando-se em seus planos de clivagens e cavidades. Nos cristais corroídos observa-se o processo de ferruginização iniciando nas bordas e avançando em direção ao centro dos cristais. Observa-se também que alguns cristais estão apenas envolvidos por goethita. Nas amostras das camadas mais basais da brecha carbonática a siderita encontra-se menos alterada, sem corrosão nas bordas, sobrepostas aos óxidos de ferro (Figura 70). Em direção às camadas superiores o processo de dissolução dos carbonatos vai se tornando mais intenso, sendo os cristais substituídos pseudomorficamente por goethita (Figura 69), observável também ao microscópio eletrônico (Figura 71).



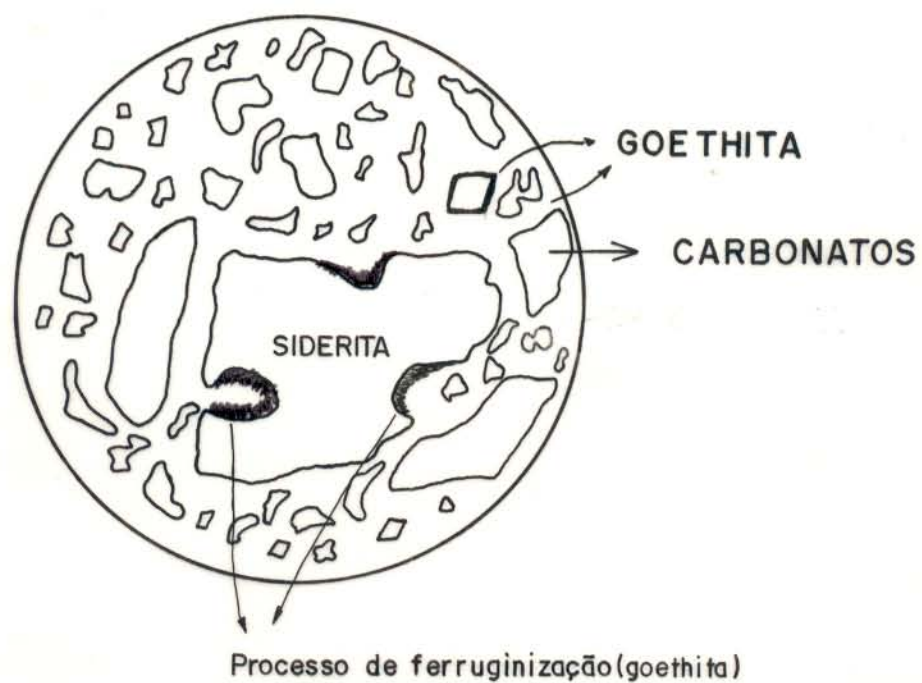


Figura 69-Aspectos microscópicos de cristais de siderita, enfatizando o processo de ferruginização dos carbonatos (amostra 388m).



Figura 70 - Aspectos micromorfológicos de cristais de siderita sobrepostos aos óxidos de ferro (MEV):

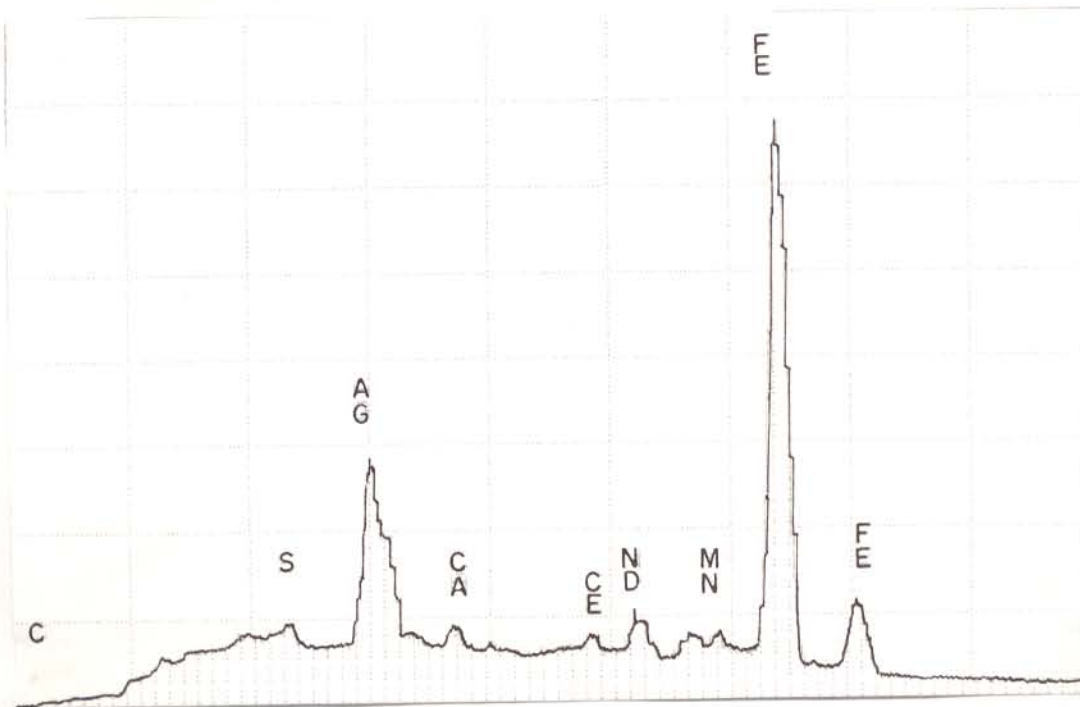


Figura 71 - Cristal de siderita alterando-se para goethita (MEV) em toda sua superfície.



### Padrão Difratométrico e Espectro no Infravermelho

O padrão difratométrico das sideritas com cristais amarelos e esbranquiçados, apresentado na Tabela 27, não mostra variações entre si. Ele é similar ao encontrado nas fichas JCPDS.

O espectro da siderita obtido por espectroscopia no infravermelho (Figura 72) exhibe bandas características em 1417 ( $\nu_3$ ), 866 ( $\nu_2$ ), e 737 ( $\nu_4$ ),  $\text{cm}^{-1}$  do grupamento  $\text{CO}_3$ . Na Figura 72 observa-se também, bandas pequenas e discretas em 2921 e 2852  $\text{cm}^{-1}$ , atribuídas a presença de matéria orgânica que foram eliminadas com tratamento químico, como se observa no espectro superior da figura. No estudo da qualidade da matéria orgânica de um furo de sondagem realizado no xisto Tremembé-Vale do Paraíba, LOUREIRO & CARDOSO (1987) descreveram essas bandas como sendo de deformações axiais da ligação C-H alifática, indicativas de material algáceo e bacteriano.

### Padrão Termogravimétrico

O padrão termogravimétrico (ATD e ATG) da siderita (amostra 245,6 m) de Seis Lagos é mostrado na Figura 73. A cerca de 557 ° C, ocorre a decomposição total da siderita, representada pela perda total de  $\text{CO}_2$ , com perda de 25,9 % em relação ao peso original. Essa perda em massa foi de 2,0 mg, cujo valor teórico é de 2,93 mg. A presença de pico endotérmico em 360 ° C pode corresponder, possivelmente, a decomposição da matéria orgânica inclusa na siderita, como foi detectado no espectro de infravermelho.

Tabela 27 - Reflexões das sideritas de Seis Lagos (amostra 388 m de profundidade) e do JCPDS

Siderita d (Å)	(1) I/I <sub>0</sub>	Siderita d (Å)	(2) I/I <sub>0</sub>	Siderita d (Å)	(3) I/I <sub>0</sub>
3,587	36	3,601	32	3,590	60
2,798	100	2,798	100	2,790	100
2,566	2	2,607	1	2,560	10
2,348	19	2,342	16	2,350	50
2,132	27	2,132	25	2,130	60
1,963	22	1,963	20	1,963	60
1,796	8	1,797	13	1,795	50
1,735	35	1,738	39	--	--
1,731	47	1,734	49	1,734	80
1,527	2	1,528	1	1,527	20
1,505	9	1,506	11	1,505	60

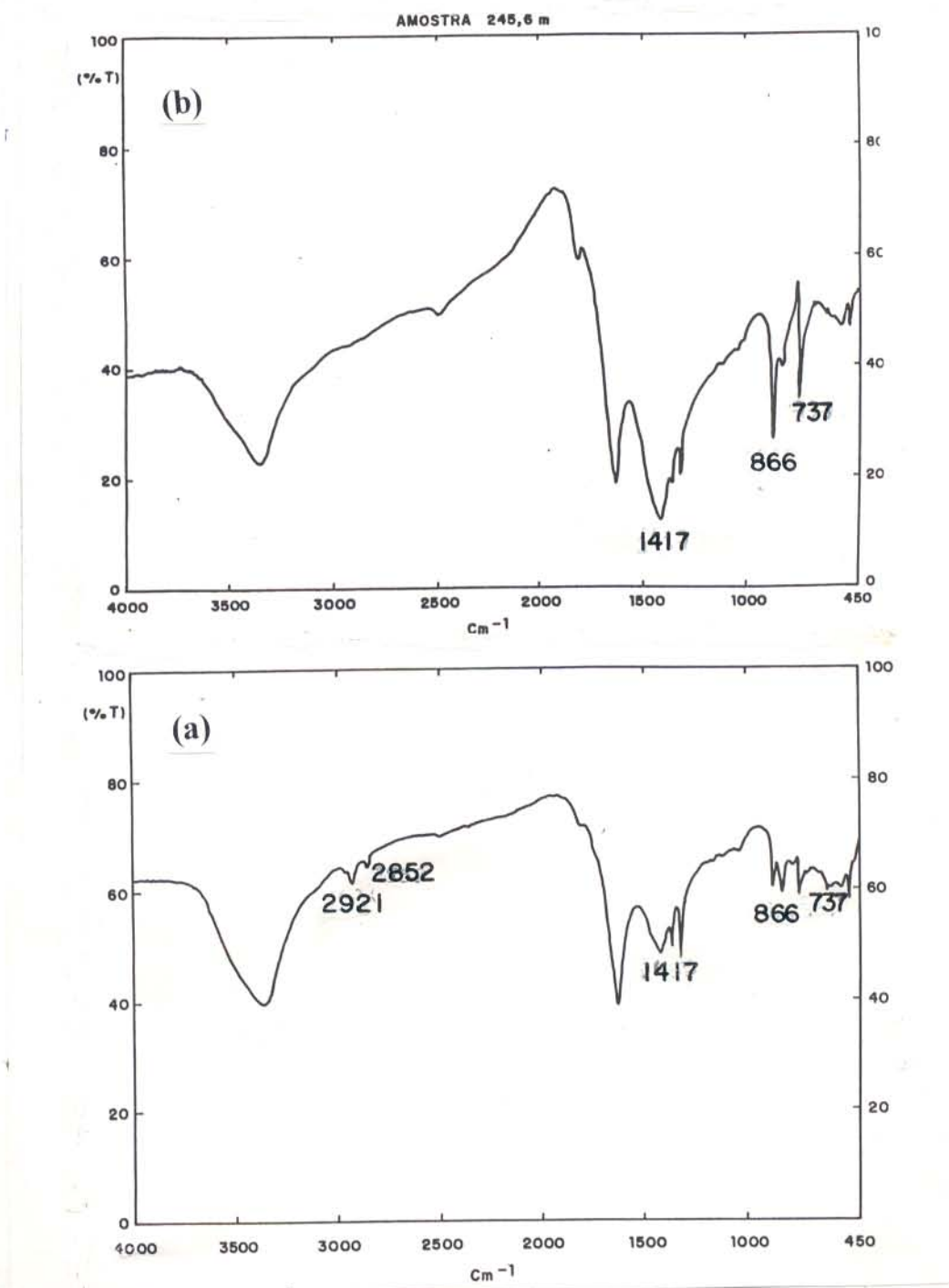


Figura 72 - Espectro no infravermelho do carbonato de ferro (amostra 245,6 m): com (a) e sem (b) matéria orgânica.

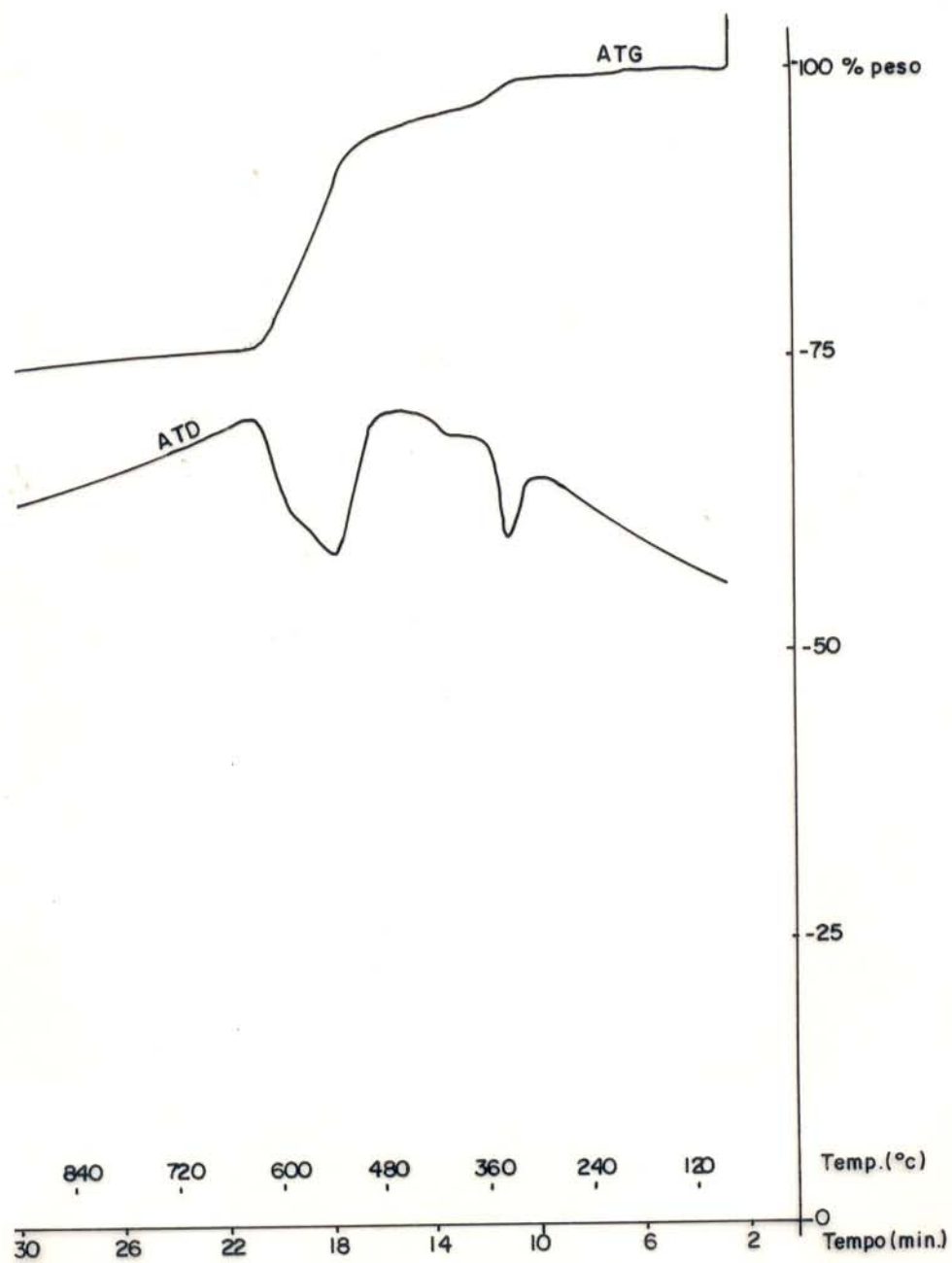


Figura 73 - Padrão termogravimétrico da siderita de Seis Lagos  
(amostra 245,6 m)

### Composição Química

A Tabela 28 apresenta a composição química parcial da siderita na brecha carbonática. Os teores (% em peso) de ferro variam de 40,87 a 43,59 %, de cálcio entre 0,17 a 0,46 %, de magnésio entre 0,49 a 0,75 % e os de manganês entre 0,95 a 1,35 %, ou seja, as variações químicas entre as sideritas analisadas são pequenas. As fórmulas mínimas obtidas são:



As análises químicas comprovam a natureza apenas ferrosa da siderita da seqüência sedimentar Esperança de Seis Lagos, independente da coloração. A proporção atômica do  $\text{Fe}^{2+}$  é quase constante, em torno de 0,93 a 0,95.

A composição química da matriz carbonática obtida por microsonda eletrônica (Tabela 29), apresenta baixos teores de Ba, Ti, ETR, Zr, Mn e Pb, e ausência de Nb, não mostrando similaridade com matriz carbonatítica. Quando comparados os valores da matriz com um cristal isolado de siderita (Tabela 29), mostram certa semelhança, e os teores por ventura encontrados como os ETR, Ba, Al, P, Ti, Zr e Pb no carbonato, deve-se que este encontra-se envolvendo os minerais portadores desses elementos, como foi visto nos espectros de EDS sob o microscópio eletrônico (MEV). Aparentemente, os carbonatos são enriquecidos em ETRP, enquanto na rocha total são os ETRL que predominam. Portanto, as análises da matriz carbonática e da siderita, mostram valores muito inferiores ao da rocha total.



Tabela 28 - Composição química parcial da siderita separada por processos químicos e com estereomicroscópio. Elementos em % (peso).

