



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

**“ GEOQUÍMICA MULTI-ELEMENTAR DE CROSTAS E SOLOS
LATERÍTICOS DA AMAZÔNIA ORIENTAL”.**

TESE APRESENTADA POR

ERIC SANTOS ARAÚJO

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

Data de Aprovação 16/12/1994

Comitê de Tese:

MARCONDES LIMA DA COSTA (Orientador)

SÔNIA MARIA BARROS DE OLIVEIRA

CLÁUDIO GERHEIM PORTO

JOSÉ FRANCISCO DA FONSECA RAMOS

BHASKARA RAO ADUSSUMILLI

BELÉM

AGRADECIMENTOS :

- À COMPANHIA DE PESQUISA E CPM DE RECURSOS MINERAIS, PELO APOIO FINANCEIRO NO DESENVOLVIMENTO DOS TRABALHOS;

AO PROFESSOR DR. MARCONDES LIMA DA COSTA PELA ORIENTAÇÃO; NAS DIFICULDADES ENCONTRADAS

À BANCA EXAMINADORA PELAS SUGESTÕES DURANTE O EXAME DE QUALIFICAÇÃO

À ROSANGELA, ERIC FILHO, ANA CAROLINA E JULIA CHISTINA PELO APOIO E INCENTIVO;

AOS COLEGAS RÔMULO SIMÕES ANGÉLICA, XAFI DA SILVA JORGE JOÃO E EDÉZIO BUENANO MACAMBIRA, DA CPM-BE E IVAN WILSON B. OLIVEIRA DA CPM-GO POR TEREM COLABORADO DE DIFERENTES FORMAS NA ELABORAÇÃO DA MONOGRAFIA;

A DOCEGEO POR TER PERMITIDO A COLETA DE AMOSTRAS E FORNECIDO APOIO LOGÍSTICO NAS ÁREAS DO TN-6 E SERRA DOS CARAJÁS;

AOS TÉCNICOS DE MINERAÇÃO PEDRO RICARDO SOARES BISPO E SONIVALDO FERREIRA DA SILVA PELO APOIO DE CAMPO E AOS DESENHISTAS LUIS CARLOS DE MELLO E VALDIVINO PATROCÍNIO DA SILVA PELA REPRODUÇÃO GRÁFICA.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	i
LISTADE ILUSTRAÇÕES.....	xii
RESUMO.....	1
ABSTRACT.....	5
1. INTRODUÇÃO.....	09
1.1 - A IMPORTÂNCIA DOS LATERITOS.....	09
1.2 - CONCEITUAÇÃO.....	12
1.3 - DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA DOS LATERITOS.....	14
1.3.1-mundial.....	14
1.3.2 - Brasil.....	15
1.4-GEOQUÍMICA DOS LATERITOS NÍVEL ATUAL DE CONHECIMENTO.....	21
1.5 - OBJETIVOS.....	24
2- ASPECTOS GERAIS SOBRE OS ALVOS.....	26
2.1 - SERRA DO TIRACAMBU-(BAUXITA E CAULIM).....	26
2.1.1 - Localização e Aspectos Fisiográficos.....	26
2.1.2 - Estudos Anteriores.....	30
2.2 - SERRA DOS CARAJÁS (FERRO, COBRE ,ALUMÍNIO E OURO).....	31
2.2.1 - Localização e Aspectos Fisiográficos.....	31
2.2.2 - Estudos Anteriores.....	33
2.3 - SERRA DO PIROCAUA-(OURO-FOSFATOS E MANGANÊS).....	34
2.3.1 - Localização e Aspectos Fisiográficos.....	34
2.3.2 - Estudos Anteriores.....	35

3 - MATERIAIS E MÉTODOS.....	38
3.1 - PRÉ-CAMPO.....	38
3.2 - CAMPO.....	38
3.2.1 - Mapeamento Geológico.....	39
3.2.2 - Amostragem.....	39
3.2.2.1 - Alvo Serra do Tiracambu.....	39
3.2.2.2 - Alvo Serra dos Carajás.....	39
3.2.2.3 - Alvo Serra do Pirocaua.....	42
3.3 - PÓS-CAMPO.....	42
3.3.1 - Preparação das Amostras.....	42
3.3.2 - Análises Petrográficas.....	45
3.3.3 - Análises Mineralógicas.....	45
3.3.4 - Análises Químicas.....	46
3.4 - TRATAMENTO DOS DADOS.....	48
4 - SERRA DO TIRACAMBU-(TN-6): RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	53
4.1 - ASPECTOS GEOLÓGICOS.....	53
4.2 - MINERALOGIA.....	57
4.3 - GEOQUÍMICA.....	60
4.3.1 - Composição Química.....	60
4.3.2 - Elementos Traços.....	65
4.3.2.1 -Elementos Terras Raras.....	67
4.3.3 - Correlações e Associações Geoquímicas.....	71

5 - SERRA DOS CARAJÁS-(N-5):RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	76
5.1 - ASPECTOS GEOLÓGICOS.....	76
5.2 - MINERALOGIA.....	78
5.3 - GEOQUÍMICA.....	80
5.3.1 - Composição Química.....	80
5.3.2 - Elementos Traços.....	85
5.3.2.1 -Elementos Terras Raras.....	88
5.3.3 - Correlações e Associações Geoquímicas.....	92
6 - SERRA DOS CARAJÁS-(N-1): RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	98
6.1 - ASPECTOS GEOLÓGICOS.....	98
6.2 - MINERALOGIA.....	101
6.3 - PETROGRAFIA.....	102
6.4 - GEOQUÍMICA.....	106
6.4.1 - Composição Química.....	106
6.4.2 - Elementos Traços.....	112
6.4.2.1 - Elementos Terras Raras.....	114
6.4.3 - Correlações e Associações Geoquímicas.....	119
7 - AURIZONA: RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	124
7.1 - SERRA DO PIROCAUA:(PLATÔ-LATERITOS MATUROS).....	124
7.1.1 - Aspectos Geológicos.....	124
7.1.2 - Mineralogia.....	126
7.1.3 - Geoquímica.....	129
7.1.3.1 - Composição Química.....	129
7.1.3.2 - Elementos Traços.....	132

7.1.3.3 - Elementos Terras Raras.....	137
7.1.3.4 - Correlações e Associações Geoquímicas.....	143
7.2 - O MORRO ADJACENTE: LATERITOS IMATUROS.....	150
7.2.1 - Aspectos Geológicos.....	150
7.2.2 - Mineralogia.....	150
7.2.3 - Geoquímica.....	154
7.2.3.1 - Composição Química.....	154
7.2.3.2 - Elementos Traços.....	157
7.2.3.3 - Elementos Terras Raras.....	159
7.2.4.3 - Correlações e Associações Geoquímicas.....	162
8 - DOMÍNIOS DAS ASSOCIAÇÕES GEOQUÍMICAS.....	167
8.1 - DOS LATOSSOLOS.....	167
8.1.1 - Alvo Serra do Tiracambu-(TN-6).....	167
8.1.1.1 - Principais domínios químicos e mineralógicos.....	167
8.1.1.2 - Distribuição Areal das associações geoquímicas.....	169
8.1.1.3 - Considerações Finais.....	180
8.1.2 - Alvo Serra dos Carajás-(N-5).....	180
8.1.2.1 - Principais domínios químicos e mineralógicos.....	180
8.1.2.2 - Distribuição Areal das associações geoquímicas.....	182
8.1.2.3 - Considerações Finais.....	190
8.2 - DAS CROSTAS.....	190
8.2.1 - Alvo Serra dos Carajás-(N-1).....	190
8.2.1.1 - Principais domínios químicos e mineralógicos.....	190