Amostra (metros)	Ca	Mg	Mn	Fe	CO <sub>2</sub> <sup>(1)</sup>
245,6 m	0,33	0,56	1,14	43,59	34,34
388,0 m*	0,25	0,63	1,31	41,47	32,67
388,0 m**	0,28	0,75	1,35	43,17	34,01
388,0 m***	0,46	0,51	0,98	40,87	32,20
474,4 m	0,17	0,49	0,95	43,35	34,15

\* cristais de siderita esbranquiçados

\*\* cristais de siderita com inclusões de diminutos cristais de pirocloro

\*\*\* cristais de siderita amarelados

<sup>(1)</sup> considerando apenas FeCO<sub>3</sub>

Tabela 29 - Comparação da composição química média (% peso) da matriz carbonática (1) e de um cristal de siderita (2).

óxidos	(1)	(2)
FeO	58,884	51,422
SiO <sub>2</sub>	0,103	0,140
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,118	0,065
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,071	0,087
TiO <sub>2</sub>	0,054	0,007
CaO	0,121	0,680
MnO	0,966	2,945
BaO	0,054	0,042
PbO	0,044	0,605
ZrO <sub>2</sub>	0,037	0,042
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,000	0,000
ThO <sub>2</sub>	0,006	0,000
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,243	0,192
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,103	0,097
Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,014	0,060
Pr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,023	0,052
Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,096	0,072
Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,038	0,062
Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,264	0,522
Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,113	0,090
Sub-total	61,352	57,182
%CO <sub>2</sub> (teórico)	37,980	37,980
Total	99,332	95,162

### Parâmetros da Cella Unitária

Foram calculados os parâmetros da cela unitária  $a_0$  e  $c_0$  dos carbonatos de três amostras diferentes (245,6, 388 e 420 m de profundidade). Os valores desses parâmetros são iguais para as três amostras, ou seja, não variam no intervalo. Quando comparados com os encontrados por GIL *et al.* (1992) para sideritas hidrotermais e diagenéticas, se aproximam das diagenéticas (Tabela 30 e Figura 74).

### Isótopos Estáveis ( $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$ ) e Razões Isotópicas ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ )

As análises de isótopos  $^{13}\text{C}$  e  $^{18}\text{O}$  (Tabelas 31 e 32) são referenciadas em relação aos padrões PDB e SMOW, respectivamente.

Os valores de  $^{13}\text{C}$  obtidos para as sideritas de Seis Lagos (Tabela 31), situam-se no intervalo de -5,48 a -4,84 ‰. Estes valores foram comparados com os dados de  $^{13}\text{C}$  de carbonatos (calcita e dolomita) e outros minerais (apatita e pirocloro) de carbonatitos e com de sideritas diagenéticas (na vasta literatura consultada, não foram encontrados valores isotópicos de sideritas ígneas). Os valores das sideritas de Seis Lagos tanto se estendem dado ao limite inferior de carbonatitos até o campo de carbonatos sedimentares. Os dados da composição isotópica  $^{18}\text{O}$  (Tabela 32) também não mostram diferenças dos valores para carbonatitos nem para carbonatos diagenéticos. A comparação dos dados isotópicos obtidos fica inviável, pois não se dispõem de dados de sideritas de carbonatitos. Por outro lado, as condições de formação dos carbonatos de origem ígnea diferem daqueles de origem sedimentar, a exemplo de sideritas diagenéticas, que são formadas em um ambiente contendo muita matéria orgânica reativa (TIMOFYEVA *et al.*, 1976). Tal situação se equivale a de Seis Lagos, onde foi detectada a presença de matéria orgânica nos cristais de siderita, vem a corroborar a idéia de que esta seja de origem sedimentar diagenética, cujos valores isotópicos obtidos também se coadunam.

Tabela 30 - Parâmetros da cela unitária de sideritas hidrotermais, diagenéticas e de Seis Lagos.

Amostra	$a_0$ (Å)	$c_0$ (Å)
SEIS LAGOS	4,6931	15,1779
SEIS LAGOS	4,6928	15,3850
SEIS LAGOS	4,6928	15,3744
MINA TROYA* (1)	4,6907	15,3690
DÍCIDO* (1)	4,6911	15,3670
BILBAO* (1)	4,6879	15,3530
BCIHA ** (1)	4,6887	15,3760
BILBAO** (1)	4,6880	15,3530

\* sideritas diagenéticas

\*\* sideritas hidrotermais

(1) GIL *et al.*, 1992

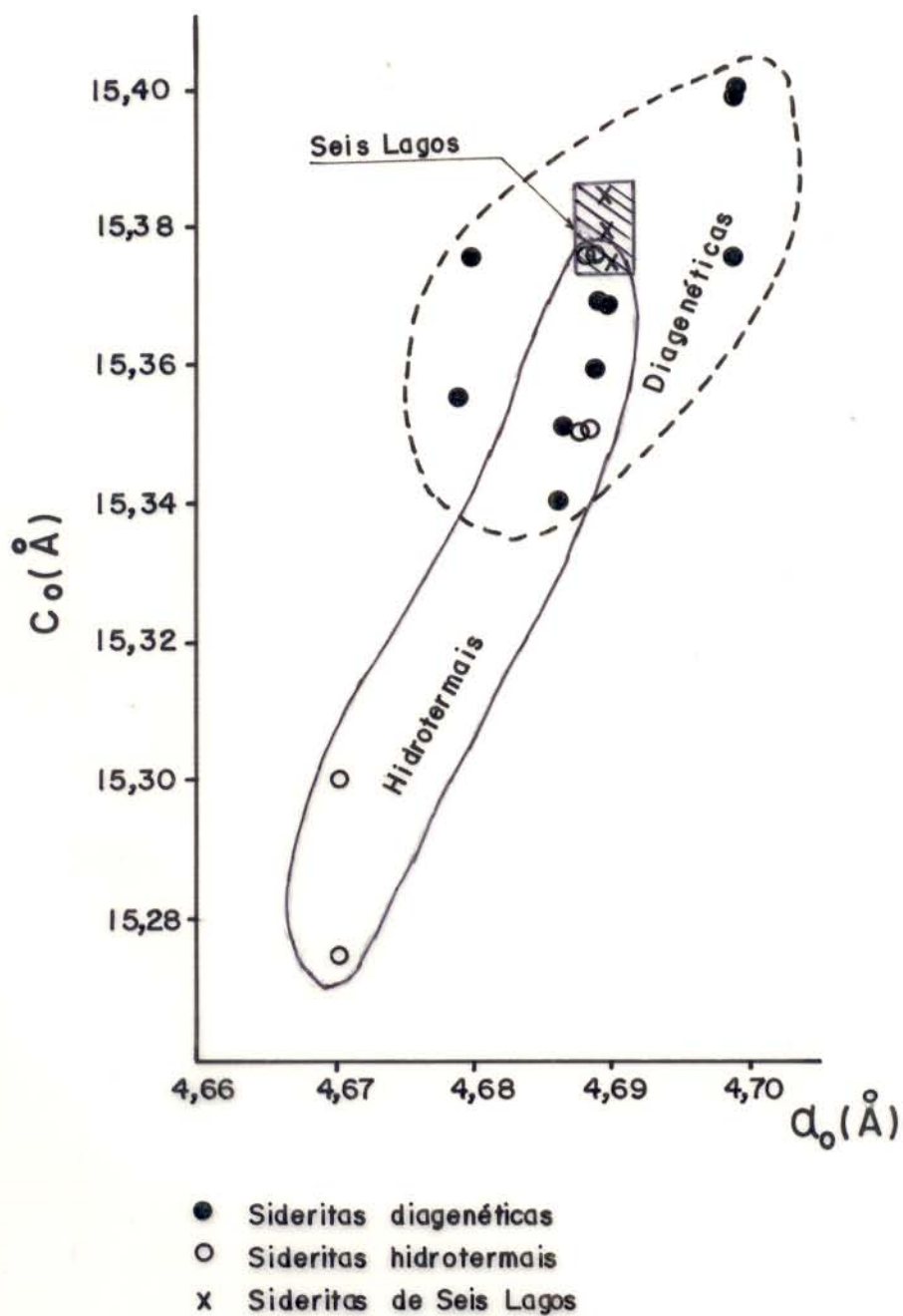


Figura 74 - Parâmetros da cela unitária de sideritas diagenéticas e hidrotermais de GIL et al. (1992), comparados com os parâmetros das de Seis Lagos.

Tabela 31 - Composição isotópica de  $^{13}\text{C}$  de Seis Lagos, de minerais de carbonatos e de sideritas diagenéticas.

Localção	$\delta^{13}\text{C} \%$ vs PDB	Mineral	Referência
Seis Lagos	-5,48 a 4,84	siderita	Este trabalho
Lowmead	-5,5 a +12,9	siderita	SPIRO <i>et al.</i> , 1993
Duaringa	-6,6 a +16,4	siderita	SPIRO <i>et al.</i> , 1993
St. Honoré	-9 a 13	calcita	DEINES, 1989
	-8,5 a -2	dolomita	DEINES, 1989
Oka	-6,5 a -3	calcita	DEINES, 1989
Tchivira-Bonga	-5,8*	apatita	PINEAU <i>et al.</i> , 1973
Tororo	-3,5*	pirocloro	PINEAU <i>et al.</i> , 1973

\* valor médio

Tabela 32 - Composição isotópica de  $^{18}\text{O}$  de Seis Lagos, de minerais de carbonatitos e de sideritas diagenéticas.

Localção	$\delta^{18}\text{O}$ ‰ vs PDB	Mineral	Referência
Seis Lagos	+10,3 a +12,5	siderita	Este trabalho
Kuzbass	+11*	siderita	TIMOFEYEVA et al., 1976
Lowmead	+8,2 a +17,7	siderita	SPIRO et al., 1993
St. Honoré	+6,5 a +15,5	calcita	DEINES, 1989
	+8,5 a +13,5	dolomita	DEINES, 1989
Oka	+6,5 a +9,0	calcita	DEINES, 1989
	+6,5 a +9,5	dolomita	DEINES, 1989
Palaborwa	+9,9*	calcita	PINEAU et al., 1973
	+12,1	dolomita	PINEAU et al., 1973

\* valor médio

Os resultados químicos e isotópicos obtidos para as amostras totais e os concentrados de siderita (puros e impuros) encontram-se na Tabela 33. Dos dados desta tabela, observa-se que as amostras totais apresentam teores de Rb muito baixos, variando de 0,8 a 13,5 ppm, enquanto que os teores de Sr variam em um grande intervalo (59,5 a 2077 ppm). Observa-se também na Tabela 33, que os teores de Rb (0,3 a 1,5 ppm) e Sr (4,5 a 12 ppm) nas sideritas puras e impuras são mais baixos do que nas amostras totais, das quais foram extraídas. No entanto, as análises das sideritas apresentam, sistematicamente, razões Rb/Sr e isotópicas ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) maiores do que das amostras totais que as continham (Tabela 33). Os valores médios dos desvios analíticos para as razões químicas  $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$  e isotópicas ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) tanto para as amostras totais (1,3 % e 0,18 %) como para as sideritas (1,65 % e 0,08 %) são relativamente baixos.

No diagrama isocrônico,  $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$  vs.  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  (Figura 75), os pontos analíticos obtidos das amostras totais não apresentam alinhamento compatível, como indica o valor do seu MSWD = 5,06, sugerindo a atuação de processos geológicos, a perturbar o sistema isotópico Rb/Sr. Tal hipótese é coerente com o ambiente proposto para a formação da brecha carbonática, que envolve uma grande circulação de fluidos e migração do Rb e do Sr. A idade e razão inicial para as amostras totais calculadas a partir dos pontos analíticos foi de  $72 \pm 45$  Ma ( $1\sigma$ ) e  $0,70513 \pm 0,00018$ , respectivamente. Como tentativa retirou-se dos cálculos as amostras totais 492m e 323 m, que apresentam teores de Sr muito elevados, destoando do conjunto e desvios analíticos maiores que os demais. A idade e a razão inicial obtidas foram de  $48 \pm 58$  Ma e  $0,70521 \pm 0,00018$ , respectivamente. Portanto bastantes similares, dentro do intervalo de erros, às obtidas pelos cálculos anteriores. O elevado desvio sobre a idade, reduz o valor da interpretação geocronológica. Esse desvio sobre a idade reduz o valor da interpretação geocronológica. Esse desvio sobre a idade é provocado pelo desalinhamento dos pontos analíticos e pela proximidade



Tabela 33 - Razões químicas (Rb/Sr) e isotópicas ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) em amostras totais e concentrados de siderita da brecha carbonática.

### AMOSTRAS TOTAIS

Amostra	Rb	Sr	Rb/Sr	Rb87/Sr86	sX	Sr87/Sr86	sY
492m	1.11	2077.0	0.00	0.002	0.000	0.704957	0.000119
323m	2.97	1817.0	0.00	0.005	0.000	0.704459	0.000478
358.5m	0.81	169.0	0.00	0.014	0.000	0.705053	0.000088
245.6m	2.68	104.0	0.03	0.074	0.001	0.705245	0.000103
388m	13.48	191.0	0.07	0.204	0.003	0.705362	0.000087
455.7m	4.23	59.5	0.07	0.205	0.003	0.705476	0.000037
474.4m	5.89	63.5	0.09	0.269	0.004	0.705224	0.000055
420m	10.05	107.0	0.09	0.271	0.003	0.705367	0.000046

### CONCENTRADOS DE SIDERITA

Amostra	Rb	Sr	Rb/Sr	Rb87/Sr86	sX	Sr87/Sr86	sY
474.4/s	0.68	35.6	0.02	0.055	0.001	0.709000	0.003000
358.5/s	0.37	15.6	0.02	0.069	0.001	0.706293	0.000614
358.5si	0.31	12.0	0.03	0.075	0.001	0.705752	0.000081
245.6/s	0.48	6.1	0.08	0.230	0.007	0.706698	0.000418
245.6/si	0.52	6.1	0.09	0.247	0.004	0.706520	0.000087
388/si	1.01	9.1	0.11	0.319	0.004	0.705420	0.000112
474.4si1	0.58	4.5	0.13	0.378	0.005	0.706414	0.000088
474.4si2	1.46	8.1	0.18	0.519	0.007	0.705799	0.000170

s = siderita pura;  
 si = siderita impura;  
 si<sub>1</sub> = siderita semipura  
 si<sub>2</sub> = siderita impura

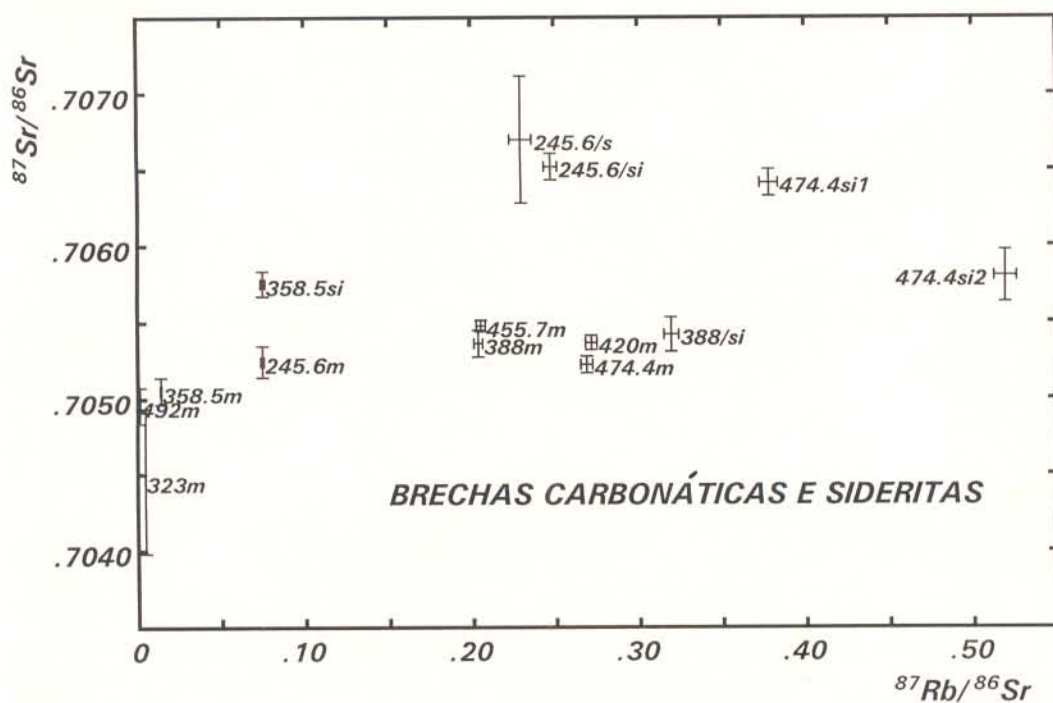
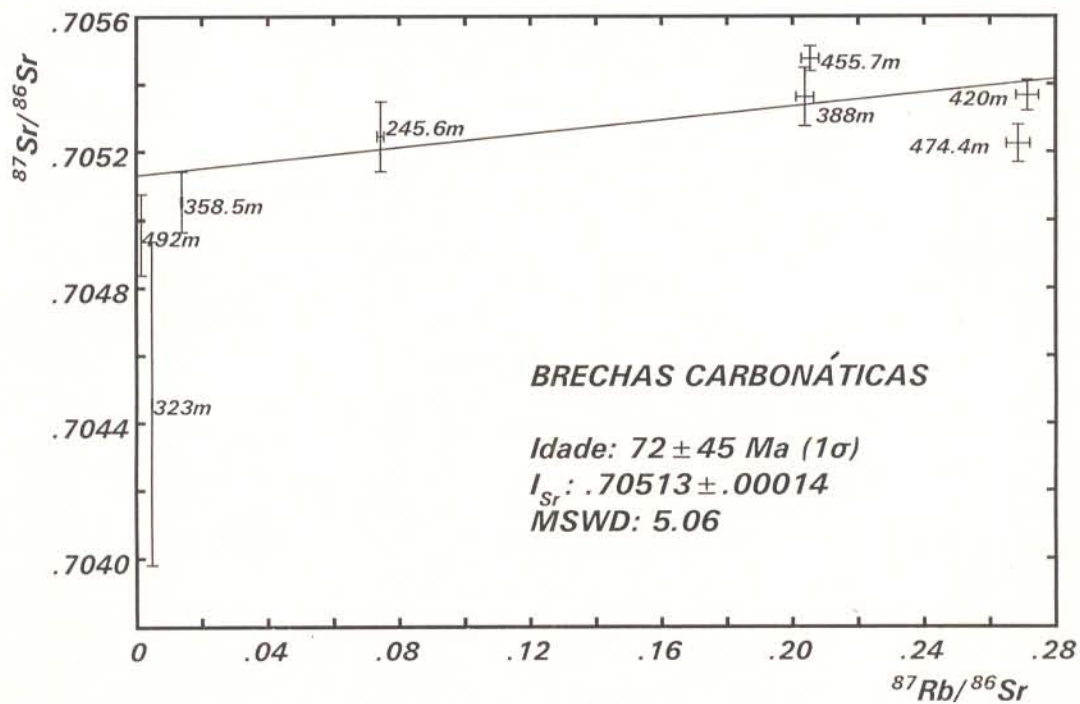


Figure 75 - Diagrama isocrônico  $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$  vs.  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  nas brechas carbonáticas e sideritas da bacia Esperança.

dos mesmos no diagrama isocrônico. A estreita variação das razões isotópicas do Sr indica, no entanto, uma desprezível interferência ou contribuição de materiais com diferentes composições isotópicas, sugerindo para as amostras totais analisadas uma evolução geoquímica em ambiente fechado que existiria na bacia Esperança.