8.2.1.2 - Distribuição Areal das associações geoquímicas.....	191
8.2.1.3 - Considerações Finais.....	199
8.2.2 - Alvo Aurizona-serra do Pirocaua(Platô-Lateritos maduros).....	199
8.2.2.1 - Principais domínios químicos e mineralógicos.....	199
8.2.2.2 - Distribuição Areal das associações geoquímicas.....	203
8.2.2.3 - Considerações Finais.....	208
8.3 - LATERITOS IMATUROS	210
8.3.1 - Morro Adjacente.....	210
8.3.1.1 - Principais domínios químicos e mineralógicos.....	210
8.3.1.2- Distribuição Areal das associações geoquímicas.....	210
8.3.1.3 - Considerações Finais.....	215
9 - CONCLUSÕES	218
9.1- DE ORDEM GEOLÓGICA E MINERALÓGICA.....	218
9.2 -DE ORDEM QUÍMICA.....	220
9.3 -DE ORDEM DAS ASSOCIAÇÕES GEOQUÍMICAS.....	224
9.4 -AVALIAÇÕES FINAIS.....	225
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	227
ANEXOS:	
ANEXO I - Composição mineralógica (% em peso) das amostras de solos do alvo (TN-6) da serra do Tiracambu-(AMOSTRA TOTAL).....	240
ANEXO II - Composição mineralógica (% em peso) das amostras de solos do alvo TN-6 da serra do Tiracambu)- (FRAÇÃO 200 mesh).....	241
ANEXO III - Composição mineralógica (% em peso) das amostras de Solo do alvo TN-6 da serra do Tiracambu-(FRAÇÃO -80 + 200 mesh).....	242

ANEXO IV - Matriz de correlação das amostras de solo do alvo TN-6 da serra do Tiracambu-(AMOSTRA TOTAL).....	243
ANEXO V - Matriz de correlação das amostras de solo alvo TN-6 da serra do Tiracambu -(FRAÇÃO - 200 mesh)	244
ANEXO VI - Matriz de correlação das amostras de solo do alvo TN-6 da serra do Tiracambu-(FRAÇÃO -80 + 200 mesh)	245
ANEXO VII - Resultados de análises químicas do alvo TN-6 da serra do Tiracambu- (AMOSTRA TOTAL).....	246
ANEXO VIII - Resultados de análises químicas do alvo TN-6 da serra do Tiracambu (FRAÇÃO - 200 mesh).....	251
ANEXO IX - Resultados de análises químicas do alvo TN-6 da serra do Tiracambu (FRAÇÃO -80 +200 mesh).....	256
ANEXO X - Composição mineralógica (% em peso) das amostras de solo do subalvo N-5 na serra dos Carajás (AMOSTRA TOTAL).....	261
ANEXO XI - Composição mineralógica (% em peso) das amostras de solo do subalvo N-5 na serra dos Carajás(FRAÇÃO - 200 mesh)	262
ANEXO XII - Composição mineralógica (% em peso) das amostras de solo do subalvo N-5 na serra dos Carajás(FRAÇÃO -80 + 200 mesh).....	263
ANEXO XIII - Matriz de correlação das amostras de N-5(serra dos Carajás) (AMOSTRA TOTAL)	264
ANEXO XIV - Matriz de correlação das amostras de N-5(serra dos Carajás) (FRAÇÃO - 200 mesh)	265
ANEXO XV - Matriz de correlação das amostras de N-5(serra dos Carajás) (FRAÇÃO -80 + 200 mesh)	266
ANEXO XVI - Resultados de análises químicas do subalvo N-5 da serra dos Carajás (AMOSTRA TOTAL N=56).....	267
ANEXO XVII - Resultados de análises químicas do subalvo N-5 da serra dos Carajás (FRAÇÃO - 200 mesh N=56).....	273
ANEXO XVIII - Resultados de análises químicas do subalvo N-5 da serra dos Carajás (FRAÇÃO -80 + 200 mesh).....	279

ANEXO XIX - Composição mineralógica (% em peso) das amostras do Alvo N-1 da crosta estratificada na serra dos Carajás - Amostra Total (N=62).....	285
ANEXO XX - Composição mineralógica (% em peso) das amostras do Alvo Serra dos Carajás subalvo N-1 - Amostra Total crosta pisolítica (N=17).....	287
ANEXO XXI - Composição mineralógica (% em peso) das amostras da crosta cavernosa de N-1.- Amostra Total (N=91).....	288
ANEXO XXII - Matrix de correlação da crosta estratificada de N-1 (serra dos Carajás).....	290
ANEXO XXIII - Matriz de correlação da crosta pisolítica de N-1 (serra dos Carajás).....	291
ANEXO XXIV - Matriz de correlação da crosta cavernosa de N-1 (serra dos Carajás).....	292
ANEXO XXV - Resultados de análises químicas do subalvo N-1 na serra dos Carajás - Crosta estratificada de N-1 - Amostra Total. (N=63).....	293
ANEXO XXVI - Resultados de análises químicas da crosta pisolítica de N-1 (serra do Carajás)- Amostra Total (N=17).....	300
ANEXO XXVII - Resultados de análises químicas da crosta cavernosa de N-1 (serra dos Carajás)N=91.....	302
ANEXO XXVIII - Composição mineralógica (% em peso) das amostras da crosta laterítica da serra do Pirocaua (AMOSTRA TOTAL).....	312
ANEXO XXIX - Composição mineralógica (% em peso) das amostras dos solos sobre a crosta laterítica da serra do Pirocaua.(AMOSTRA TOTAL).....	313
ANEXO XXX - Matriz de correlação do conjunto das amostras(crosta e solo) do alvo serra do Pirocaua (AMOSTRA TOTAL)	314
ANEXO XXXI - Matriz de correlação das rochas do alvo serra do Pirocaua(AMOSTRA TOTAL).....	315
ANEXO XXXII - Matriz de correlação dos solos do alvo serra do Pirocaua (AMOSTRA TOTAL)	316
ANEXO XXXIII - Resultados de análises químicas do alvo Serra do Pirocaua (AMOSTRA TOTAL N=49).....	317