Os valores das razões isotópicas ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) obtidas para os concentrados de siderita (Tabela 33), são quase todos superiores ao valor limite ( $<0,706$ ) dos carbonatos de carbonatitos.

Foram calculadas as idades para cada conjunto de amostras totais + fração de siderita (puras, semipuras e impuras). Assim obteve-se:

Amostra total + siderita	Idade ( $1\sigma$ )
358,5 m + siderita pura (s):	808 $\pm$ 56 Ma
245,6 + siderita pura (s) + siderita impura (si):	522 $\pm$ 56 Ma
388 m + siderita impura (si):	35 $\pm$ 86 Ma
474,4 m + siderita semipura (si <sup>1</sup> ):	763 $\pm$ 80 Ma
474,4 + siderita impura (si <sup>2</sup> ):	161 $\pm$ 50 Ma

Os dados obtidos apresentam em sua grande maioria, valores superiores aos da idade sugerida a partir das amostras totais (72 $\pm$ 45 Ma). Levando em conta que as idades obtidas através da análise de amostras totais e minerais deveriam ser, no máximo, iguais a idade fornecida pelas análises das amostras totais, os dados calculados são desprovidos de sentido geológico, e se devem ao maior enriquecimento em  $^{87}\text{Sr}$  da siderita. Esse mineral deve ter se comportado como um forte captador de  $^{87}\text{Sr}$ , produto do decaimento do Rb de outras partes da amostra total e liberado posteriormente. Como a siderita não acomoda facilmente os átomos de Sr, é possível que esses tenham se alojado na calcita, detectada como micro-inclusões em cristais de siderita, fato esse observado através de análises por microsonda eletrônica. De qualquer forma, esse

comportamento indica que a siderita e suas inclusões não estão homogeneizadas isotopicamente com as amostras totais, podendo inclusive ter uma formação posterior. Ela se daria em um momento em que os outros componentes das amostras totais teriam produzido e liberado  $^{87}\text{Sr}$  (a partir do  $^{87}\text{Rb}$ ), possivelmente através de soluções, para finalmente cristalizar com a siderita neoformada.

Apesar dos métodos isotópicos serem os melhores indicadores para determinar a origem de materiais, nem sempre os dados obtidos permitem uma definição sem dúvidas.

A ocorrência de siderita sedimentar diagenética é bastante comum em seqüências sedimentares ricas em argilas, matéria orgânica, e que normalmente contém fosfatos tipo vivianita (PEARSON, 1974 a; 1974 b; CURTIS *et al.*, 1975; TOURTELOT, 1979; POSTMA, 1981, 1982; BAHRIG, 1989). Siderita é encontrada em lamas de rios como concreções (MOORE *et al.*, 1992), em sedimentos de pântanos como agregados de carbonatos microcristalinos (POSTMA, 1981). Na Amazônia, segundo o Prof. orientador, ocorre extensivamente nos sedimentos quaternários do Nordeste do Pará, na Amazônia Ocidental, sendo um mineral de natureza diagenética. Também na Amazônia, em Carajás (Sul do Pará), ocorrem seqüências sedimentares lacustres, com camadas ricas em siderita, intercaladas com camadas de argilas orgânicas (SOUBIÉS, *et al.*, 1991). Além da siderita, foram identificados minerais provenientes do intemperismo químico de crostas ferruginosas ocorrentes na área. Deste modo segundo esses autores, o substrato do lago de Carajás seria a própria crosta ferruginosa com neoformação de siderita.

### 6.6.2 Pirita

A pirita foi identificada por difração de raios-X. Sob a binocular, a pirita se apresenta como cristais subédricos, como grânulos framboidais e microcristalitos.

Em seções delgadas os cristais estão corroídos nas bordas, e estão envolvidos por carbonatos, os quais estão alterados para goethita (Figura 76).

Ao microscópio eletrônico alguns cristais de pirita ainda preservam suas faces e arestas bem desenvolvidas, apesar de estarem em fase de alteração para goethita. Os cristais na matriz carbonática encontram-se envolvidos por cristais prismáticos de siderita (Figura 77). A pirita encontrada nas amostras aqui estudadas, parece ter sido formada anteriormente aos carbonatos.

A pirita é um mineral comum em sedimentos ricos em matéria orgânica, onde forma concreções e substitui restos orgânicos. É encontrada em depósitos de chumbo e zinco, como microcristalitos frambóides/esferóides (LIANXING & MCCLAY, 1992); em folhelhos marinhos como agregados framboidais. Também, a pirita pode estar disseminada em matriz de carbonato, barita, ou, em sedimentos pelíticos ou carbonosos-silicosos, em folhelhos negros e arenitos (BLOCH & KROUSE, 1992).

### 6.6.3 Sulfato de Cálcio

Foram observados, somente sob o microscópio eletrônico, abundantes cristais de sulfato de cálcio na matriz carbonática (Figura 78), possivelmente, gipso. É comum em ambiente de sulfetos, sejam hidrotermais ou sedimentares, submetidos à oxidação pelo acesso de águas subterrâneas.

## 6.7 GEOQUÍMICA

### 6.7.1 Composição Química das Camadas

As Tabelas 34 e 35 apresentam a composição química média das amostras pontuais e de calha, representativas da seqüência estratigráfica da Bacia Esperança.

A brecha carbonática caracteriza-se por apresentar elevados teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (43,07 e 63,12 %), PF (21,77 e 26,4 %) e  $\text{TiO}_2$  (1,25 e 3,78 %), e muito baixos de  $\text{SiO}_2$  (0,05 e 0,19 %) e  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (0,46 e 3,9 %). São anômalos os teores de  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  (1,22 e 1,43 %),  $\text{TR}_2\text{O}_3$  (0,61 e 0,96 %) e

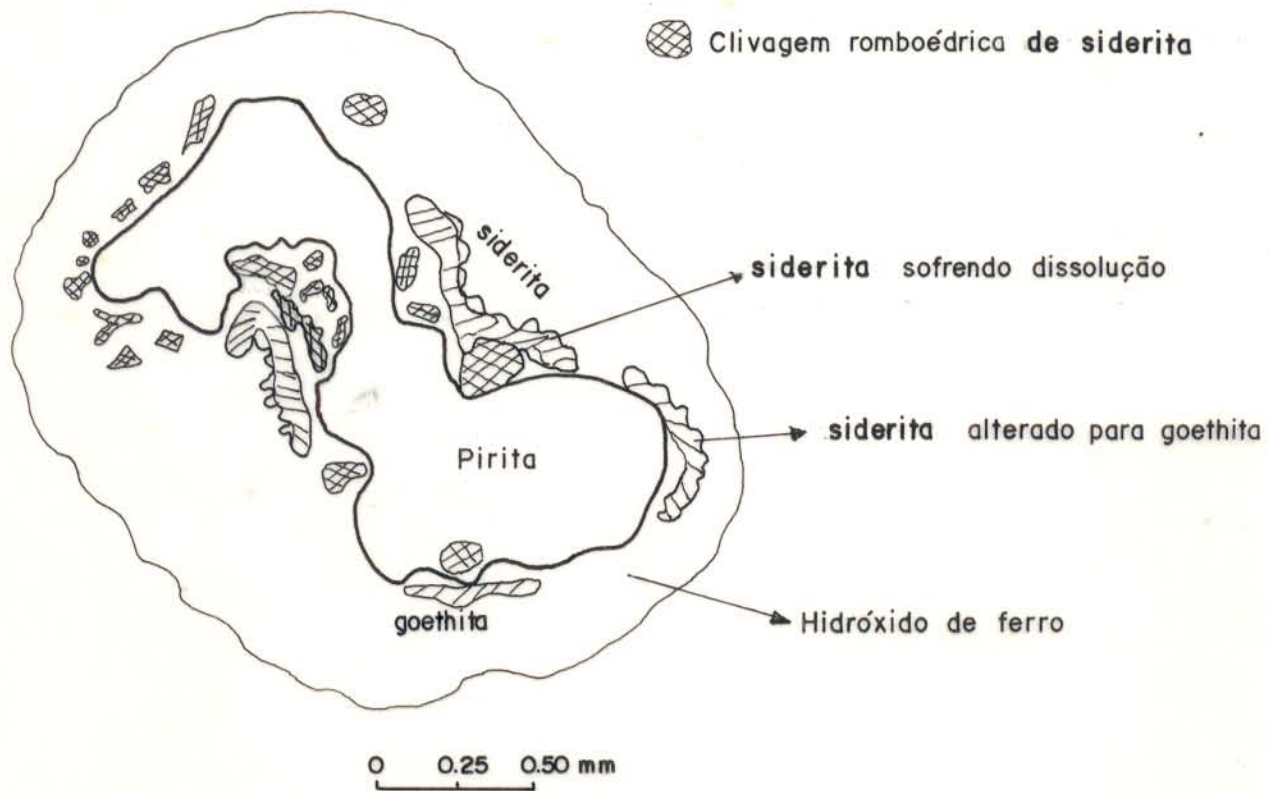


Figura 76 - Aspectos microscópicos de pirita em matriz goethítica e sua relação com siderita (amostra 358,9 m).



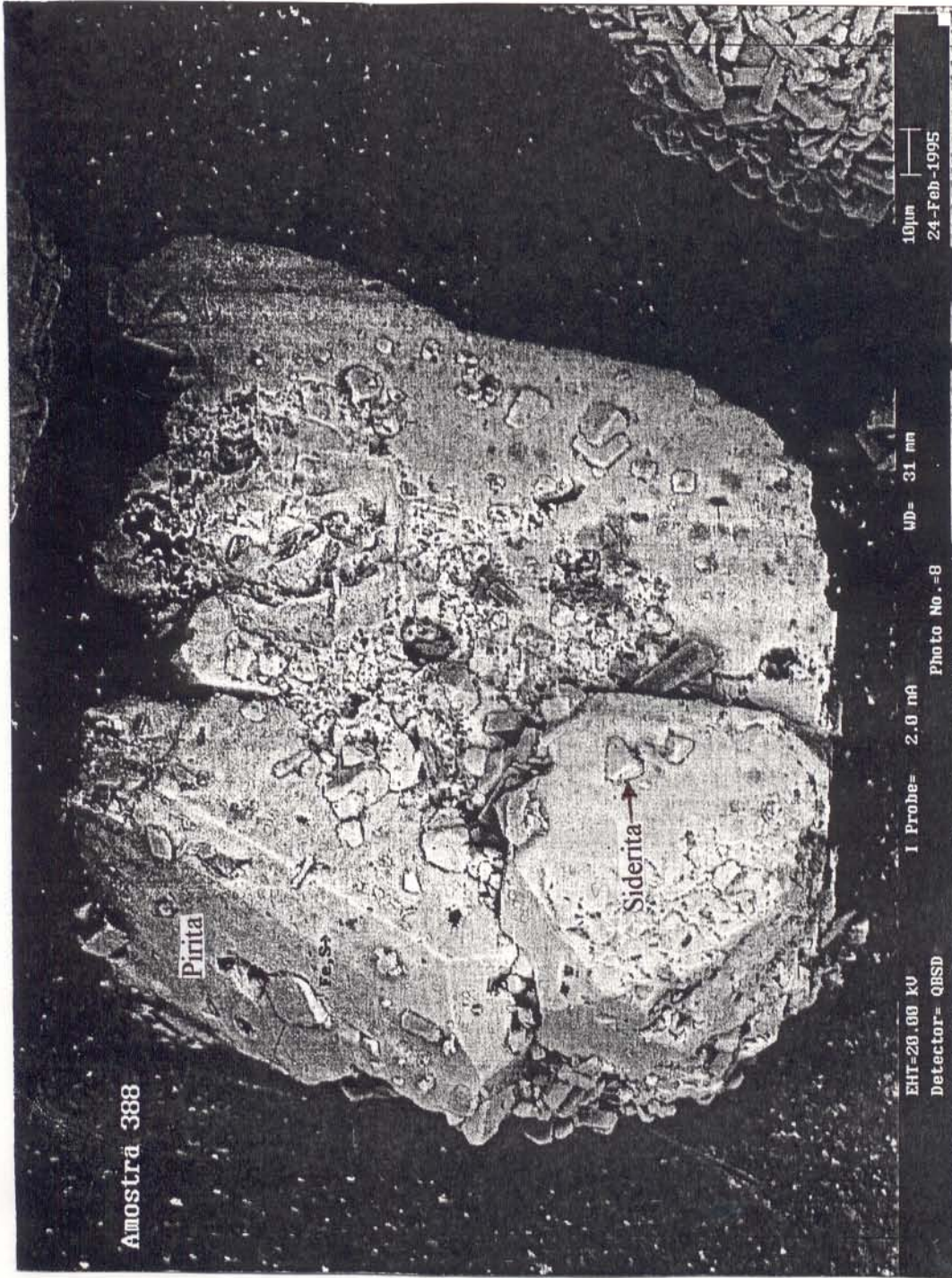


Figura 77 - Aspectos micromorfológicos de cristais de pirita e sua associação com siderita (MEV).

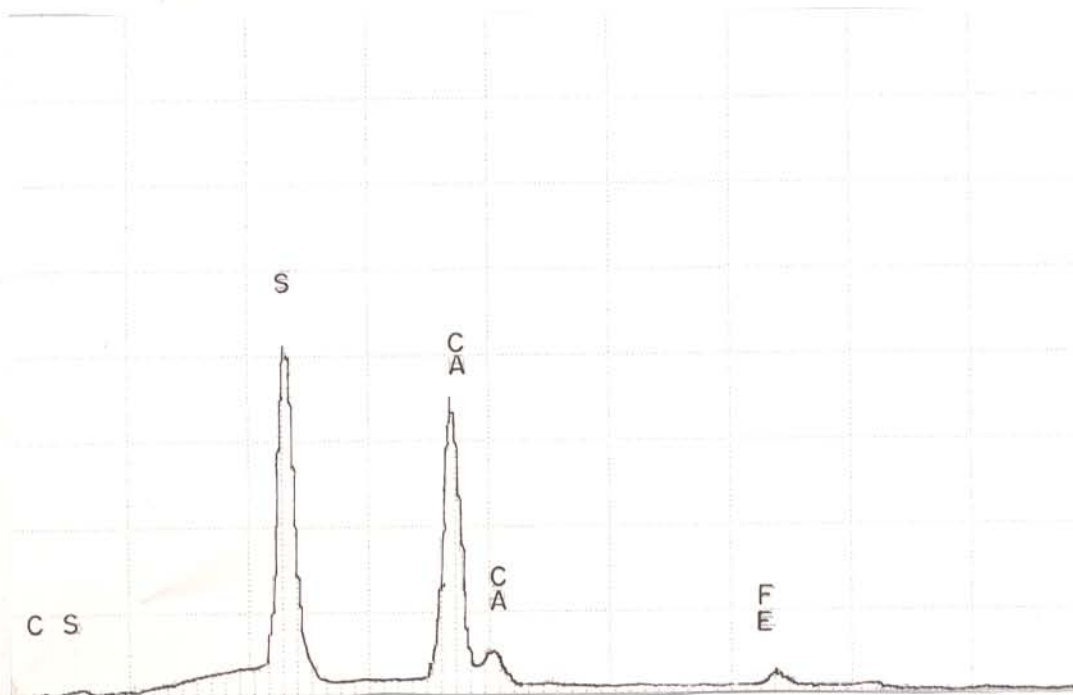
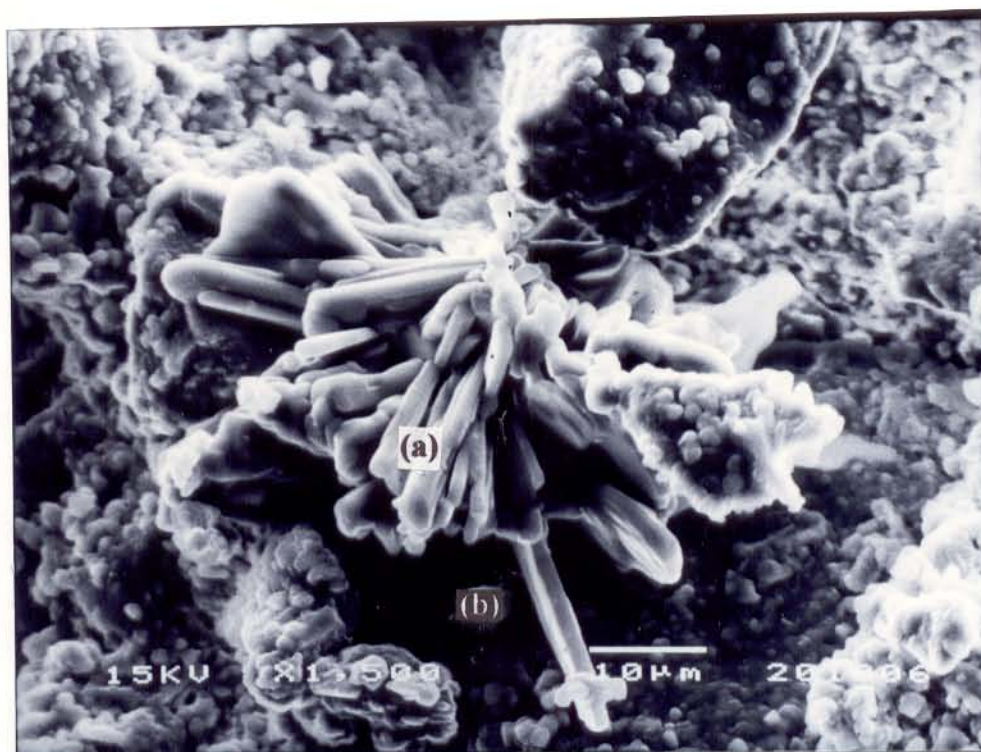


Figura 78 - Cristais e espectro (MEV) de sulfato de cálcio (a) em matriz carbonática (b) .