ANEXO XXXIV - Resultados analíticos dos solos do alvo Serra do Pirocaua (AMOSTRA TOTAL N=22)	322
ANEXO XXXV - Composição mineralógica (% em peso) das amostras dos lateritos imaturos do morro adjacente à serra do Pirocaua (AMOSTRA TOTAL N=18).....	324
ANEXO XXXVI - Composição mineralógica (% em peso) das amostras dos lateritos imaturos do morro adjacente à serra do Pirocaua (FRAÇÃO -80 + 200 mesh N=18).....	325
ANEXO XXXVII - Matriz de correlação dos solos do morro adjacente à serra. do Pirocaua (AMOSTRA TOTAL).....	326
ANEXO XXXVIII - Matriz de correlação dos solos do morro adjacente à serra do Pirocaua (FRAÇÃO -80 + 200 mesh).....	327
ANEXO XXXIX - Resultados de análises químicas das amostras de solo do morro adjacente á serra do Pirocaua (AMOSTRA TOTAL N=17).....	328
ANEXO XL - Resultados de análises químicas das amostras de solo do morro adjacente á serra do Pirocaua (FRAÇÃO-80+200 mesh).....	331
ANEXO XLI - Dendrograma "Modo Q" do alvo Serra do Tiracambu- (TN-6) (Amostras de solo)- (AMOSTRA TOTAL).....	333
ANEXO XLII - Dendrograma "Modo Q" do alvo Serra do Tiracambu- (TN-6) (Amostras de solo)- (FRAÇÃO - 200 mesh).....	334
ANEXO XLIII - Dendrograma "Modo Q" do alvo Serra do Tiracambu- (TN-6) (Amostras de solo)- (FRAÇÃO -80+ 200 mesh).....	335
ANEXO XLIV - Valores anômalos de 1a e 2a ordens no TN-6 - Serra do Tiracambu(AMOSTRA TOTAL E FRAÇÕES) e respectivo número de amostras N=43.....	336
ANEXO XLV - Mapa de distribuição do Al_2O_3 - P_2O_5 -Mn-Cu-V-Sr no alvo Serra do Tiracambu-(TN-6)-(FRAÇÃO -80 + 200 mesh).....	337
ANEXO XLVI - Mapa de distribuição do Fe_2O_3 -Ba- As-Zr- no alvo- Serra do Tiracambu-(TN-6)-(FRAÇÃO -80 + 200 mesh).....	338
ANEXO XLVII - Mapa de distribuição do TiO_2 -Sc-Y-Nb-Cr-Ga- no alvo Serra do Tiracambu-(TN-6)-(FRAÇÃO -80 + 200 mesh).....	339

ANEXO XLVIII - Mapa de distribuição dos ETRL no alvo Serra do Tiracambu-(TN-6)-(FRAÇÃO -80 + 200 mesh).....	340
ANEXO XLIX - Mapa de distribuição dos ETRP no alvo Serra do Tiracambu-(TN-6)-(FRAÇÃO -80 + 200 mesh).....	341
ANEXO L - Dendrograma "Modo Q" das amostras de solo no alvo serra dos Carajás(N-5)-(AMOSTRA TOTAL).....	342
ANEXO LI - Dendrograma "Modo Q" das amostras de solo no alvo serra Carajás(N-5)-(FRAÇÃO - 200 mesh).....	343
ANEXO LII - Dendrograma "Modo Q" das amostras de solo no alvo serra Carajás(N-5)-(FRAÇÃO -80 + 200 mesh)	344
ANEXO LIII - Valores anômalos de 1ª e 2ª ordens no N-5 - Serra dos Carajás(AMOSTRA TOTAL E FRAÇÕES) e respectivo número de amostras N=56.....	345
ANEXO LIV - Mapa de distribuição do Fe ₂ O ₃ -Mn-V-Cr-Sc-As-Cu no Alvo serra dos Carajás-(N-5)-(FRAÇÃO -80 + 200 mesh).....	346
ANEXO LV - Mapa de distribuição do TiO ₂ -Ga-Al ₂ O ₃ -Nb no alvo serra dos Carajás-(N-5)-(FRAÇÃO -80 + 200 mesh).....	347
ANEXO LVI - Mapa de distribuição do Zr-Y-Sr-Ba no alvo serra dos Carajás-(N-5)-(FRAÇÃO -80 + 200 mesh).....	348
ANEXO LVII - Mapa de distribuição dos ETRL no alvo serra dos Carajás-(N-5)-(FRAÇÃO -80 + 200 mesh).....	349
ANEXO LVIII - Mapa de distribuição dos ETRP no alvo serra dos Carajás-(N-5)-(FRAÇÃO -80 + 200 mesh).....	350
ANEXO LIX - Mapa de distribuição do TiO ₂ -Al ₂ O ₃ -Ga-Sr no alvo serra dos Carajás-(N-5) (FRAÇÃO - 200 mesh).....	351
ANEXO LX - Mapa de distribuição do Fe ₂ O ₃ - Mn - V - Cr no alvo serra dos Carajás (N-5) (FRAÇÃO - 200 mesh.....	352
ANEXO LXI - Mapa de distribuição do -Y-Sc-As-Nb no alvo serra dos Carajás-(N-5) (FRAÇÃO - 200 mesh).....	353
ANEXO LXII - Mapa de distribuição dos ETR no alvo Serra dos Carajás-(N-5)(FRAÇÃO - 200 mesh).....	354

ANEXO LXIII - Dendrograma "Modo Q" das amostras da crosta de N-1 na serra dos Carajás.....	355
ANEXO LXIV - Valores anômalos de 1ª e 2ª ordens em N-1 Serra dos Carajás (AMOSTRA TOTAL) e respectivo número de amostras.....	356
ANEXO LXV - Dendrograma "Modo Q" das amostras do Alvo Aurizona (Serra do Pirocaua-AMOSTRA TOTAL).....	357
ANEXO LXVI - Valores anômalos de 1ª e 2ª ordens no alvo Aurizona (serra do Pirocaua) e respectivo número de amostras N=49.....	358
ANEXO LXVII - Dendrograma "Modo Q" das amostras de solo do Morro adjacente (AMOSTRA TOTAL E FRAÇÃO -80 + 200 mesh).....	359
ANEXO LXVIII - Valores anômalos dos elementos químicos do Alvo Aurizona (lateritos imaturos) e respectivo número de amostras N=19.....	360

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURAS:

Figura 1 - Distribuição das regiões de bauxita no mundo(Bardossy,1982).....	17
Figura 2 - Distribuição geográfica das principais regiões Lateríticas e corpos isolados na Amazônia Brasileira (COSTA,1990)	20
Figura 3 - Mapa de Localização dos alvos do Projeto Lateritinga.....	28
Figura 4 - Mapa de Localização do alvo serra do Tiracambu(TN-6).....	29
Figura 5 - Mapa do alvo serra dos Carajás, destacando a localização dos alvos N-5 e N-1.....	32
Figura 6 - Mapa de Localização do alvo Aurizona com indicação da serra do Pirocaua e do morro adjacente.....	36
Figura 7 - Mapa de amostragem : Alvo Tiracambu-(TN-6).....	40
Figura 8 - Mapa de amostragem do alvo serra dos Carajás- (N-5).....	41
Figura 9 - Mapa de amostragem Geoquímica: Alvo serra dos Carajás -(N-1).....	43
Figura 10- Mapa de amostragem do alvo Aurizona.....	44
Figura 11- Aspectos geológicos (em superfície e perfis) área estudada na Serra do Tiracambu-(TN-6).....	54
Figura 12- Difrátograma de Raios-X, da amostra EA-L-1611 de solo do alvo serra do Tiracambu-(TN-6).....	59
Figura 13- Diagramas triangulares SiO_2 - Al_2O_3 - Fe_2O_3 das amostras de solo do alvo serra do Tiracambu(TN-6).....	64
Figura 14- Curvas de distribuição dos ETR normalizados pelo padrão condrito (Evensen et al.1978) a amostra total e nas frações analisadas no alvo serra do Tiracambu (TN-6).....	69
Figura 15- Amostras selecionadas com Ce / Ce^* e Eu / Eu^* das amostras de solo do alvo serra do Tiracambu (TN-6).....	70
Figura 16 - Dendrograma modo " R " das amostras de solo do alvo serra do Tiracambu (TN-6) (AMOSTRA TOTAL).....	73

Figura 17 - Dendrograma modo " R " das amostras de solo do alvo serra do Tiracambu (TN-6) (FRAÇÃO - 200 mesh).....	74
Figura 18 - Dendrograma modo " R " das amostras de solo do alvo serra do Tiracambu (TN-6) (FRAÇÃO -80 + 200 mesh).....	75
Figura 19 - Aspectos geológicos do Platô N-5- Carajás, correspondente a área aqui estudada, segundo COSTA(1982).....	77
Figura 20 - Diagrama triangular SiO_2 - Al_2O_3 - Fe_2O_3 das amostras de solo coletadas no alvo serra dos Carajás N-5.....	84
Figura 21 - Diagrama triangular SETRL - Al_2O_3 - Fe_2O_3 das amostras de solo coletadas no alvo serra os Carajás N-5.....	89
Figura 22 - Curvas de distribuição dos ETR normalizados pelo padrão condrito (Evensen et al.1978) da amostra total e frações analisadas no alvo serra dos Carajás N-5	90
Figura 23 - Amostras selecionadas com anomalias de $\text{Ce}(\text{Ce}/\text{Ce}^*)$ positivas na amostra total e nas frações analisadas dos solos do alvo serra dos Carajás - N-5.....	91
Figura 24 - Dendrograma Modo " R " das amostras de solo na serra dos Carajás-(N-5)- (AMOSTRA TOTAL).....	94
Figura 25 - Dendrograma Modo " R " das amostras de solo na serra dos Carajás-(N-5)- (FRAÇÃO -200 mesh)	95
Figura 26 - Dendrograma Modo " R " das amostras de solo na serra dos Carajás-(N-5)- (FRAÇÃO - 80 + 200 mesh).....	96
Figura 27 - Mapa geológico da superfície do platô de N-1 na serra dos Carajás.....	99
Figura 28 - Aspectos texturais microscópicos das crostas mapeadas na serra dos Carajás-(N-1).....	105
Figura 29 -Diagrama SiO_2 - Al_2O_3 - Fe_2O_3 na serra dos Carajás-(N-1).....	111
Figura 30 - Curvas de distribuição dos ETR normalizados pelo padrão condrito (Evensen et al.1978) das crostas identificadas na serra dos Carajás (N-1).....	116
Figura 31 - Amostras selecionadas das crostas com anomalia positiva de Eu na serra dos Carajás - (N-1).....	117

Figura 32 - Amostras selecionadas das crostas com anomalias de Ce (Ce/Ce^*) na serra dos Carajás (N-1).....	118
Figura 33 - Dendrograma modo " R " da crosta Estratificada na serra dos Carajás-(N-1)	121
Figura 34 - Dendrograma modo " R " da crosta pisolítica na serra dos Carajás-(N-1).....	122
Figura 35 - Dendrograma modo " R " da crosta cavernosa na serra dos Carajás-(N-1).....	123
Figura 36 - Mapa geológico de superfície da serra do Pirocaua e morro adjacente.....	125
Figura 37 - Diagrama quartzo- fosfatos de Al-hematita+goethitadas amostras de rochas e solos da serra do Pirocaua.....	128
Figura 38 - Diagramas triangulares SiO_2 - Al_2O_3 - Fe_2O_3 das amostras da serra do Pirocaua.....	133
Figura 39 - Diagramas triangulares Fe_2O_3 - P_2O_5 - Al_2O_3 das amostras da serra do Pirocaua.....	134
Figura 40 - Curvas de distribuição dos ETR normalizados pelo padrão condrito (Evensen et al.1978) das amostras da crosta e dos solos do alvo serra do Pirocaua.....	140
Figura 41 - Anomalias de $Ce(Ce/Ce^*)$ positivas em amostras de crosta e solos do alvo serra do Pirocaua.....	142
Figura 42 - Dendrograma modo " R " do conjunto das amostras do alvo serra do Pirocaua.(AMOSTRA TOTAL).....	146
Figura 43 - Dendrograma modo " R " das amostras de rocha da serra do Pirocaua (AMOSTRA TOTAL).....	147
Figura 44 - Dendrograma modo " R " das amostras de solo da crosta da serra do Pirocaua.....	148
Figura 45 - Diagrama quartzo - caulinita- hematita+goethita)das amostras dos lateritos maduros e imaturos (morro adjacente)do alvo serra do Pirocaua.....	152
Figura 46 - Diagrama triangular SiO_2 - Al_2O_3 - Fe_2O_3 para amostras de solo do morro adjacente a serra do Pirocaua.....	153

Figura 47 - Curvas de distribuição dos ETR normalizados pelo padrão condrito (Evensen et al.1978) das amostras de solos do morro adjacente a serra do Pirocaua (lateritos imaturos).....	160
Figura 48 - Exemplos de curvas de distribuição normalizadas aos condritos para algumas amostras do morro adjacente.....	161
Figura 49 - Dendrograma modo " R " das amostras de solo do morro adjacente á serra do Pirocaua (AMOSTRA TOTAL).....	164
Figura 50 - Dendrograma modo " R " das amostras de solo do morro adjacente á serra do Pirocaua (FRAÇÃO -80+200 mesh).....	165
Figura 51 - Distribuição areal dos domínios químicos na serra do Tiracambu-(TN-6).....	168
Figura 52 - Distribuição dos domínios mineralógicos na serra do Tiracambu-(TN-6).....	170
Figura 53 - Mapa de distribuição do Al_2O_3 -As- Fe_2O_3 na serra do Tiracambu-(TN-6)-(AMOSTRA TOTAL).....	171
Figura 54 - Mapa de distribuição do TiO_2 -Y-Nb-Zr-Ga-Sc na serra do Tiracambu-(TN-6)-(AMOSTRA TOTAL).....	172
Figura 55 - Mapa de distribuição do Ni-V-Cr-Mn na serra do Tiracambu-(TN-6)-(AMOSTRA TOTAL).....	173
Figura 56 - Mapa de distribuição do Sr-Ba-ETRL na serra do Tiracambu-(TN-6)-(AMOSTRA TOTAL).....	174
Figura 57 - Mapa de distribuição dos ETRP na serra do Tiracambu-(TN-6)-(AMOSTRA total).....	175
Figura 58- Mapa de distribuição do Al_2O_3 - TiO_2 -Y-Nb-Sr-Ga-Mn-Zr serra do Tiracambu-(TN-6)-FRAÇÃO-200 MESH).....	176
Figura 59 - Mapa de ditribuição do Fe_2O_3 -V-Ba-Cr-As-Sc na serra do Tiracambu-(TN-6)- (FRAÇÃO - 200 MESH).....	177
Figura 60 - Mapa de distribuição dos ETRL na serra do Tiracambu-(TN-6)-(FRAÇÃO- 200 MESH).....	178
Figura 61 - Mapa de distribuição dos ETRP na serra do Tiracambu-(TN-6)-(FRAÇÃO - 200 MESH).....	179