Tabela 34 - Composição química média (% em peso) das amostras pontuais e de calha da Bacia Esperança.

% peso	AMOSTRAS PONTUAIS				AMOSTRAS DE CALHA			
	Brecha carbonática N=4	Argila carbonosa N=3	Sapropelito N=1	Argila creme/solo N=2	Brecha carbonática N=14	Argila carbonosa N=6	Sapropelito N=4	argila creme/solo N=1
SiO <sub>2</sub>	0,19	14,90	6,60	19,04	0,05	18,74	16,76	33,40
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,46	9,77	8,10	44,10	3,90	14,30	22,50	30,60
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	43,07	48,30	6,00	2,50	63,12	28,78	3,00	5,10
TiO <sub>2</sub>	3,78	0,94	0,86	4,30	1,25	1,04	0,72	1,27
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,18	0,67	2,40	3,25	0,10	0,77	1,06	0,79
Na <sub>2</sub> O	0,08	0,02	0,01	0,01	0,53	0,46	0,32	0,60
K <sub>2</sub> O	0,08	0,09	<0,01	0,01	0,05	0,05	0,04	0,02
CaO	0,49	0,48	0,08	0,15	0,46	0,51	0,32	0,13
MgO	1,52	0,23	<0,01	<0,01	0,96	0,25	0,03	0,03
MnO	0,56	0,56	<0,01	<0,01	1,51	0,48	0,01	2,07
TR <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,96	0,30	1,56	2,12	0,61	0,67	1,07	0,69
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1,46	0,11	2,29	2,64	1,22	0,42	0,85	1,17
S	0,77	1,06	8,20	0,31	1,42	1,51	2,43	0,04
PF	21,77	22,58	65,08	21,81	26,40	30,50	50,10	15,30

Tabela 35 - Concentração média dos elementos traços (ppm) das amostras pontuais e de calha da Bacia Esperança.

%peso	Amostras Pontuais		Amostras de Calha					
	Brecha carbonática N=4	Argila carbonosa N=3	Sapropelito N=2	Argila creme/solo N=2	Brecha carbonática N=14	Argila carbonosa N=6	Sapropelito N=4	Argila creme/solo N=1
Be	33	143	120	58	--	--	--	--
Co	95	33	94	< 5	--	--	--	--
Mo	53	49	57	16	--	--	--	--
Pb	627	186	255	1009	--	--	--	--
Sn	161	43	131	143	--	--	--	--
Sc	585	129	131	290	--	--	--	--
Zn	2.890	483	980	< 200	1749	733	938	51
Th	0,43%	0,069	0,33%	0,9%	0,33%	0,14	0,35%	0,30%
Zr	52	133	385	905	112	282	938	1085
Sr	48	191	985	1365	170	515	609	370
Ba	0,3%	0,5%	1,1%	1,6%	--	--	--	--
V	256	243	315	400	--	--	--	--
Cr	130	127	93	145	--	--	--	--
Y	197	112	430	170	--	--	--	--
Nb	1,02%	0,08%	1,60%	1,84%	0,85%	0,29%	0,59%	0,82%
La	883,00	672,85	2626,00	4143,00	827,39	1551,60	2413,00	1667,00
Ce	2423,00	1261,95	6211,00	9606,00	1588,82	3056,89	4488,67	3097,00
Nd	1851,67	524,70	3627,00	3522,50	1175,51	1269,42	1728,02	879,30
Sm	789,90	79,32	607,20	516,75	601,31	327,26	294,82	145,20
Eu	167,95	15,20	97,53	79,64	154,38	85,43	60,96	32,96
Gd	304,70	39,30	173,30	171,60	268,08	166,49	116,31	60,56
Dy	94,23	19,54	54,61	62,37	82,06	59,65	40,96	23,68
Ho	16,65	12,19	9,49	4,87	11,42	8,73	7,18	4,05
Er	34,08	9,00	19,87	23,17	23,37	18,23	13,36	8,76
Yb	14,99	5,33	6,08	8,18	11,96	11,11	6,33	5,77
Lu	2,03	0,71	0,92	1,29	1,59	1,38	0,85	0,88

-- não analisado

$\text{Al}_2\text{O}_3$  (0,46 e 3,9 %). São anômalos os teores de  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  (1,22 e 1,43 %),  $\text{TR}_2\text{O}_3$  (0,61 e 0,96 %) e  $\text{MnO}$  (1,51 e 2,07 %), quando se trata de sedimentos dessa natureza. Na brecha carbonática são observados os teores mais elevados de zinco (2890 ppm), escândio (585 ppm), estanho (161 ppm) e cobalto (95 ppm). Esses teores são semelhantes aos encontrados nas crostas (superficiais e do perfil do furo 1; Figuras 24 e 47). A composição química da brecha carbonática é compatível com sua mineralogia a base de goethita, siderita, ilmenorutilo, Nb-rutilo, Nb-brookita, pirita, fosfatos do grupo da crandalita, além de pirocloro e oxi-hidróxidos de Mn. Os dados químicos também se assemelham com os sedimentos lacustres depositados sobre a crosta laterítica derivada de complexos carbonatíticos de Mt. Weld (LOTTERMOSER, 1990).

A argila carbonosa sobreposta a brecha carbonática, contém sílica (14,9 e 18,74 %  $\text{SiO}_2$ ), ferro (9,77 e 14,3 %  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) e fósforo (0,67 e 0,77 %  $\text{P}_2\text{O}_5$ ). São também anômalos os teores de nióbio (0,11 e 0,42 %  $\text{Nb}_2\text{O}_5$ ) e ETR (0,3 e 0,67 %  $\text{TR}_2\text{O}_3$ ). Na fração argilosa de sedimentos pelíticos apresentados por CAGGIANELLI *et al.* (1992), os ETR não ultrapassam 304 ppm e os de Nb são de no máximo 40 ppm. Já os teores de Mn encontrados na argila carbonosa (0,41 e 0,56 %  $\text{MnO}$ ) são mais baixos que os reportados em seqüências de argilas (2,19 %  $\text{MnO}$ ), com enriquecimento diagenético de metais pesados (YAMAMOTO, 1992). A argila carbonosa apresenta teores anômalos de Be (143 ppm), quase o mesmo encontrado nas crostas superficiais (146 ppm, na amostra CB-114; Figura 24). A composição química da argila carbonosa é também compatível com sua mineralogia, constituída de caolinita, goethita, quartzo, pirita, fosfatos do grupo da crandalita e mica.

O sapropelito é muito pobre em ferro (3 e 6 %  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), apresenta baixos teores de sílica (6,6 e 16,76 %  $\text{SiO}_2$ ), mas expressivos de alumínio (8,1 e 22,5 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), muito baixos de cálcio (0,08 e 0,32 %  $\text{CaO}$ ), e relativamente elevados de  $\text{P}_2\text{O}_5$  (1,06 e 2,4 %). Por ser rico em matéria orgânica, com mais de 50 % de constituintes orgânicos, os valores da perda ao fogo são muito

elevados, com teor de carbono orgânico de até 15,8 %. São anômalas da mesma forma as concentrações de  $\text{TR}_2\text{O}_3$  (1,07 e 1,56 %) e  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  (0,85 e 2,29 %), além de Ba (1,1 %) e Sr (609 e 985 ppm). Esse quadro químico está associado à presença de fosfatos do grupo da crandalita, monazita, caolinita, pirita e goethita, que se correlaciona, parcialmente, ao das crostas superficiais. As características químicas desta camada diferem quase completamente dos sapropelitos do Mar Negro (CALVERT, 1990), a exceção do teor de carbono orgânico, que é muito próximo (14,7 %), que não tem qualquer ligação com ambiente carbonatítico pretérito.

Na argila creme, são observados os teores mais elevados de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (30,6 e 44,1 %) e de  $\text{SiO}_2$  (19,04 e 33,4 %), relativos a toda seqüência, enquanto  $\text{TiO}_2$  (1,27 e 4,3 %) e  $\text{P}_2\text{O}_5$  (0,79 e 3,25 %) são comparáveis com teores das demais camadas. Nesta camada os teores de  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  (1,17 e 2,64 %),  $\text{TR}_2\text{O}_3$  (0,69 e 2,12 5) e, ainda Th (0,3 e 0,9 %), são anômalos. A argila creme contém ainda teores elevados de Sr (370 e 1365 ppm), Zr (905 e 1085 ppm), Pb (1009 ppm), V (400 ppm) e Cr (145 ppm). Essa composição química permite correlacioná-la apenas com os sedimentos lacustres depositados sobre crostas lateríticas derivadas de carbonatitos como Mt. Weld (LOTTERMOSER, 1990). Essa composição química da argila creme representa claramente a sua composição mineralógica com gibbsita, caolinita, ilmenorutilo, Nb-rutilo, Nb-brookita, fosfatos do grupo da crandalita e goethita. Gibbsita e caolinita são os minerais predominantes no horizonte aluminoso do perfil laterítico do furo 3, enquanto os demais minerais são encontrados nas crostas, demonstrando perfeita correlação entre os sedimentos desta camada e os lateritos.

### **Diagrama $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3$**

A Figura 79 mostra que em termos de  $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3$  os sedimentos da bacia Esperança tem um único grupo químico-composicional, variando de extremamente ferroso a partir da brecha carbonática passando gradualmente para sílico-aluminoso em direção às camadas de topo. Ou seja,

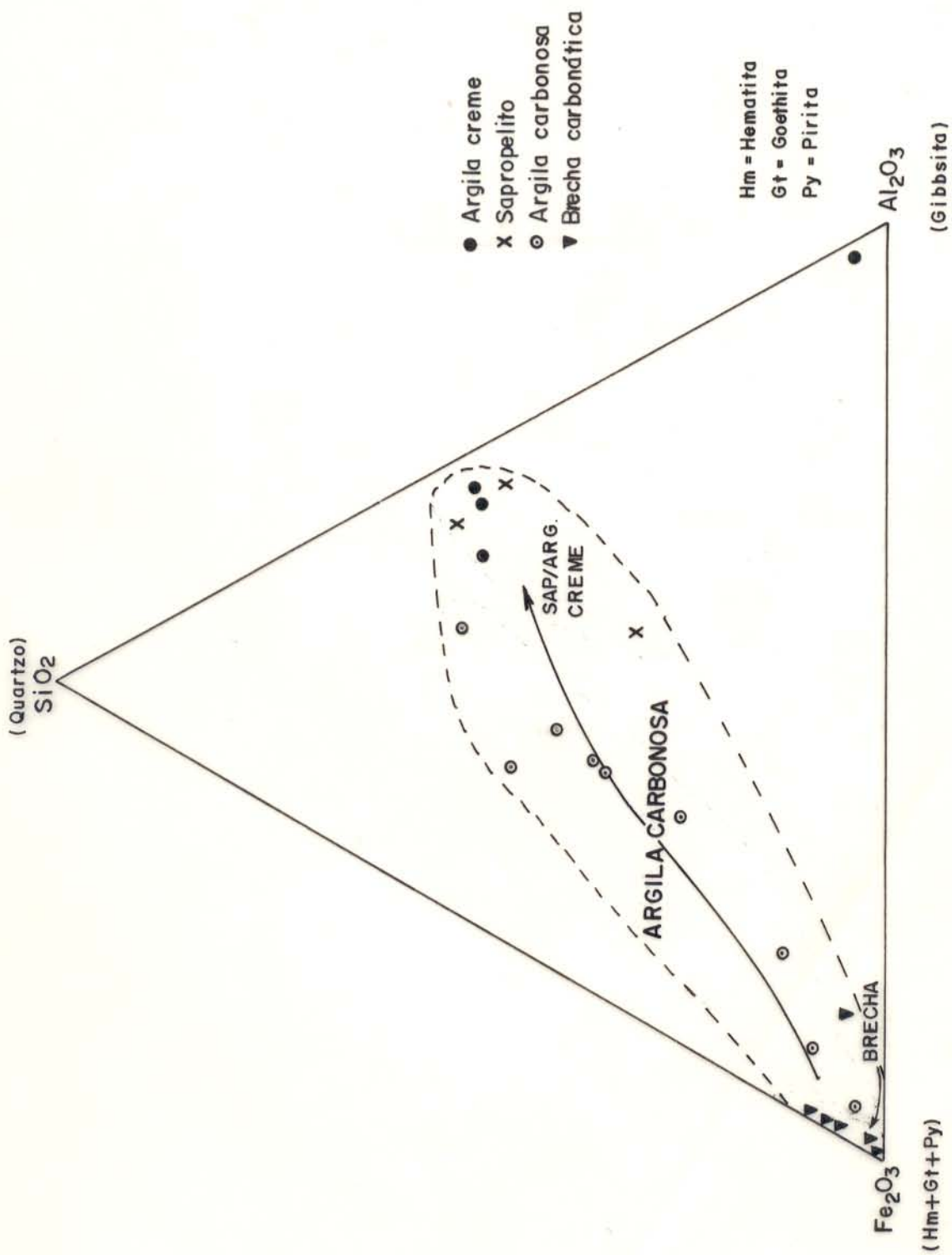


Figura 79- Diagrama SiO<sub>2</sub>-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> salientando a composição química das camadas da Bacía Esperança.

parece ter havido mudanças graduais no ambiente de sedimentação, inicialmente com domínio de aporte de ferro e preteritamente de sílica e alumínio. Admitindo como fonte as crostas ferruginosas, pode concluir: que as crostas ferruginosas ao topo da seqüência laterítica foi o primeiro material exposto, erodido e depositado no fundo das depressões (bacias), enquanto que os horizontes inferiores a base de fosfatos de Al e gibbsita, e depois argilo-minerais (segundo a seqüência laterítica mostrada por COSTA, 1990 b), proporcionaram, gibbsita e fosfatos de Al para as camadas subjacentes e os argilo-minerais para as camadas de topo, demonstrando uma clara inversão do perfil laterítico, uma seqüência esperada e observada já com frequência.

#### **6.7.2 Curvas Normalizadas dos ETR Segundo as Camadas**

A Figura 80 mostra as curvas dos ETR normalizadas aos condritos, das diferentes camadas da Bacia Esperança.