Figura 62 - Distribuição areal dos domínios químicos na serra dos Carajás-(N-5).....	181
Figura 63 - Distribuição areal dos domínios mineralógicos na serra dos Carajás-(N-5).....	183
Figura 64 - Mapa de distribuição do Fe_2O_3 -Mn-V-Ba-Cu na serra dos Carajás-(N-5)- (AMOSTRA TOTAL).....	184
Figura 65 - Mapa de distribuição do TiO_2 - Al_2O_3 -Ga-Zr-Sr-Sc na serra dos Carajás-(N-5)- (AMOSTRA TOTAL).....	185
Figura 66 - Mapa de distribuição do Y-As na serra dos Carajás (N-5)-(AMOSTRA TOTAL).....	186
Figura 67 - Mapa de distribuição dos ETRP na serra dos Carajás (N-5)- (AMOSTRA TOTAL).....	187
Figura 68 - Mapa de distribuição dos ETRL na serra dos Carajás (N-5)- (AMOSTRA TOTAL).....	188
Figura 69 - Distribuição areal dos domínios químicos na serra dos Carajás-(N-1).....	192
Figura 70 - Distribuição areal dos principais minerais com , teores superiores a média aritmética (X) na serra dos Carajás-(N-1).....	193
Figura 71 - Mapa de distribuição do TiO_2 - Al_2O_3 -Cr-V-Sr-Nb-Zr-Ga- Sc-As na serra dos Carajás-(N-1) (AMOSTRA TOTAL).....	195
Figura 72 - Mapa de distribuição do Fe_2O_3 -Mn na serra dos Carajás - (N-1) (AMOSTRA TOTAL).....	196
Figura 73 - Mapa de distribuição dos ETRL na serra dos Carajás - (N-1) (AMOSTRA TOTAL).....	197
Figura 74 - Mapa de distribuição dos ETRP na serra dos Carajás - (N-1) (AMOSTRA TOTAL).....	198
Figura 75 - Distribuição areal dos domínios químicos na serra do Pirocaua (Alvo Aurizona).....	201
Figura 76 - Distribuição areal dos principais minerais com teores superiores a média aritmética na serra do Pirocaua(Alvo Aurizona).....	202

Figura 77 - Mapa de distribuição do F_2O_3 -V-Ga-Co-Mn-Cu-Ni-Sc-Cr-As na serra do Pirocaua-(AMOSTRA TOTAL).....	204
Figura 78 - Mapa de distribuição do Al_2O_3 . P_2O_5 -Ba-Sr-Y na serra do Pirocaua- (AMOSTRA TOTAL).....	206
Figura 79 - Mapa de distribuição do TiO_2 -ETRL na serra do Pirocaua- (AMOSTRA TOTAL).....	207
Figura 80 - Mapa de distribuição dos ETRP na serra do Pirocaua(AMOSTRA TOTAL).....	209
Figura 81 - Distribuição areal dos domínios químicos no Morro adjacente.....	211
Figura 82 - Mapa de distribuição do Fe_2O_3 -Sc-As-Ga e Ni-Cr-Mn-Cu-V-Co do alvo Aurizona - Morro Adjacente(AMOSTRA TOTAL).....	212
Figura 83- Mapa de distribuição do P_2O_5 - Al_2O_3 - -Ba-Sr eLa-Ce-Nd-Sm-Eu- Alvo Aurizona - Morro Adjacente (AMOSTRA TOTAL).....	214
Figura 84 - Mapa de distribuição do Fe_2O_3 -Ga-Cu-Ni-As-Cr-V-Sc e Al_2O_3 -Sr-Ce-Nd-Sm-Gd-Eu no Morro Adjacente (FRAÇÃO -80+200 MESH).....	216
Figura 85 - Mapa de distribuição do TiO_2 -Ba-Zr-Dy-Ho-Er-Yb no Morro Adjacente (FRAÇÃO -80+200 MESH).....	217
Figura 86 - Integração da mineralogia dos alvos estudados.....	221
Figura 87 - Distribuição e integração dos elementos químicos nos alvos estudados.....	222
Figura 88 - Correlação entre a composição química de solos e crostas lateríticas dos alvos estudados.....	223
TABELAS:	
Tabela 1 - As mineralizações mais importantes nas regiões sul, sudeste e centro-oeste relacionadas com lateritos.....	18
Tabela 2 - As mineralizações mais importantes nos Lateritos da Amazônia.....	19
Tabela 3 - Métodos, elementos e Laboratórios utilizados.....	47
Tabela 4 - Composição mineralógica média (% em peso) das amostras de solo na serra do Tiracambu-(TN-6).....	57

Tabela 5 - Sumário estatístico das concentrações dos elementos químicos em amostras de solo analisadas na serra do Tiracambu-(TN-6) (AMOSTRA TOTAL).....	61
Tabela 6 - Sumário estatístico das concentrações dos elementos químicos em amostras de solo analisadas na serra do Tiracambu-(TN-6) (FRAÇÃO - 200 mesh).....	62
Tabela 7 - Sumário estatístico das concentrações dos elementos químicos em amostras de solo analisadas na serra do Tiracambu-(TN-6). (FRAÇÃO -80+200 mesh).....	63
Tabela 8 - Comparação entre os teores médios das frações analisadas na serra do Tiracambu-(TN-6) e as bauxitas de Paragominas.....	66
Tabela 9 - Associações geoquímicas obtidas a partir das matrizes de correlação da amostra total e das frações analisadas na serra do Tiracambu-(TN-6).....	71
Tabela 10 - Associações geoquímicas obtidas a partir da aplicação do modo " R " na amostra total e nas frações analisadas na serra do Tiracambu-(TN-6).....	72
Tabela 11 - Composição mineralógica média (% em peso) das amostras de solo na serra dos Carajás)-(N-5).....	79
Tabela 12 - Sumário estatístico das concentrações dos elementos analisados das amostras de solo na serra dos Carajás-(N-5)-(AMOSTRA TOTAL).....	81
Tabela 13 - Sumário estatístico das concentrações dos elementos analisados das amostras de solo na serra dos Carajás-(N-5)- (FRAÇÃO - 200 mesh).....	82
Tabela 14 - Sumário estatístico das concentrações dos elementos analisados das amostras de solo na serra dos Carajás-(N-5) (FRAÇÃO-80 + 200 mesh)	83
Tabela 15 - Correlação entre os teores médios da amostra total e das frações analisadas na serra dos Carajás- (N-5).....	86
Tabela 16 - Correlação entre a composição química dos elementos maiores e traços das bauxitas de N-5,Tucuruí , Paragominas e Tiracambu(TN-6).....	87
Tabela 17 - Associações geoquímicas obtidas nas amostras de solo a partir das matrizes de correlação na serra dos Carajás-(N-5).....	92

Tabela 18 - Associações geoquímicas obtidas a partir da aplicação do modo " R " na amostra total e nas frações na serra dos Carajás - (N-5).....	97
Tabela 19 - Composição mineralógica média(% em peso) das crostas identificadas na serra dos Carajás (N-1).....	101
Tabela 20 - Sumário estatístico geral das concentrações dos elementos químicos nas amostras das crostas na serra dos Carajás- (N-1).....	107
Tabela 21 - Sumário estatístico das concentrações dos elementos químicos das amostras da crosta estratificada na serra dos Carajás (N-1).....	108
Tabela 22 - Sumário estatístico das concentrações dos elementos químicos das amostras da crosta pisolítica na serra dos Carajás- (N-1).....	109
Tabela 23 - Sumário estatístico das concentrações dos elementos químicos das amostras da crosta cavernosa na serra dos Carajás- (N-1).....	110
Tabela 24 -Correlação entre a concentração química média dos elementos principais, traços e elementos Terras Raras nas crostas lateríticas na serra dos Carajás-(N-1).....	113
Tabela 25 - Principais associações de elementos obtidas a partir das matrizes de correlação para as três crostas na serra dos Carajás-(N-1).....	119
Tabela 26 - Principais associações geoquímicas de elementos obtidas através da análise de agrupamento utilizando o modo " R " das crostas na serra dos Carajás-(N-1).....	120
Tabela 27 - Composição mineralógica média (% em peso) das amostras da crosta e dos solos sobre a crosta laterítica da serra do Pirocaua.....	127
Tabela 28 - Sumário estatístico das concentrações dos elementos químicos em amostras de rochas (crosta) analisadas no alvo serra do Pirocaua.(AMOSTRA TOTAL).....	130
Tabela 29 - Sumário estatístico das concentrações dos elementos químicos em amostras de solo da serra do Pirocaua. (AMOSTRA TOTAL).....	131
Tabela 30 - Correlação entre as concentrações médias dos elementos da serra do Pirocaua (Platô) rochas e solos com a média crustal (AMOSTRA TOTAL).....	136

Tabela 31 -Correlação das concentrações dos elementos químicos nos alvos estudados (AMOSTRA TOTAL).....	139
Tabela 32 - Associações geoquímicas do conjunto de amostras da serra do Pirocaua (rochas + solos) (AMOSTRA TOTAL).....	143
Tabela 33 - Principais associações geoquímicas a partir das matrizes de correlação das amostras da crosta e dos solos da serra do Pirocaua..	143
Tabela 34 - Principais associações geoquímicas a partir da análise dos dendrogramas modo "R" das amostras da crosta e dos solos da serra do Pirocaua.....	149
Tabela 35 - Composição mineralógica média (% em peso) da amostra total e da fração - 80 + 200 mesh dos lateritos imaturos no morro adjacente serra do Pirocaua.....	151
Tabela 36 - Sumário estatístico das concentrações dos elementos analisados nas amostras de solo no morro adjacente(fração -80 + 200 mesh).....	155
Tabela 37 - Sumário estatístico das concentrações dos elementos analisados nas amostras de solo no morro adjacente(AMOSTRA TOTAL).....	156
Tabela 38 - Correlação entre os teores médios das frações analisadas no morro adjacente á serra do Pirocaua e as concentrações da crosta e dos solos da serra do Pirocaua.....	158
Tabela 39 - Associações geoquímicas das amostras de solo do morro adjacente á serra do Pirocaua a partir das matrizes de correlação.....	162
Tabela 40 - Associações geoquímicas das amostras de solo do morro adjacente á serra do Pirocaua a partir dos dendrogramas com aplicação de análise de agrupamento, (modo "R").....	166
Tabela 41 - Principais associações Geoquímicas dos Alvos estudados.....	226

RESUMO

O objetivo principal do presente trabalho, foi estabelecer um estudo sistemático do padrão de dispersão dos elementos químicos em solos e crostas lateríticas, derivados de litótipos de ambientes geológicos diversos em áreas de clima tropical úmido, na Amazônia.. Foram selecionados 2 alvos para a amostragem de solos que apresentam características de latossolos : um na Serra dos Carajás, no sudoeste do Estado do Pará (N-5), rico em gibbsita e o segundo (TN-6), localizado na Serra do Tiracambu, municípios de Carutapera e Bom Jardim, no Estado do Maranhão. possui predominância de caulinita e oxihidróxidos de ferro, sobrepostos a bauxita. Para o estudo das crostas, foram selecionadas a crosta ferro-fosfática de Pirocaua contendo solo nas bordas, localizada próximo a foz do rio Maracaçume, município de Godofredo Viana, litoral noroeste do Estado do Maranhão e a crosta ferruginosa do alvo N-1 na Serra dos Carajás.

A metodologia utilizada foi a mesma para os 4 alvos, a saber:

a - para obtenção dos contrastes mineralógicos e geoquímicos necessários foi utilizada amostragem em superfície em malhas de 200 por 200 metros;

b - separação das amostras de solo em tres partes, amostra total, fração menor que 200 mesh e fração -80+200 mesh.(para as crostas, foi utilizada apenas a amostra total).;

c - as análises mineralógicas foram realizadas através da difratometria de raios-X , enquanto as análises químicas foram feitas por absorção atômica para determinação de Ni, Co, Cr, Cu, Mn, V, As e Bi, e, Au através da análise por fusão ;

d - determinações por fluorescência de raios-X para SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , TiO_2 , P_2O_5 , Ba, Y, Nb, Zr, Ga e Sc; através de espectrografia ótica de emissão com pré-concentração foram analisados os EGP (Pt, Pd, Rh) e por ICP os ETR.

Os dados químicos e mineralógicos foram tratados para obtenção de parâmetros estatísticos básicos através de microcomputadores IBM-PC/XT compatíveis, utilizando-se o "Sistema Geoquant"(versão 3.1), da CPRM. Outros programas (CONVERT e o QPRO), foram utilizados como complementares no estudo estatístico ou na representação gráfica dos dados, além de análises de agrupamentos realizadas através do programa CLUSTER, utilizando o "Modo R" e o "Modo Q".

Os resultados obtidos através da difratometria de raios-x, mostraram que no alvo TN-6 na serra do Tiracambu, o latossolo caracteriza-se mineralogicamente por certa homogeneidade, com predominância de caulinita, Al-goethita e anatásio. Esta homogeneidade é mostrada também na composição química, tanto na amostra total como nas frações analisadas, através de uma distribuição de $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Cu-Mn-Sr}$, $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-V-Cu-Ba-Cr-As-Sc-ETR}$ e $\text{TiO}_2\text{-Y-Nb-Zr-Ga-Sc-ETR}$ como principais associações geoquímicas, refletindo respectivamente a caulinita, oxi-hidróxidos de ferro e o anatásio. Já no alvo N-5, na serra dos Carajás, os latossolos são constituídos de gibbsita seguida de goethita-hematita e em menor quantidade caulinita e anatásio. Neste alvo, embora do ponto de vista mineralógico apresente como única diferença a presença da gibbsita em relação ao alvo TN-6, destacam-se, por outro lado, as associações $\text{TiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Ga-Zr-Sc-Sr}$ e $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-Mn-V-Cr-Sc-As}$. A primeira, representando a gibbsita e anatásio, que além de ser mais consistente, envolve a associação do Fe_2O_3 , que, por sua vez reflete os oxi-hidróxidos de ferro e, de forma indireta, a interferência de rochas básicas na origem dos latossolos.