A maioria das amostras da brecha carbonática, as do topo e da base (Figura 80 a) desta camada, exibem anomalias positivas muito fortes para samário, fato este observado também nas amostras das crostas superficiais (Figura 80 c). Nas amostras correspondentes foram identificados os mesmos minerais das crostas como pirocloro e oxi-hidróxidos de Mn, que por serem os mais abundantes e comumente enriquecidos em ETR (item 4.3.2.10), devem ser os responsáveis por essas anomalias, tais como os foram nas crostas superficiais. As amostras referentes a zona intermediária da brecha carbonática (Figura 80 b), apresentam curvas bem distintas das discutidas acima com discretas anomalias positivas em Ce e Eu, também observadas nas crostas superficiais sendo que com maior intensidade. Nas crostas superficiais e do perfil do furo 1 ocorre cerianita, minerais de Ti e Nb e oxi-hidróxidos de Mn. Aqui, a mineralogia das amostras correspondentes também contém esses minerais, com exceção da cerianita, e como nas crostas, as anomalias

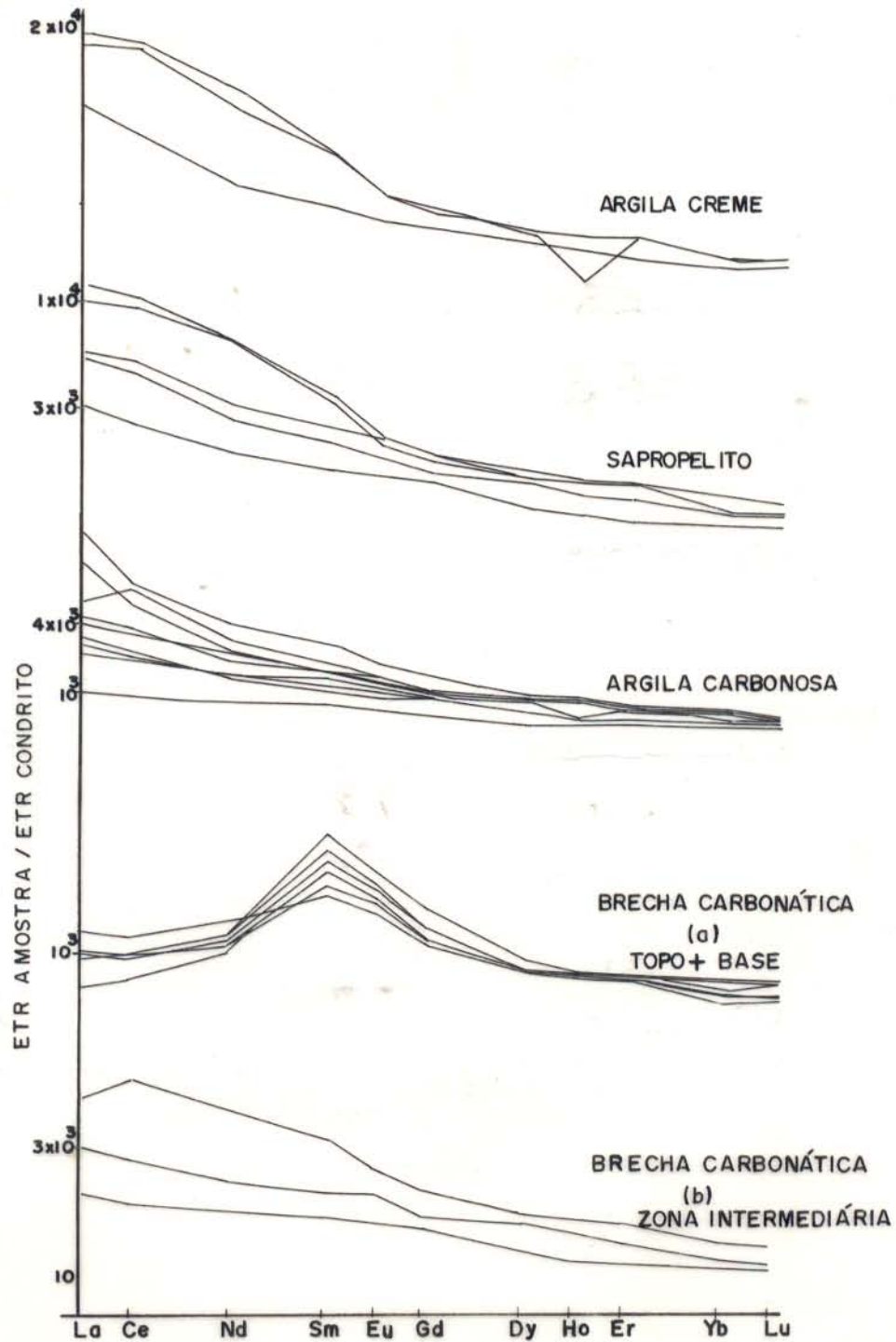


Figura 80- Curvas dos ETR normalizadas aos condritos (segundo EVENSEN et al. 1978) de amostras de sedimentos da Bacia Esperança.

encontradas nessas amostras da brecha carbonática também devem ser atribuídas aos minerais de Mn.

As curvas normalizadas de ETR das amostras da argila carbonosa, do sapropelito e da argila creme são semelhantes entre si. Algumas apresentam discretas anomalias positivas de Ce, sendo esta um pouco mais intensa em apenas uma amostra da argila carbonosa. Na argila creme a anomalia negativa de Ho é mais pronunciada do que a observada na argila carbonosa (na literatura consultada não foi encontrada anomalia semelhante de Ho). Esse padrão encontrado nas camadas argilosas se assemelham ao das amostras do horizonte argiloso do perfil do furo 3 (Figura 60). Isso reforça a idéia, da base da bacia ter sido derivada das crostas e o topo da fração argilosa (saprólito) dos perfis lateríticos.



## **7 CONCLUSÕES**

### **7.1 ORIGEM DAS CROSTAS SUPERFICIAIS E DO PERFIL DO FURO 1**

As características texturais, mineralógicas e geoquímicas observadas nas crostas superficiais e no perfil do furo 1 mostram claramente uma origem laterítica para esses materiais. Esses dados apresentados nos itens anteriores, indicam ainda uma derivação de rochas carbonatíticas. A assinatura carbonatítica é claramente indicada pela hereditariedade de minerais como ilmenorutilo, Nb-rutilo, Nb-brookita, pirocloro e monazita, típicos de carbonatitos e rochas associadas e resistentes aos processos lateríticos, e ainda pelos teores elevados e anômalos de Nb, ETR, também de Ba, Mn, Th, Co, Zr, Sc, V, Mo e Be, à semelhança das ocorrências de lateritos derivados de carbonatitos, como Muri (BARRON, 1982), Sukulu (REEDMAN, 1984), Mt. Weld (LOTTERMOSER, 1990).

### **7.2 ORIGEM DO PERFIL DO FURO 3**

O perfil do furo 3, que se apresenta estruturado em horizontes bem distintos característicos de perfil laterítico, cuja composição química-mineralógica indica derivação laterítica a partir de rochas aluminosilicatadas pobres em ferro, como as encaixantes de Seis Lagos (granitos e gnaisses), e o perfil do furo 3 encontra-se exatamente na zona das rochas encaixantes.

### **7.3 ORIGEM DOS SEDIMENTOS DA BACIA ESPERANÇA E SUAS RELAÇÕES COM OS LATERITOS PRÉ-EXISTENTES**

#### **7.3.1 Aspectos Gerais**

Os sedimentos da bacia Esperança representados por 4 camadas principais a saber, brecha carbonática (base), argila carbonosa, sapropelito e argila creme/solo (topo), representam 4 ambientes deposicionais distintos dentro da bacia. O ambiente da brecha carbonática caracteriza-se

pela qualidade da matéria orgânica, de origem vegetal, onde a atuação dos processos relacionados à atividade biológica gerou a formação de minerais sedimentares diagenéticos como pirita e siderita; a argila carbonosa, indicativa de sedimentação argilosa com matéria orgânica principalmente na sua parte basal, com predominância de argilo-minerais 1:1 e fragmentos da crosta; o sapropelito, indicativo de ambiente ácido-redutor tipicamente orgânico com domínio animal; e a argila creme/solo, um ambiente basicamente de argilo-minerais 1:1 e hidróxidos e fosfatos de alumínio. Esses sedimentos, portanto, tiveram como área fonte os diferentes horizontes dos perfis lateríticos e grande contribuição orgânica vegetal e animal.

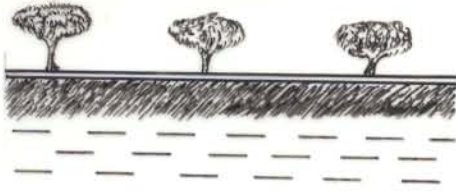
### 7.3.2 Origem da Brecha Carbonática

As brechas carbonáticas constituídas de materiais nitidamente provenientes das crostas ferruginosas lateríticas e de minerais típicos de ambiente sedimentar-diagenético como pirita e siderita, provavelmente representam a deposição de grande quantidade de fragmentos da crosta ferruginosa em depressões (bacias) internas sob elevada subsidência (Figura 81). As semelhanças geoquímicas entre as brechas carbonáticas e as crostas ferruginosas indicadas na Figura 82, mostram que as crostas foram realmente a fonte principal das brechas. Essas depressões se formaram então da própria crosta, certamente por dissolução em profundidade, das rochas carbonáticas geradoras dos lateritos (Figura 81).

A origem dos minerais autigênicos dessa camada pode ser explicada da seguinte forma:

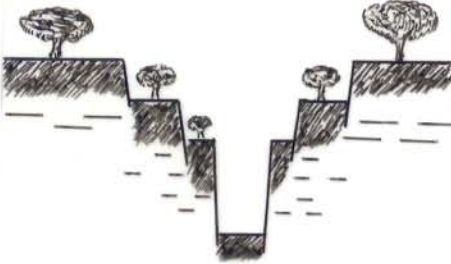
Em primeiro lugar as relações texturais mostram que a pirita é anterior a siderita. O  $\text{Fe}^{2+}$  para formação da pirita tem sua origem na redução do  $\text{Fe}^{3+}$  formando os oxi-hidróxidos de ferro dos fragmentos de crostas ferruginosas, depositados em grande quantidade na depressão sob ação de bactérias;

## PALEOCENO - MIOCENO



SUPERFÍCIE E PERFIS LATERÍTICOS  
COM CROSTAS FERRUGINOSAS ESPESSAS.

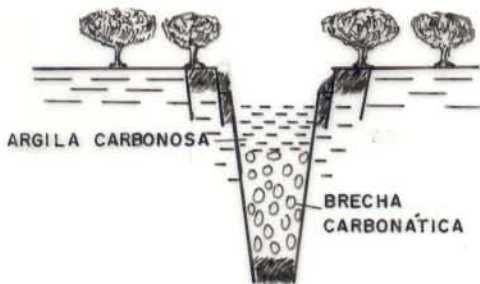
## OLIGOCENO



SURGIMENTO DAS DEPRESSÕES (BACIAS  
FECHADAS) INTRACROSTAS. DESMANTELA-  
MENTO PARCIAL DA CROSTA, E PERFIS.

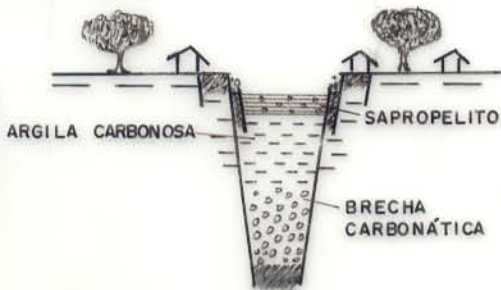


EROSÃO E DEPOSIÇÃO DOS FRAGMENTOS  
DA CROSTA NAS DEPRESSÕES SOB ALTA  
SUBSIDÊNCIA, POR PRESSÃO LITOSTÁTICA,  
FORMA-SE ESPESSO PACOTE.



DIMINUI A TAXA DE SUBSIDÊNCIA E AVAN-  
ÇA A VEGETAÇÃO. COM EROSIÃO DE GRANDE  
PARTE DA CROSTA ADJACENTE, EXPÕE-SE  
OS HORIZONTES ARGILOSOS, FONTE PARA  
SEDIMENTAÇÃO DE ARGILA. ACUMULA-SE  
MATÉRIA ORGÂNICA QUE PROMOVE A AL-  
TERAÇÃO DIAGENÉTICA DA CAMADA BASAL.

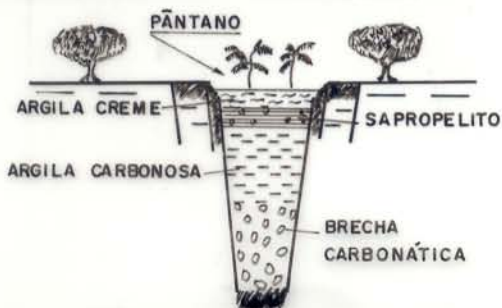
## MIOCENO



TAXA DE SUBSIDÊNCIA É AINDA MENOR,  
PROLIFERA ATIVIDADE ORGÂNICA, PRINCIPAL-  
MENTE A ANIMAL. OS HORIZONTES ARGILOSOS,  
EXPOSTOS, CONTINUAM FORNE-  
CENDO ARGILA PARA AS DEPRESSÕES,  
EMBORA EM MENOR PROPORÇÃO DEVIDO A  
COBERTURA VEGETAL. CLIMA ÚMIDO!

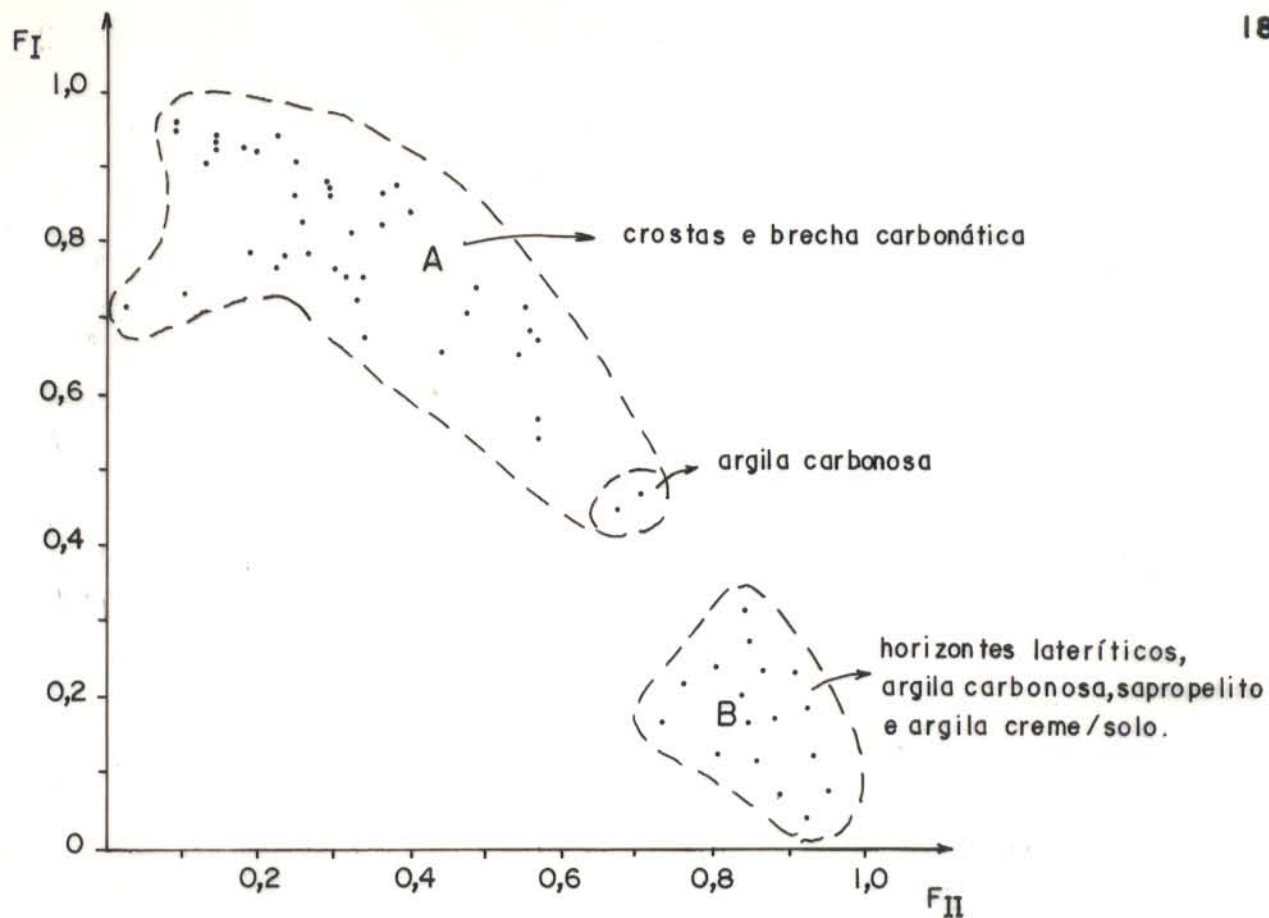
NEOGENO

## PLEISTOCENO - HOLOCENO



A TAXA DE SUBSIDÊNCIA É PRATICAMENTE  
ZERO. ATIVIDADE ORGÂNICA (VEGETAL E ANI-  
MAL) DIMINUEM. DEPOSITAM-SE ARGILAS  
QUE COMPLETAM O ASSOREAMENTO DA DE-  
PRESSÃO.

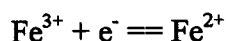
ESTABELECIAMENTO DE PANTANO JÁ NO  
HOLOCENO COM PALMEIRA BURITIRAMA.



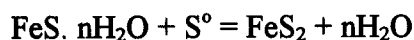
$$F_I = \frac{Fe_2O_3 + Sc + Zn}{P_2O_5 + Sr + Zr} \rightarrow Zn$$

$$F_{II} = \frac{P_2O_5 + Sr + Zr}{Fe_2O_3 + Sc + Zn} \rightarrow Zn$$

Figura 82- Correlação estatística (modo Q) entre os materiais lateríticos e lacustres da Bacia Esperança.



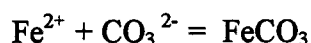
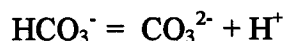
A formação de pirita se dá pela abundância de  $\text{H}_2\text{S}$  na presença de enxôfre livre gerado pelo ambiente redutor rico em matéria orgânica, com grande atividade bacterial. Assim surgem as condições favoráveis para formação da pirita (Figura 83). Primeiro se forma o monossulfeto (hidrotroilita), que depois se transforma em pirita:



Após o consumo do enxôfre na formação da pirita, estando o ferro em excesso devido a grande abundância de oxi-hidróxidos da crosta, e após destruição da matéria orgânica em ambiente redutor, o  $\text{CO}_2$  formado ( $\text{HCO}_3^-$ ), combina-se com Fe reduzido ( $\text{Fe}^{2+}$ ) para formar siderita:

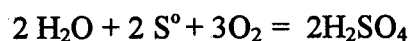


( $\text{CH}_4$  representa a matéria orgânica)



A formação de siderita ocorre em um pH levemente alcalino (pH 6 a 9), e pequena variação no Eh, ou seja, trata-se de um mineral formado em campo muito limitado de pH-Eh, ao contrário da pirita (Figura 83).