Os resultados obtidos nas amostras de crostas, como a do alvo N-1 que apresenta diferenciação textural: estratificada, pisolítica e cavernosa, mostram que independente da

textura, apresentam concentrações semelhantes para Mn, Sr, Nb e Ga. Os estudos revelaram uma pequena diferença constatada na crosta cavernosa que é mais rica em gibbsita, e onde predomina também a presença de Au e Pt. Na totalidade do alvo N-1, a associação geoquímica mais significativa foi definida por Al_2O_3 - TiO_2 -Cr-V-Sr-Nb-Zr-Ga-Sc-As. A baixa concentração dos elementos traços nesta associação reflete sua origem a partir de rochas desprovidas de silicatos ferromagnesianos, de natureza sedimentar, com pouca influência máfica-ultramáfica. Na serra do Pirocaua, a análise de agrupamentos e matrizes de correlação, estabeleceram duas grandes associações geoquímicas semelhantes na crosta e nos solos. A primeira, Fe_2O_3 -V-Ga-Ni-Cu-Cr-As, indica os minerais de ferro rerepresentados principalmente por goethita e hematita e a segunda, P_2O_5 - Al_2O_3 -(TiO_2)-Sr-Y-Zr-ETR, reflete os fosfatos do grupo da crandalita. A associação do Fe_2O_3 é mais frequente e ocupa grande parte do platô, não discriminando crosta e solos, assim como o ouro que apresentou indistintamente valores qualificados em 13 amostras, com média de 0.2 ppm, tendo como valor máximo 1,01 ppm. As concentrações de As possuem em média 188 ppm na crosta e 273 ppm nos solos, às quais estão associadas a presença da turmalina (dravita) no solo e, localizadamente, preenchendo fraturas na crosta, passível de ser observada em alguns afloramentos, evidenciando a influência de zona hidrotermal. Ressaltam-se também os valores qualificados para Pt (0.1 a 0.4 ppm), diretamente associados às altas concentrações de Cr (1235 ppm na crosta), além dos altos teores de P_2O_5 (11,85%-solo a 15,05%-crosta), evidenciando que o substrato da serra do Pirocaua é de natureza vulcanosedimentar, de composição básica, rica em fosfatos.

Os estudos realizados são importantes na caracterização de solos e crostas lateríticas, do ponto de vista geológico, mineralógico e químico, observando-se que em ambos os casos, a amostragem em superfície reflete com certa segurança a natureza do substrato através das associações geoquímicas, como foi observado nos alvos N-5 e Serra do Pirocaua a influência de rochas básicas, e, nos alvos TN-6 e N-1 a influência de rochas sedimentares. Este fato reveste-se de importância para a utilização da prospecção geoquímica, na caracterização de litótipos que constituem o substrato de coberturas autóctones na Amazônia, visto que, a frequência da distribuição daqueles litótipos nesta região é bastante extensiva e com escassez de afloramentos, estando a eles relacionados ambientes hospedeiros de mineralizações e depósitos minerais, cujas rochas encaixantes não são facilmente diagnosticadas face a condição morfológica e espessura de suas coberturas..

ABSTRACT

This work intention is to stand out a sistematic study on the chemical elements dispersion in soils and duricrust, developed over, diversified geological environments lithotypes, under humid tropical climate in the Amazon region. Two target areas were chosen for soil sampling(Serra dos Carajás-N-5 and Serra do Tiracambu - TN-6); the former, a gibbsite rich latosoil, is situated in the southwest part of Para State; the latter, has a predominance of kaolinite and iron oxi-hydroxides overling a bauxite layer, situated in the western border of Maranhão State. Two other areas were selected for duricrust studies, Pirocaua iron-phosphate crust, surrounded by latosoil (NW of Maranhão State) and Serra dos Carajás target N-1 feruginous crust.

The methodology assumed was the same for all targets for both soil and duricrust, as follow:

- a - sampling grid of 200x200m;
- b - Three parts separation of soil samples (bulk,<200# and -80+200 mesh)-for duricrusts were only considered bulk samples;
- c - X-ray difratometric analysis were carried out to determine mineralogical composition and atomic absortion for determination of Ni,Co,Cr,Cr,Mn,V,As and Bi and, Au, through fire assay;
- d - X-ray fluorescence analysis were taken for SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , TiO_2 ,Ba,Y,Nb,Zr,Ga and Sc; PGE (Pt,Pd,Rh) and REE analysis were obtained by optical emission spectrography after pre concentration and ICP, respectively.

Mineralogical and chemical data were processed in order to obtain basic statistical parameters by using compatible PC-IBM/XT through Geoquant System CPRM 3.1 version,

as well as some other complementary softwares (CONVERT and QPRO) both in the statistical studies and graphic data display, besides CLUSTER R MOD and Q MOD analysis. Target TN-6 X-ray diffractometry soil samples analysis showed a mineralogical homogeneous character as predominantly composed by kaolinite, Al-goethite and anatase. This homogeneity is also present in bulk sample chemical composition and in the analyzed fractions as well, revealing a distribution of three main geochemical associations: $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Cu-Mn-Sr}$; $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-V-Cu-Ba-Cr-As-Sc-REE}$ and $\text{TiO}_2\text{-Y-Nb-Zr-Ga-Sc-REE}$ as a reflection of kaolinite, iron oxy-hydroxide and anatase, respectively. On the other hand, target N-5 latosols are made out by gibbsite followed by goethite-hematite and in minor content, kaolinite and anatase. Although this target, from the mineralogical point of view, does not present much difference from the TN-6 except for the presence of gibbsite, it stands out the association of $\text{TiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Ga-Zr-Sc-Sr}$ as well as $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-Mn-V-Cr-Sc-As}$. The former association representing gibbsite and anatase, besides being more consistent, surrounds the Fe_2O_3 association which in turn reflects iron oxy-hydroxides and, indirectly, the contribution of basic rocks in the latosols origin.

Regarding target N-1 duricrust, which presents different textures (stratified, pisolitic and cavernous), the results obtained showed independently, similar concentrations for Mn, Sr, Nb and Ga. Small differences characterize the cavernous duricrust in the gibbsite content and the predominant presence of Au and Pt. In target N-1, as a whole, the most significant geochemical association was defined by $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2\text{-Cr-V-Sr-Nb-Zr-Ga-Sc-As}$. Low concentrations of trace elements in this association reflect its origin from sedimentary nature Fe-Mn silicate-depleted rocks, with low mafic/ultramafic contribution.

Correlation matrix and groupment analysis in the Pirocaua target established two great geochemical associations with equal importance for soils and duricrust. The first, Fe_2O_3 -V-Ga-Ni-Cu-Cr-As, indicates iron minerals, chiefly goethite and hematite, while the second, P_2O_5 - Al_2O_3 -(TiO_2)-Sr-Y-Zr-REE reflects the crandallite-goyazite group of phosphates. The iron association is more frequent, occupying great extension of the plateau, not discerning soils or duricrust. So does the Au disperssion which presents indistinctly qualified values for 13 samples averaging 0.2 ppm and 1.01 ppm as maximum value. Arsenic concentratiton achieved an average of 188 ppm in duricrusts and 273 ppm in soils to which are associated the presence of tourmaline(dravite) in soil derived from hydrothermal zones noticiable in some outcrops fractures. Regarding PGE,qualified values for PT (0.1 to 0.4ppm) are directly associated to high concentration of Cr (1235 ppm in duricrust) and high values of P_2O_5 (11.85% soil to 15.05%-duricrust), this geochemical landscape is an evidence a basic composition vulcanosedimentary bedrock,rich in phosphates for the Serra do Pirocaua.