A presença, embora rara, na brecha carbonática de sulfato de cálcio, possivelmente, gipso, um mineral sedimentar, indica que a seqüência foi raramente afetada por águas subterrâneas oxidantes:



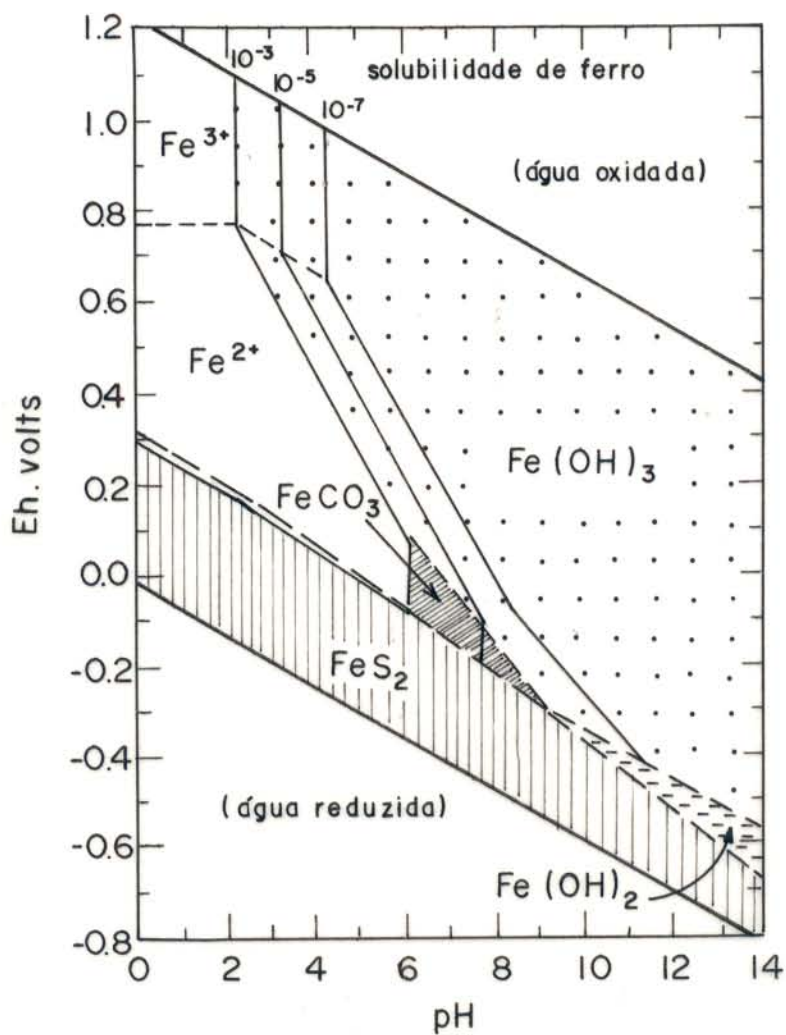


Figura 83 - Diagrama Eh-pH para fases de Fe, segundo JONES & BOWSER (1978).



Estudos de isótopos estáveis ( $^{13}\text{C}$  e  $^{18}\text{O}$ ) obtidos para as sideritas, empregados na identificação de ambiência, não foram conclusivos, haja vista estarem dentro do limite de carbonatos de precipitação química e de carbonatitos. Vale ressaltar, que os dados aqui obtidos foram comparados, principalmente, com valores encontrados para calcita e dolomita de carbonatitos, conforme DEINES & GOLD (1973); PINEAU *et al.* (1973); DEINES (1989), que não há dados em sideritas de carbonatitos, mas apenas em sedimentos e veios hidrotermais (TIMOFEYEVA *et al.*, 1976; SPIRO *et al.*, 1993).

### 7.3.3 Origem da Argila Carbonosa

A camada de argila carbonosa sobreposta à brecha carbonática, ainda guarda relação com esta quanto a presença de matéria orgânica e de pirita, e também contém minerais dos horizontes lateríticos principalmente subjacentes às crostas. Portanto, a origem da argila carbonosa, deve ter como área fonte os horizontes argilosos lateríticos como aqueles do perfil do furo 3. A deposição da camada de argila carbonosa ocorreu em momento de menor subsidência e quando as crostas ferruginosas situadas em níveis mais elevados foram erodidas, expondo os horizontes argilosos (Figura 81).

### 7.3.4 Origem do Sapropelito

A camada de sapropelito indica a instalação de um ambiente ácido-redutor, em continuação a deposição da argila carbonosa subjacente, que pela sua elevada espessura, indica um prolongado período de permanência do ambiente ou de subsidência continuada, mas equilibrada com taxa da fração orgânica. O clima era úmido e favoreceu o intenso desenvolvimento de vida animal na bacia e nos arredores da mesma (Figura 81). A constituição química-mineralógica desta

camada indica que o material teve contribuição também dos lateritos principalmente dos horizontes argilosos, à semelhança da camada de argila carbonosa, dada a presença de caolinita, fosfatos do grupo da crandalita (florencita) e goethita. O único mineral encontrado próprio de sapropelitos é a pirita, e sua formação é a mesma daquela da brecha carbonática. Estudos palinológicos dessa camada realizados por ISSLER (1980) sugerem idade neogênica para a mesma.

### **7.3.5 Origem da Argila Creme/Solo**

Ao contrário das camadas subjacentes, a camada de argila creme/solo, no topo da bacia não contém matéria orgânica. Seja por que ela foi oxidada, por se encontrar próximo da superfície ou, porque era desprovida desse material. Sua constituição química-mineralógica indica também proveniência dos horizontes argilosos dos perfis lateríticos, agora depositados na depressão praticamente assoreada e menos rica em matéria orgânica.

Sobre argila creme, já no Holoceno, com a bacia assoreada, sem experimentar subsidência, formaram-se brejos.

### **7.3.6 Considerações**

A deposição da sequência argilosa da Bacia Esperança deve ter iniciado ainda no Terciário Inferior, logo após o estabelecimento dos perfis lateríticos com seu ápice, provavelmente no Mioceno (Figura 82), prolongando-se aos tempos atuais.

Sedimentos lacustres com litologias equivalentes embora ainda não estudados em detalhe, estão sendo descritos com frequência em terrenos lateríticos, derivados de carbonatitos como Catalão (CARVALHO, 1974), Mt. Weld (LOTTERMOSER, 1990).



Além da Bacia Esperança em Seis Lagos são conhecidas mais 18 bacias intracrostas ferruginosas, sendo que 11 estão completamente assoreadas e as demais ainda com lâmina d'água. Algumas delas ainda se apresentam com morfologia tipo funil, de escarpas abruptas e com lâmina d'água em nível inferior. Algumas estão aparentemente ainda em fase de estabelecimento.

#### 7.4 BRECHA CARBONÁTICA VERSUS CARBONATITO

Tendo em vista que os carbonatos do furo 4 (Bacia Esperança) foram interpretados por ISSLER (1980), BONOW & ISSLER (1980) como carbonatitos, faz-se necessário apresentar as seguintes considerações:

- 1) A seqüência litológica do furo 4 (bacia Esperança) (Figura 62) mostra que há uma passagem gradativa da "brecha carbonática" para argila carbonosa, o que é incompatível com rochas carbonatíticas;
- 2) A presença de minerais como gibbsita e do grupo da crandalita nas brechas carbonáticas, minerais esses típicos de lateritos, invalidam a interpretação de carbonatitos, e assume a origem indicada no item 7.3.2;
- 3) A ausência marcante e constante de minerais típicos de carbonatito, mesmo que em quantidades acessórias como fluorapatita, perovskita, titanita, ilmenomagnetita, piroxênio, anfibólio, flogopita, também invalidam a interpretação de carbonatitos. Esses minerais são instáveis no intemperismo, e assim teriam sido decompostos, e não observados mais no perfil laterítico.
- 4) A composição química da brecha carbonática é comparável a da crosta ferruginosa, se feita a correção da percentagem de matéria orgânica introduzida na brecha:

	Crostras ferruginosas (%)		Brechas carbonáticas	
			Amostras pontuais (%)	Amostras de calha (%)
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	79,04		43,07	63,12
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,58		0,46	3,90
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,42		0,10	0,18
TiO <sub>2</sub>	3,84		1,25	3,78
Nb	1,08		0,85	1,02
ETR	6548 ppm		6582 ppm	4746 ppm
Th	0,17		0,43	0,33

A filiação geoquímica entre crosta e brecha é ainda mais expressiva através da análise fatorial mostrada na Figura 82.

5) A distribuição dos teores de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ao longo da seqüência estratigráfica mostra que a mesma derivou a partir da inversão do perfil laterítico, ou seja, que o horizonte superior (crosta ferruginosa) foi depositado na base da seqüência e os subjacentes (horizontes argilosos) em direção ao topo, fato comum observado em ambiente laterítico com coberturas sedimentares com filiação laterítica (COSTA, 1990 a).

6) Os isótopos estáveis de <sup>13</sup>C e <sup>18</sup>O não permitem distinguir indubitavelmente entre ambiência sedimentar-diagenética e carbonatítica.

7) O alinhamento dos pontos analíticos do diagrama isocrônico (<sup>87</sup>Rb/<sup>86</sup>Sr vs. <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr) obtidos tanto das amostras totais como de cristais de siderita da brecha carbonática, não são compatíveis com rochas homogêneas, mas indicativos de material heterogêneo ou alterado.

8) A siderita não é um carbonato comum e principal de carbonatitos, e quando ocorre está associada com ankerita (RODRIGUES & LIMA, 1984). Carbonatitos com 34,5 % de siderita, 42,6 % de goethita e como acessórios pirita, gibbsita, crandalita, óxidos de Ti-Nb e hidróxidos de Mn, composição essa, da brecha carbonática, são ainda desconhecidos. Em sendo a brecha carbonática um carbonatito, estar-se-ia diante de um carbonatito com exótica composição mineral.

## 7.5 CONCLUSÕES

A expressão laterítica maior que constitui o denominado Morro de Seis Lagos, tem, com base nas suas assinaturas mineralógicas e geoquímicas, uma derivação nitidamente a partir de rochas de complexos carbonatíticos.

Os sedimentos da bacia esperança, um exemplo de depressão profunda de abatimento intracrosta laterítica, entre quase duas dezenas de outras existentes em Seis Lagos, teve como área fonte principal os diferentes horizontes dos perfis lateríticos, sendo a crosta ferruginosa a fonte de grande parte dos sedimentos da base da coluna e os horizontes argilosos das camadas superiores. O preenchimento dessa depressão marcadamente com materiais dos perfis lateríticos, permitiu que, os sedimentos da bacia em toda a sua extensão também preservasse toda a assinatura geoquímica e radiométrica, e ainda, em parte a assinatura mineralógica da fonte primária geradora dos lateritos, as rochas carbonatíticas, e assim permitindo que ISSLER (1980) e BONOW & ISSLER (1980) concluíssem que a camada inferior, siderítica, fosse de fato os próprios carbonatitos, que infelizmente ainda não foram alcançados por sondagem e nem foram encontrados afloramentos naturais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADUSUMILLI, M.S. 1991. Mineralogia de ilmenorutilo e strüverita do Nordeste do Brasil. **Rev. Bras. Geoc.**, 21(1):24-40.
- ALCOVER NETO, A. & TOLEDO, M. C.M. 1993. Evolução supérgena do carbonatito de Juquiá (SP). **Rev. IG. São Paulo**, 14(1):31-43.
- ALCOVER NETO, A. & TOLEDO-GROKE, M.C. 1989. Caracterização preliminar da evolução supérgena das rochas carbonatíticas do complexo alcalino-carbonatítico de Juquiá (SP), com enriquecimento em fosfatos. *In*: CONG. BRAS. GEOQ., 2, Rio de Janeiro. 1989. **Anais...** Rio de Janeiro. SBGQ. p. 479-485.
- ALEVA, G.J.J. 1983. Suggestions for a systematic structural and textural discription of lateritic rocks. *In*: LATERITISATION process. IAG/USP. p. 443-454.
- 9 - ALMEIDA, T.; ALCOVER NETO, A.; TOLEDO, M.C.M.; MOREIRA, M. 1994. Supergene calcite at the bottom of a weathering profile over carbonatite at Juquiá, São Paulo, Brazil; Isotopic composition and genesis. *In*: CONG. Chileno e Reunião do IGCP 342 (Isotopes and geocronology of South American ores). Mendonza, Chile. **Atas**, p.1-5.
- ANGÉLICA, R.S. 1990. **Geoquímica e mineralogia dos lateritos superficiais do Complexo de Maicuru-Pará**. Belém, Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências. 200 p. Tese (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Centro de Geociências, UFPa, 1990.
- ANGÉLICA, R.S. & COSTA, M.L. 1993. Geochemistry of rare-earth elements in surface lateritic rocks and soils from the Maicuru Complex, Pará, Brazil.. **J. Geoch. Expl.**, 47:165-182.

- BHRIG, B. 1989. Stable isotope composition of siderite as an indicator of the Paleoenvironmental history of oil shale lakes. **Paleogeog. Paleoclim. Paleoecol.**, 7(1/3):139-151.
- BARDOSSY, G. 1983. A comparison of the main lateritic bauxite regions of our globe. *In*: MELFI, A.J. & CARVALHO, A. (Eds.). **Lateritisation Processes**, São Paulo. IAG/USP, p. 15-56.
- BARRON, C.N. 1982. Explorations characteristics of the Muri Mountains Alkaline Complex, Guyana-Brazil Border. *In*: LAMING, D.J.C.; GIBBS, A.K., eds. **Mineral Exploration Tecnicis in Tropical Forest Areas**. p. 196-201.
- BIONDI, J.C. 1986. **Depósitos de minerais metálicos de filiação magmática**. São Paulo, T.A. Queiroz. 602p.
- BLOCH, J. & KROUSE, H.R. 1992. Sulfide diagenesis and sedimentation in the Albian Harmon Member, Western Canada. **Journal of Sedimentary Petrology**, 62(2):235-249.
- BONNOT-COURTOIS, C. & FLICOTEAUX, R. 1989. Distributions of rare earth and some trace elements in tertiary phosphorites from the Senegal Basin and their weathering products. **Chem. Geol.**, 75:311-328.
- BONOW, C.W. & ISSLER, R.S. 1980. Reavaliação e aspectos econômicos do jazimento de terras raras e ferro-ligas do Lago Esperança. Complexo carbonatítico de Seis Lagos - Amazonas, Brasil. *In*: CONG. BRAS. GEOL. 31, Camboriú-SC. 1980. **Anais...** Camboriú. SBG. V.3, p. 1431-1443.
- BOWELL, R.J. 1993. Mineralogy and geochemistry of tropical rain forest soils: Ashanti, Ghana. **Chem. Geol.** 106:345-358.
- BRAUN, J.J.; PAGEL, M.; MULLER, J.P.; BILONG, P. 1990. Cerium anomalies in lateritic profiles. **Geochim. Cosmochim. Acta.** 54:785-795.

- CAGGIANELLI, A.; FIORE, S.; MONGELLI, G.; SALVEMINI, A. 1992. REE distribution in the clay fraction of pelites from the southern Apennines, Italy. **Chem. Geol.**, 99:253-263.
- CALVERT, S.E. 1990. Geochemistry and origin of the Holocene Sapropel in the Black Sea. *In*: ITTEKKOT, V.; KEMP, S.; MICHAELIS, W.; SPITZY, A, eds. **Facets of Modern Biogeochemistry**. Berlin. Spring Verlag. 433p.
- CARVALHO, W.T. 1974. Recursos minerais do Complexo ultramáfico-alcalino de Catalão I-GO. *In*: CONG. BRAS. GEOL. 28, Porto Alegre. 1974. **Anais...** Porto Alegre, SBG. V.6, p. 165-184.
- CORRÊA, S.L.A.; COSTA, M.L.; OLIVEIRA, N.P. 1988. Contribuição à zona laterítica do Complexo Carbonatítico de Seis Lagos (Amazonas). *In*: CONG. BRAS. GEOL. 35, Belém-PA. 1988. **Anais...** Belém, SBG. V.4, p. 1959-1968.
- COSTA, M.L. 1980. **Geologia, mineralogia, geoquímica e gênese dos fosfatos de Jandiá, Cansa Perna, Itacupim no Pará e Pirocaua e Trauíra no Maranhão**. Belém, Universidade Federal do Pará. Núcleo de Ciências Geofísicas e Geológicas, Centro de Ciências Exatas e Naturais, 146p. Tese (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Ciências Geofísicas e Geológicas, Centro de Ciências Exatas e Naturais, UFPa, 1980.
- COSTA, M.L. 1982. **Petrologisch-geochemische untersuchungen zur genese der bauxite und phosphat-laterite der region Gurupi (Ost Amazonien)**. Universitate Erlang-Nürnberg. 189p. Tese (Doutorado). Institute fur Mineralogie, 1982.
- COSTA, M.L. 1990 a. Mineralogia, geoquímica, gênese e epigênese dos lateritos fosfáticos de Jandiá, na Região Bragantina (NE do Pará). **Geochim. Brasil.**, 4(1): 85-110.
- COSTA, M.L. 1990 b. Lateritos e lateritização. *In*: CONG. BRAS. GEOL. 36., Natal-RN. 1990. **Anais...** Natal, SBG. V.1, p. 404-421.

- 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-SC. 1980. **Anais...** Camboriú, SBG. V.3, p. 1459-1472.
- COSTA, M.L., FONSECA, L.R.; ANGÉLICA, R.S.; LEMOS, V.P.; LEMOS, R.L. 1991. Geochemical exploration of the Maicuru alkaline-ultramafic-carbonatite complex northern Brazil. **J. Geoch. Exploration.**, 40:193-204.
- CURTIS, C.D.; PEARSON, M.J.; SOMOGLY, V.V. 1975. Mineralogy, chemistry and origin of a concretionary siderite sheet (clay-ironstone band) in the Westphalian of Yorkshire. **Mineral. Mag.**, 40:385-393.
- DEANS, T. 1978. Mineral production from carbonatite complexes. A world review. *In*: SYMPOSIUM INTERNATIONAL CARBONATITES, 1., Poços de Caldas, 1978. **Anais...** Poços de Caldas. p. 123-153.
- DEER, W.A.; HOWIE, R.A.; ZUSSMAN, J. 1992. **An introduction to the rock-forming minerals.** 2 ed. London, Longman Scientific & Technical. 696 p.
- DEINES, P. 1989. Stable isotope variations in carbonatites. *In*: BELL, Keith, ed. **Carbonatites: Genesis and Evolution.** p. 301-359.
- DEINES, P. & GOLD, D.P. 1973. The isotopic composition of carbonatite and Kimberlite carbonates and their bearing on the isotopic composition of deep-seated carbon. **Geochim.Cosmoch Acta.**, 23(7):1709-1733.
- EBY, G.N. 1973. Abundance and distribution of the rare-earth elements and yttrium in the rocks and minerals of the Oka Carbonatite Complex Quebec. **Geochim. Cosmochim. Acta.**, 39:597-620.

- ELDERFIELD, H.; HAWKESWORTH, C.J.; GREAVES, M.J.; CALVERT, S.E. 1981. Rare earth element geochemistry of oceanic ferromanganese nodules and associated sediments. **Geochim. Cosmoch. Acta.**, 45(4):513-528.
- EVENSEN, N.M.; HAMILTON, P.J.; O'NIONS, R.K. 1978. Rare earth abundance in chondritic Meteorites. **Geochim. Cosmoch. Acta.**, 42:1199-1212.
- FONSECA, L.R. & RIGON, J.C. 1984. Ocorrência de titânio no Complexo ultramáfico-alcálico de Maracá no Estado do Pará. *In*: CONG. BRAS. GEOL. 33, Rio de Janeiro-RJ, 1984. **Anais...** Rio de Janeiro. SBG. V.8, p.3841-3852.
- FORMOSO, M.L.L.; MELFI, A.J.; KRONBERG, B.I. 1989. Comportamento dos elementos terras raras no intemperismo tropical. *In*: FORMOSO, Milton L.L.; NARDI, Lauro V. S.; HARTMANN, Léo A., eds. **Geoquímica dos Elementos Terras Raras no Brasil**. Rio de Janeiro, CPRM/DNPM, SBGQ. p. 109-120.
- GERTH, J. 1990. Unit cell dimensions of pure and trace metal-associated goethites. **Geochim. Cosmochim. Acta.**, 54(2):363-371.
- GIL, P.P.; PESQUERA, A.; VELASCO, F. 1992. X-ray diffraction, infrared and Mössbauer studies of Fe-rich carbonates. **Eur. J. Mineral.**, 4, p. 521-526.
- GOMES, C.B.; RUPERTI, E.; MORBIDELLI, L. 1990. Carbonatite complexes from Brazil: A review. **J. of South Amer. Earth Sciences.**, 3(1):51-63.
- HEINRICH, E.W. 1980. **The geology of carbonatites**. Robert E. Krieger Publishing Co. Huntington. N. York, editora. 585p.
- HODGSON, N.A. & Le BAS, M.J. 1992. The geochemistry and cryptic zonation of pyrochlore from San Vicente, Cape Verde Islands. **Mineral. Mag.**, 56(2):201-214.
- HOGARTH, D.D. 1989. Pyrochlore, apatite and amphibole: Distinctive minerals in carbonatite. *In*: BELL, Keith, ed. **Carbonatites: Genesis and Evolution**. p. 105-148.



- HORBE, A.M.C. 1990. **Evolução Mineralógica e Geoquímica do Perfil Laterítico Mineralizado em Sn, Zr, Nb, Y e ETR da Serra do Madeira, Pitinga (AM)**. Belém, Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências. 245p. Tese (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Centro de Geociências, UFPa, 1990.
- HORBE, A.M.C. & COSTA, M.L. 1994. Alumino-goethita em Latossolos Amazônicos. *In*: SIMP. GEOL. AMAZ. 4, Belém-PA, 1994. **Resumos Expandidos**. Belém, SBG. p. 172-175.
- INGRAM, R.L. 1971. Sieve analysis. *In*: CARVER, R.E., ed. **Procedures in sedimentary petrology**. p. 49-67.
- ISSA FILHO, A.; LIMA, P.R.A.S.; SOUZA, O.M. 1984. Aspectos da geologia do Complexo Carbonatítico do Barreiro, Araxá, MG, Brasil. *In*: COMPLEXOS carbonatíticos do Brasil: Geologia. São Paulo. CBMM. p. 21-43.
- ISSLER, R.S. 1980. Rare earthin the Seis Lagos Carbonatite Complex. **Mineração Metalurgia.**, 417: 20-23.
- JONES, B.G. & BOWSER, C.J. 1978. The mineralogy and related chemistry of lake sediments. *In*: LAKES - chemistry, geology, physics. Springer. New York. Verlag. p. 179-235.
- JUSTO, L.J.E.C. & SOUZA, M.M. 1984. Jazida de nióbio do Morro de Seis Lagos. *In*: SYMP. AMAZ., 2., Manaus-AM, 1984. **Anais...** Manaus, MME/DNPM. p. 467-472.
- KLEIN, C. & HURLBUT JR, C.S. 1992. **Manual of Mineralogy** After J. D. DANA. New York, John Wiley & Sons. 681p.
- KODINA, L.A.; & BOGACHEVA, M.P. 1992. Isotope data on organic matter in Holoceno Black Sea sediments and the nature of sapropel. **Geochemistry International.**, 29(4):63-73.

- KOTSCHOUBEY, B. & LEMOS, V. P. 1985. Considerações sobre a origem e a gênese das bauxitas da Serra dos Carajás. *In: SIMP. GEOL. AMAZ. II, 1985 Belém-PA. Anais... Belém, V. 3, p: 48-61.*
- KRONBERG, B.I.; FYFE, W.S.; LEONARDOS JR., O.H.; SANTOS, A.M. 1979. The chemistry of some Brazilian soils: Element mobility during intense weathering. *Chem. Geol.*, 24(3/4):211-229.
- LACHTER, E.R.; MATOS, R.T; COSTA NETO, A. 1986. Métodos comparados na determinação da estrutura de querogênios. *Química Nova.*, 9(2):141-145.
- LAPIDO LOUREIRO, F.E. & TAVARES, J.R. 1983. Duas novas ocorrências de carbonatitos: Mato Preto e Barra do Rio Itapirapuã. *Rev.Bras.Geoc.*, 13(1):7-11.
- LAVAL, M.; JOHAN.V; TOURLIERE, B. 1988. La carbonatite de Mabounié: exemple de formation d'gite residual à pyrochlore. *Chron. Rech. Min.*, (492):125-136.
- LELONG, F.; TARDY, Y.; GRANDIN, G.; TRECASSES, J.J.; BOULANGE, B. 1976. Pedogenesis, Chemical Weathering and Processes of Formation of Some Supergene Ore Deposits. *In: WOLF, K. H., ed. Handbook of Strata-bound and Stratiform Ore Deposits.* Amsterdam-Oxford, Elsevier, V.3, p. 93-173.
- LEMOS, R.L.; FONSECA, L.R.; MARTINS, L.P.B. 1988. Petrografia do complexo alcalino-ultramáfico-carbonatítico de Maicuru-PA. *In: CONG. BRAS. GEOL. 35, Belém-PA, 1988 Anais...Belém, SBG. p. 1400-1411.*
- LEMOS, V.P. 1990. **Evolução mineralógica e geoquímica de lateritos sobre rochas do complexo de Maicuru-Pará.** Belém, Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências. 256 p. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Centro de Geociências, UFPa, 1990.

- LEMOS, V. P. & COSTA, M. L. 1987. Partição dos terras raras no lateritos fosfáticos de Maicuru-PA. *In*: CONG. BRAS. GEOQ. 1, Porto Alegre-RS, 1987. **Anais...** Porto Alegre, SBGQ. V.1, p. 53-97.
- LEMOS, V.P. & COSTA, M.L. 1989. Aspectos mineralógicos dos lateritos da serra de Maicuru-PA. *In*: CONG. BRAS. GEOQ. 2, Rio de Janeiro-RJ, 1989. **Anais...** Rio de Janeiro, SBGQ. p. 375-384.
- LEMOS, V. P. & VILLAS, R. N. 1983. Alteração supergênica das rochas básicas do Grupo Grão Pará - Implicações sobre a gênese do depósito de bauxita de N5, Serra dos Carajás. **Rev. Bras. Geoc.**, 13(3):165-177.
- LIANXING, Gu. & McCLAY, K.R. 1992. Pyrite deformation in stratiform lead-zinc deposits of the Canadian Cordillera. **Mineral. Deposita.**, 27(3):169-181.
- LIMA, P.R.A.S. 1982. Mineralizações associadas a rochas alcalinas e carbonatitos. *In*: SEMANA De ESTUDOS GEOLÓGICOS, 23., Ouro Preto, 1982. **Livro de Resumos.** Ouro Preto, SICEG. 46p.
- LOTTERMOSER, B.G. 1990. Rare element mineralisation within th Mt. Weld carbonatite laterite, Western Australia. **LITHOS.**, 24:151-167.
- LOUREIRO, M.R.B. & CARDOSO, J.N. 1987. Avaliação geoquímica de um perfil estratigráfico do xisto do Vale do Paraíba (Tremembé). *In*: CONG. BRAS. GEOQ., 1., Porto Alegre, 1987. **Anais...** Porto Alegre, SBGq. V.2, p. 507-520.
- MARIANO, A.N. 1989. Nature of Economic Mineralization in Carbonatites and related Rocks. *In*: BELL, Keith, ed. **Carbonatites: Genesis and Evolution.** p. 149-176.
- MCKIE, D. 1962. Goyazite and florencite from two african carbonatites. **Mineral. Mag.**, 33:281-297.

- MIDDELBURG, J.J.; VAN DER WEIJDEN, C.H.; WOITTEZ, J.R.W. 1988. Chemical processes affecting the mobility of major, minor and trace elements during weathering of granitic rocks. **Chem. Geol.**, 68(3/4):253-273.
- MOORE, S.E.; FERREL JR., R.E.; AHARON, P. 1992. Diagenetic siderite and other ferroan carbonates in a modern subsiding marsh sequence. **J. Sedim. Petrol.**, 62(3):357-366.
- MORTEANI, G. & PREINFALK, C. 1996. REE distribution and REE carriers in laterites formed on the alkaline Complex of Araxá and Catalão (Brazil). *In*: JONES, A.P.; WALL, F.; WILLIAMS, C.T., eds. **Rare Earth Minerals**. London. Chapman & Hall, p.227-255. (Mineralogical Society Series).
- PEARSON, M.J. 1974 a. Sideritic concretions from the Westphalian of Yorkshire: a chemical investigation of the carbonate phase. **Mineral. Mag.**, 39(306):696-699.
- PEARSON, M.J. 1974 b. Magnesian siderite in carbonate concretions from argillaceous sediments in the Westphalian of Yorkshire. **Mineral. Mag.**, 39(306):700-704.
- PINEAU, F.; JAVOY, M.; ALLEGRE, C.J. 1973. Etude systématique des isotopes de l'oxygene, du carbone et du strontium dans carbonatites. **Geochem. Cosmochim. Acta.**, 37(7):2363-2377.
- PINHEIRO, S. S.; FERNANDES, P. E. C. A.; PEREIRA, E. P.; VASCONCELOS, E. G.; PINTO, A. C.; MONTALVÃO, R. M. G.; ISSLER, R.S.; DALL'AGNOLL, R.; TEIXEIRA, W.; FERNANDES, C. A. C. 1976. Geologia. *In*: BRASIL. Projeto RADAMBRASIL. **Folha NA.19 Pico da Neblina**; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, Cap.2, p.19-138. (Levantamento de Recursos Naturais, 11).
- POSTMA, D. 1981. Formation of siderite and vivianite and the pore-water composition of a recent bog sediment in Denmark. **Chem. Geol.**, 31(3):225-244.

- POSTMA, D. 1982. Pyrite and siderite formation in brackish and freshwater swamp sediments. **Am. J. Science.**, 282(8):1151-1183.
- RANKIN, P.C. & CHILDS, C.W. 1976. Rare-earth elements in iron-manganese concretions from some New Zealand soils. **Chem. Geol.**, 18(1):55-54.
- REEDMAN, J.H. 1984. Resources of phosphate, niobium, iron and other elements in residual soils over the Sukulu Carbonatite Complex, Southeastern Uganda. **Econ. Geol.**, 79(4):716-724.
- RODRIGUES, C.S. & LIMA, P.R.A.S. 1984. **Complexos Carbonatíticos do Brasil**. São Paulo, CBMM. 44p.
- ROESSING, H.M.; NEVES FILHO, J.P.; PERES, R.N.; COSTA, A.M.R. 1976. Pedologia. In: BRASIL, Projeto RADAMBRASIL. **Folha NA.19 Pico da Neblina**; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro. Cap. 2, p.201-206. (Levantamento de Recursos Naturais, 11).
- SCHROLL, E. 1976. **Analytische Geochemie. Band II: Grundlagen und Anwendungen**. Ferdinand Enke Verlag Stuttgart, 374p.
- SCHULZE, D.G. 1984. The influence of aluminum on iron oxides. VIII. Unit cell dimensions of Al-substituted goethites and estimation of Al from them. **Clays Clay Miner.**, 32(1):36-44.
- SILVA, A.B.; MARCHETTO, M.; SOUZA, O.M. 1979. Geologia do Complexo Carbonatítico de Araxá (Barreiro), Minas Gerais. **Mineração Metalurgia.**, (415):14-18.
- SILVA, F.C.F.; FIBEIRO, A.G.; SANTOS, R.R. 1976. Vegetação. In: BRASIL. Projeto RADAMBRASIL. **Folha Na.19 Pico da Neblina**; geologia, geomorfologia, pedologia e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, Cap. 4, p. 273-344. (Levantamento de Recursos Naturais, 11).

- SOUBIÉS, F.; MELFI, AL.J.; SARDELA, I.A. 1989. Mobilidade do zircônio na bauxitização de rochas alcalinas do maciço de Poços de Caldas. *In: CONG. BRAS. GEOQ.*, 2., Rio de Janeiro-RJ, 1989. **Anais...** Rio de Janeiro, SBGQ. p. 417-427.
- SOUBIÉS, F.; SUGUIO, K.; MARTIN, L.; LEPRUN, J.C.; SERVANT, M.; SIFEDDINE, A. 1991. The Quaternary lacustrine deposits of the Serra do Carajás (State of Pará, Brazil) - Ages and other preliminary results. **Bol. IG-USP.** 8:223-243. Publicação Especial.
- SPIRO, B.; GIBSON, P.J.; WHAW, H.F. 1993. Eogenetic siderites in lacustrine oil shales from Queensland, Australia, a stable isotope study. **Chem. Geol.**, 106(3/4):415-427.
- STIERS, W. & SCHWERTMANN, U. 1985. Evidence for manganese substitution in synthetic goethite. **Geochim. Cosmochim. Acta.**, 49:1909-1911.
- SVISERO, D.; MASCARENHAS, Y.P.; SIMONE, C.C.A.; FRANCISCONE, R. 1984. Mineralogia da ocorrência de florencita do município de Bicas-MG. *In: CONG. BRAS. GEOL.*, 33., Rio de Janeiro, 1984. **Anais...** Rio de Janeiro, SBG. V.4, p.4434--4445.
- TARKHANOV, A. V.; KULAYEV, A. R.; PETRIN, A. V.; KOZIR'KOV, V. D. 1992. The Zheltone chenske vanadium-scandium deposit. **International Geological Review.**, 34(5): 496-502.
- TAYLOR, G.F. 1987. **Gossan and ironstone evaluation in mineral exploration**; Course Notes. Rio de Janeiro. Brazilian Geochemistry Society. 179p
- TAYLOR, S.R. 1964. Trace element abundances and the chondritic earth model. **Geochim. Cosmoch. Acta.**, 28:1989-1998..
- TESSIER, A.; CAMPBELL, P.G.C.; BISSON, M. 1979. Sequential Extraction Procedure for the Speciation of particulate trace metals. **Anal. Chem.**, 51(7):844--851.
- TIMOFEYEVA, Z.V.; KUZNETSOVA, L.D.; DONTSOVA, Ye. i. 1976. Oxygen isotopes and siderite formation. **Geochem. Int.**, 13(5):101-112.

- TOPP, S.E.; SALBU, B.; ROALDSET, E.; JORGENSEN, P. 1985. Vertical distribution of trace elements in laterite soil (Suriname). **Chem. Geol.**, 47:159-174.
- TOURTELOT, H.A. 1979. Black shales - Its deposition and diagenesis. **Clays and Clay Minerals.**, 27(5):313-321.
- ULBRICH, H.H.G.J. & GOMES, C.B. 1981. Alkaline rocks from continental Brazil. **Earth Science Reviews.**, 17:135-154.
- VALARELLI, J.V. 1971. **O minério de nióbio, titânio e terras raras de Catalão-GO.** Tese de Livre Docência. USP, São Paulo, 104p.
- VARTIAINEN, H. & PAARMA, H. 1979. Geological characteristics of the Sokli carbonatite complex, Finlândia. **Econ. Geol.**, 74(5):1296-1306.
- VIEGAS FILHO, J.R. & BONOW, C.W. 1976. **Projeto Seis Lagos.** CPRM. 131 p. (Relatório Interno).
- WALL, F. & MARIANO, A.N. 1996. Rare earth minerals in carbonatites: a discussion centred on the Kangankunde Carbonatite, Malawi. *In*: JONES; WALL; WILLIAMS, eds. **Rare Earth Minerals.** London, Chapman & Hall. London. p. 193-225. (Mineralogical Society Series)
- WAMBEKE, L.V. 1971. The problem of cation deficiency in some phosphates due to alteration processes. **Am. Mineral.**, 56:1366-1384.
- WAMBEKE, L.V. 1977. The Karonge rare earth deposits, Republic of Burundi: New mineralogical-geochemical data and origin of the mineralization. **Mineral. Deposita.**, 12(3):373-380.
- WOOLEY, A.R. 1989. The spatial and temporal distribution of carbonatite. *In*: BELL, Keith, ed. **Carbonatites: Genesis and Evolution.** p.15-37.

- WOOLEY, A.R. & KEMPE, D.R.C. 1989. Carbonatites: Nomenclature, average chemical compositions, and element distribution. *In*: BELL, Keith., ed. **Carbonatites Genesis and Evolution**. p.1-14.
- YAMAMOTO, S. 1992. Diagenetic enrichment of manganese and other heavy metals in Hemipelagic Brown clay of the Palau Trench Floor. **J. Sedim. Petrol.**, 62(4):706-177.



**ANEXOS**

Tabela A1 - Composição química parcial (% peso) de amostras de superfície da crosta laterítica.

Amostra	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	TiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	CaO	MgO	PF	TOTAL
MS-28	74,77	1,10	0,58	6,38	0,03	0,07	0,12	0,05	12,35	95,45
MS-06	89,07	0,61	0,28	2,51	0,02	0,07	0,09	0,05	4,22	96,92
CB-79	86,64	0,35	0,32	1,71	0,03	0,10	0,13	0,10	8,14	97,52
CB-59	84,21	0,22	0,02	2,24	0,03	0,11	0,09	0,06	11,00	97,98
CB-78	85,75	0,48	0,31	1,94	0,04	0,09	0,08	0,05	5,46	94,20
CB-58	69,91	0,23	0,00	2,59	0,04	0,08	0,08	0,06	11,07	84,06
CB-114	83,78	1,24	1,56	5,36	0,02	0,14	0,10	0,10	12,58	61,17
CB-24	76,76	0,23	0,05	12,54	0,08	0,13	0,05	0,07	8,50	98,41
CB-21	76,34	0,22	1,90	2,10	0,03	0,08	0,21	0,07	10,58	91,53
CB-88	77,20	0,74	0,39	1,13	0,03	0,09	0,13	0,05	13,57	93,38
MS-220	80,63	0,73	0,03	5,83	0,02	0,12	0,09	0,05	11,60	99,10
CB-106	75,63	0,47	0,48	1,69	0,04	0,12	0,12	0,05	10,03	88,63
CB-64	75,48	1,12	0,33	2,61	0,04	0,07	0,12	0,05	11,08	90,90
CB-104	71,19	0,22	0,73	0,75	0,05	0,12	0,09	0,50	7,37	81,02
CB-102	74,05	1,23	0,08	3,53	0,03	0,10	0,15	0,08	12,53	91,78
CB-44	85,06	0,41	0,60	1,79	0,05	0,07	0,13	0,06	8,61	96,78
CB-112	83,78	0,20	0,01	1,14	0,04	0,07	0,10	0,60	11,55	97,49
CB-57	77,77	0,35	0,03	6,88	0,05	0,10	0,13	0,06	9,04	94,41
CB-103	85,92	0,60	0,70	2,32	0,03	0,07	0,09	0,06	7,25	97,04
CB-60	81,75	0,48	0,41	6,27	0,04	0,09	0,08	0,05	12,82	101,99
CB-40	61,76	1,51	0,79	11,10	0,04	0,09	0,13	0,06	11,80	87,28
CB-93	82,43	0,35	0,03	7,72	0,03	0,06	0,08	0,06	7,20	97,96
CB-85	78,63	0,45	0,21	3,40	0,04	0,08	0,05	0,06	11,57	94,49
CB-61	83,49	0,61	0,17	1,81	0,02	0,06	0,06	0,04	12,03	98,29
CB-48	83,06	0,47	0,08	0,60	0,04	0,10	0,06	0,07	11,19	95,67
MÉDIA	79,40	0,58	0,42	3,84	0,04	0,09	0,10	0,10	10,13	94,70
MÁXIMO	89,07	1,51	1,90	12,54	0,08	0,14	0,21	0,60	13,57	
MÍNIMO	42,60	0,20	0,01	0,60	0,02	0,06	0,05	0,04	4,22	
σ	6,25	0,37	0,47	3,16	0,013	0,022	0,035	0,137	2,446	

Teores &gt; 1,0%: Ba, Mn, Nb

Tabela A2 - Concentração dos elementos traços (ppm) nas amostras de superfície da crosta laterítica (continua)

Amostra	Th	Ag	B	Ba	Be	V	Co	Cr	Ga	Mn	Sr	Mo	Nb
CB-24	1016	<1	<5	71	<2	250	6	13	<5	960	46	<5	2,90%
CB-48	236	<1	<5	270	128	82	44	5	<5	2400	<5	<5	1580
CB-58	835	<1	<5	2,80%	<2	126	182	5	<5	9,90%	<5	<5	1,30%
CB-60	712	<1	<5	620	<2	410	<5	13	<5	1200	15	<5	0,98%
CB-61	2441	<1	<5	0,73%	<2	96	26	15	<5	1,30%	121	<5	0,68%
CB-85	1743	<1	<5	370	<2	200	5	22	<5	1080	96	<5	1,10%
CB-88	1247	<1	<5	0,52%	<2	136	14	8	<5	0,58%	273	320	0,52%
CB-93	1437	<1	<5	340	<2	400	14	5	<5	4500	<5	<1	2,90%
CB-102	2080	<1	<5	3400	<2	480	15	31	<5	320	288	64	0,91%
CB-103	850	<1	<5	970	26	320	26	10	<5	800	53	154	3000
CB-112	149	<1	<5	1580	106	24	36	<5	<5	1170	17	<5	1400
CB-114	61	<1	<5	11,40%	146	128	200	<5	<5	19%	1339	175	840
MS-06	1032	<1	<5	1120	<2	270	5	22	<5	550	66	<5	3700
MS-220	1531	<1	<5	330	<2	260	14	<5	<5	780	<5	<5	1,10%
CB-40	3160	-	-	2420	8	1250	<5	240	-	210	250	96	2,70%
CB-42	2370	-	-	300	4	480	58	170	-	2700	6	68	1,10%
CB-44	3340	-	-	240	8	570	18	200	-	280	<5	62	0,82%
CB-59	2720	-	-	210	12	300	35	180	-	940	<5	57	0,63%
CB-64	3430	-	-	1%	12	960	38	230	-	1,80%	200	96	0,51%
CB-70	2020	-	-	4840	2	270	42	160	-	0,88%	32	65	1,50%
CB-78	1410	-	-	230	12	600	11	240	-	210	26	90	3340
CB-79	1490	-	-	910	<2	330	37	210	-	2800	43	72	2460
CB-82	0,55%	-	-	1270	2	1170	48	130	-	140	47	90	2,60%
CB-83	1580	-	-	470	4	860	24	190	-	580	26	72	2,50%
CB-104	2370	-	-	720	<2	360	31	170	-	1050	21	65	1,60%
CB-21	530	-	-	720	2	<50	27	250	-	840	120	57	900
MÉDIA	0,17%	<1	<5	0,71%	<20	399	<37	<98	<5	1,38%	<120	<63	1,08%

- não determinado

Tabela A2 - Concentração dos elementos traços (ppm) nas amostras de superfície da crosta laterítica (conclusão).

Amostra	Ni	Pb	Sn	Sc	Y	Zr	Cu	Zn
CB-24	< 5	840	340	360	< 10	260	< 5	344
CB-48	< 5	260	< 10	600	540	70	< 5	2262
CB-58	< 5	760	< 10	210	350	250	< 5	1615
CB-60	< 5	840	440	119	< 10	1200	< 5	187
CB-61	< 5	860	460	176	730	120	< 5	1615
CB-85	< 5	890	< 10	240	320	420	< 5	831
CB-88	< 5	1180	< 10	210	1080	88	< 5	1385
CB-93	< 5	520	230	210	310	240	< 5	1500
CB-102	< 5	1220	320	260	440	430	< 5	125
CB-103	< 5	430	180	400	580	430	< 5	1015
CB-112	< 5	400	< 10	184	1900	77	< 5	1408
CB-114	< 5	330	210	119	420	540	< 5	2748
MS-06	< 5	670	< 10	210	30	260	< 5	125
MS-220	< 5	400	420	184	320	1020	< 5	425
CB-40	-	720	330	194	33	1100	-	< 200
CB-42	-	370	78	310	11	150	-	1930
CB-44	-	720	50	194	< 5	140	-	1020
CB-59	-	495	116	240	29	110	-	2320
CB-64	-	1044	116	200	36	710	-	998
CB-70	-	540	116	440	52	100	-	1940
CB-78	-	250	116	126	5	240	-	520
CB-79	-	660	44	240	21	200	-	< 200
CB-82	-	1250	640	560	29	410	-	< 200
CB-83	-	800	170	166	14	840	-	1180
CB-104	-	1040	136	540	26	110	-	2420
CB-21	-	570	26	194	120	86	-	< 200
MÉDIA	< 5	694	< 177	265	< 286	369	< 5	< 1105

- não determinado

Tabela A3 - Composição química parcial do perfil do furo 1 (crosta). Óxidos em % peso.

Amostra Prof (m)	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	TiO <sub>2</sub>	MnO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
5	1,80	87,83	0,97	1,76	0,08	1,33
10	1,29	64,20	0,86	3,76	0,04	2,99
15	1,29	80,42	0,42	2,59	0,26	1,37
20	11,27	77,60	0,02	2,29	0,26	1,37
25	0,68	53,97	0,06	0,35	27,43	0,33
35	0,20	55,40	0,12	0,41	28,79	0,09
40	2,00	75,84	0,07	0,15	7,35	0,11
45	2,30	88,54	0,06	0,44	0,35	0,35
55	0,99	84,66	0,06	0,85	0,35	1,31
85	1,40	83,60	0,09	0,05	0,35	0,23
90	2,59	81,48	0,05	0,32	0,28	0,41
MÉDIA	3,35	75,77	0,25	1,18	5,99	0,90
MÉDIA (1)	--	79,40	0,42	3,84	2,97	1,37
MÉDIA (2)	60,32 <sup>1</sup>	8,04 <sup>1</sup>	0,43 <sup>1</sup>	0,95 <sup>1</sup>	0,12 <sup>1</sup>	28,6 <sup>1*</sup>

\* ppm

<sup>1</sup> TAYLOR (1964)

(1) Média das crostas superficiais

(2) Média Crustal

-- não analisado

Tabela A4 - Concentrações dos elementos traços (ppm) nas amostras do perfil do furo 1 (Crosta)

Amostra (Prof.m)	V	Pb	Zn	Sr	Zr	Y	Rb	Cr	Ba	Co	Mo	Sc	Sn	Be	Th
5	-	-	-	68	94	26	44	--	--	--	--	--	--	--	--
10	644	1603	198	204	353	27	44	31	1138	10	33	198	200	5	1186
15	221	652	3785	67	53	27	44	13	630	41	58	455	170	12	914
20	243	648	3718	61	39	26	44	12	790	31	58	335	205	15	505
25	129	445	1631	51	56	26	45	<10	4,1%	360	38	615	<5	25	716
35	52	330	3748	10	36	26	45	<10	4,1%	260	31	315	<5	12	260
40	60	223	3450	--	35	26	45	19	1771	47	37	530	<5	24	250
45	--	--	--	10	--	26	45	--	--	--	--	--	--	--	--
55	286	801	3840	22	48	25	45	16	771	64	46	440	<5	19	884
85	119	236	1775	9	55	27	44	16	312	60	68	500	<5	14	1192
90	139	510	2594	14	37	27	44	20	412	53	68	550	<5	26	412
MÉDIA	210	605	2748	51,6	61,8	26,3	44,4	<16,3	9758	102,9	48,5	437,5	<67,2	16,9	702

-- não analisado

Tabela A5 - Concentração dos elementos traços (ppm) nas amostras do perfil do furo 1 (Crosta)

Amostra (Prof.m)	V	Pb	Zn	Sr	Zr	Y	Rb	Cr	Ba	Co	Mo	Sc	Sn	Be	Th
5	-	-	-	68	94	26	44	--	--	--	--	--	--	--	--
10	644	1603	198	204	353	27	44	31	1138	10	33	198	200	5	1186
15	221	652	3785	67	53	27	44	13	630	41	58	455	170	12	914
20	243	648	3718	61	39	26	44	12	790	31	58	335	205	15	505
25	129	445	1631	51	56	26	45	<10	4,1%	360	38	615	<5	25	716
35	52	330	3748	10	36	26	45	<10	4,1%	260	31	315	<5	12	260
40	60	223	3450	--	35	26	45	19	1771	47	37	530	<5	24	250
45	--	--	--	10	--	26	45	--	--	--	--	--	--	--	--
55	286	801	3840	22	48	25	45	16	771	64	46	440	<5	19	884
85	119	236	1775	9	55	27	44	16	312	60	68	500	<5	14	1192
90	139	510	2594	14	37	27	44	20	412	53	68	550	<5	26	412
MÉDIA	210	605	2748	51,6	61,8	26,3	44,4	<16,3	9758	102,9	48,5	437,5	<67,2	16,9	702
-- não analisado															

Tabela A6 - Composição química parcial do furo 3. Óxidos e perda ao fogo (PF) em % peso.

Horizonte	Amostra (Prof. m)	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	TiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	MgO	CaO	MnO	PF
Aluminoso	5	4,10	25,56	40,60	2,50	0,78	--	--	--	--	--	--
	10	6,55	44,36	13,37	1,18	1,84	0,04	0,62	0,27	0,01	1,63	25,74
	15	16,00	40,08	16,51	0,68	1,89	0,46	0,47	0,03	0,01	1,32	21,54
Argiloso	20	39,40	38,25	4,09	0,50	1,11	0,26	0,50	0,07	0,01	0,10	15,54
	25	44,30	29,47	11,34	0,93	1,46	1,31	0,40	0,07	0,02	0,35	11,30
	30	49,05	28,42	9,26	0,80	1,25	1,29	0,60	0,07	0,02	0,31	10,79
	40	44,80	27,32	11,62	0,50	0,78	3,55	0,62	0,03	0,08	0,24	10,65
	45	48,30	25,18	11,58	0,50	1,11	0,86	0,35	0,06	0,01	0,32	10,04
	50	46,75	25,58	13,49	0,80	1,35	1,19	0,50	0,12	0,02	0,36	10,43
	55	51,85	23,82	9,75	0,37	0,88	3,04	0,47	1,23	0,07	0,25	8,38
Transição	60	51,60	22,31	11,02	0,69	1,00	2,52	0,52	1,21	0,11	1,21	8,76
	70	56,25	28,05	6,60	0,56	0,32	2,26	2,87	1,57	3,42	0,17	4,81
	75	60,95	18,16	5,53	0,63	0,50	6,45	8,99	1,78	3,29	0,16	1,36
Rx. Mãe	95	53,30	28,05	4,51	1,50	0,96	7,89	2,67	1,03	1,82	0,10	4,73
	105	55,40	25,50	4,64	0,44	0,02	7,68	2,15	1,24	3,13	0,17	5,72

-- não determinado



Tabela A7 - Concentração dos elementos traços (ppm) nas amostras do perfil do furo 3.

Horizonte	Amostra (Prof. m)	Ba	Cu	Co	Zn	Mo	V	Sc	Pb	Sn
Aluminoso	5	--	--	124	--	128	--	540	--	<5
	10	--	37	--	309	--	278	--	200	--
	15	0,92%	44	45	316	29	147	85	229	<5
Argiloso	20	--	20	<5	173	18	73	63	100	<5
	25	--	33	--	289	--	110	--	67	--
	30	--	37	<5	589	22	147	50	100	<5
	40	--	33	<5	258	<5	37	40	67	<5
	45	1644	60	34	285	<5	37	37	67	<5
	50	--	--	32	316	<5	147	43	--	<5
	55	--	30	--	671	--	74	--	67	--
Transição	60	--	33	<5	541	<5	69	38	67	<5
	70	0,51%	30	<5	119	<5	69	33	67	<5
	75	--	--	<5	150	<5	37	33	--	<5
Rx. Mãe	95	2,1%	--	<5	679	<5	278	44	--	<5
	105	--	--	<5	289	<5	257	44	--	<5

Horizonte	Amostra (Prof. m)	Ni	Be	Cr	Th	Rb	Y	Sr	Zr	Nb
Aluminoso	5	--	20	--	--	45	26	2221	548	1393
	10	57	--	24	--	44	27	431	1140	540
	15	38	12	21	110	47	27	198	669	201
Argiloso	20	38	11	10	--	44	27	228	1027	219
	25	29	--	14	--	50	26	90	465	97
	30	38	12	14	--	46	27	418	414	143
	40	29	14	17	--	46	27	34	451	51
	45	33	14	28	38	49	26	62	457	122
	50	--	18	--	--	--	--	--	--	--
	55	38	--	21	--	56	27	93	547	62
Transição	60	33	30	14	--	57	27	84	423	38
	70	29	<2	17	<5	52	27	472	321	35
	75	--	3	--	--	--	--	--	--	--
Rx. Mãe	95	--	3	--	102	56	26	450	925	342
	105	--	3	--	--	54	26	452	1179	335

-- não determinado