The studies carried out were important in characterizing soils and duricrusts under a geological, mineralogical and chemical pooints of view, considering that, in both sample categories a surface sampling reflects,till certain extent and accuracy, trough geochemical association, the bedrock nature from which these covers had derived, as observed in the Pirocaua and N-5 targets the contribution of basic rocks as well as in the TN-6 and N-1 sedimentary rocks influence.

This fact shows an importance to.consider.in the geochemical surveys, in characterizing concealed bedrock lithotypes by sampling their autochthonous covers, developed under humid tropical climate regions as the Amazon, taking into account that these rocks are not easily identified due the morphological condition involved and the consequent thicknes of the

overburden. This is most outstanding inasmuch that the widespread distribution frequency of those lithotypes in this region plus the scarcity of outcrops and their relationship to host environments of mineral deposits.

1 - INTRODUÇÃO

1.1 - A IMPORTÂNCIA DOS LATERITOS

Os lateritos são registros geológicos que nas duas últimas décadas receberam grande atenção dos geocientistas, pela sua importância para a história geológica da Terra, particularmente do Cenozóico, e pela sua relevância econômica direta (formação de depósitos minerais) ou indireta (ferramenta para a prospecção mineral). Enquanto os estudos traduzem grandes avanços nos aspectos genéticos dos lateritos, pouco ainda tem sido feito em termos orientativos, visando principalmente a prospecção mineral em regiões de coberturas lateríticas submetidas atualmente às condições tropicais como as da região Amazônica.

Embora os lateritos sejam conhecidos desde o século passado através dos estudos de Sir Francis Buchanan em 1807, e alguns trabalhos mais detalhados tenham-se iniciado desde o início do século, foi na década dos anos 70 que se intensificaram na África Ocidental e Central, na Austrália, na Índia, na Indonésia, na América do Sul e Central, e na Europa Ocidental os principais e mais importantes trabalhos, sobre os processos de lateritização e prospecção em ambientes laterítico(MELFI et all. 1979; ZEEGERS & LEPRUN,1979, APPAVADHANULU & RAMAN 1979, SCHELLMANN 1979, ; BUTT & SMITH,1980, TRESCASSES & OLIVEIRA de,1981; LEPRUN,1981; entre outros, reunidos no International Seminar on Lateritization Process em Trivandrun, 1979 na Índia. Foi nesta época também que surgiram os depósitos laterítico de grande porte como os de alumínio (bauxítico), na Austrália, Guiné, Jamaica, Suriname e Índia. Os de níquel(garnierita), encontrados na Nova Caledônia, Filipinas, no Brasil; na Indonésia,

destacando-se o depósito de Iriam Barat (REYNOLDS et al., 1973) como também na Índia, onde destaca-se o depósito niquelífero de Sukinda e Orissa (APPAVADHANULU & RAMAN, 1979).

Os de manganês, que encontram-se principalmente na Índia, no Gabão e no Brasil (Azul e Serra do Navio) e os de nióbio (pirocloro), que ocorrem principalmente na Tazânia, no Quênia e no Brasil, além dos grandes depósitos de ferro (itabirítico) conhecidos no Brasil (Quadrilátero Ferrífero em Minas Gerais e Serra dos Carajás no Pará entre outros).

A evolução dos estudos promoveu a realização do II Seminar on Lateritization Process em São Paulo, com destaque para os trabalhos de ; BARDOSSY (1982); BHASKARA RAO et al. (1983); MATHEIS (1983); CHAUVEL et al. 1983; SCHELLMANN (1986); . A pesquisa em ambientes laterítico estava no auge quando COSTA (1984), ressaltou que, nas últimas décadas o avanço das técnicas de análises mineralógicas e químicas e o estudo da distribuição geoquímica dos elementos, permitiram entender os processos de laterização, e desta forma constatar, que ao contrário do que se escrevia, os lateritos guardavam fortes relações com as rochas-mães, podendo conter outros bens minerais além do ferro e do alumínio, aumentando substancialmente o interesse científico e econômico pelos mesmos.

Em 1985 com a realização do Seminário Internacional sobre Lateritos no Japão, destacaram-se os trabalhos de SANTOS et al., 1974; e BHASKARA RAO (1985), MILNES, et al.; (1987); relacionados principalmente com prospecção geoquímica e a distribuição do ouro em ambientes lateríticos. Trabalhos semelhantes estavam sendo desenvolvidos na Nigéria (GLEESON & POULIN, 1989).

Trabalhos mais específicos sobre os lateritos no Brasil, foram realizados por COSTA & SÁ (1980); COSTA(1984); KOTSCHOUBEY & LEMOS, (1985); KRONBERG & MELFI(1987), COSTA(1987); CARVALHO et al. (1988) ,DAVIES et al.(1989); LEMOS(1991); ANGELICA & COSTA(1991), com ênfase sobre a mineralogia e a distribuição de elementos traços em crostas e solos lateríticos. No final da década de 1980, os trabalhos já estavam mais dirigidos principalmente para o estudo de perfis laterítico, envolvendo mineralizações auríferas (BHASKARA RAO,1987; BHASKARA RAO et al.,1988; OLIVEIRA et al.,1988; COLIN et al.,1989; PARISOT et al.,1989); como também a prospecção geoquímica de depósitos relacionados com lateritos SMITH,(1989) entre outros. A partir de 1990, os trabalhos além de apresentarem as características já citadas, ficaram mais refinados com o início do estudo dos ETR em ambientes laterítico(FORMOSO et al.,1989; OLIVEIRA,1990 ; COSTA,1990; COSTA et al.,1991).

Na década atual, o estudo em ambientes laterítico além dos perfis, está sendo desenvolvido sobre as crostas e solos, com o objetivo de verificar e analisar a dispersão dos elementos traços, destacando-se na Bahia (CARVALHO et al.,1988),em Minas Gerais(TAUFEN & MARCHETTO,1989), e na Amazônia (ANGÉLICA, 1991).

SMITH et al., (1991), no Brasil, aborda em workshop, a geoquímica de metais preciosos em lateritos, com participação de pesquisadores brasileiros, dando ênfase para o ouro, com exemplos do Brasil (região de Cuiabá) e do sudoeste da Austrália. O estudo de metais preciosos além do ouro em ambientes laterítico no Brasil, continua em desenvolvimento, principalmente com os EGP-Elementos do Grupo da Platina e MGP-

Minerais do Grupo da Platina(BOWLES, 1986;MILIOTI & STUMPFL,1993; e ROESER et al.,1993).

Em função dos aspectos abordados e da inúmera quantidade de trabalhos que se encontram em realização, os lateritos tornam-se importantes tanto nos estudos genéticos como econômicos, principalmente considerando sua grande distribuição areal no globo terrestre e particularmente na Amazônia.

O trabalho aqui apresentado, procura contribuir no estudo sistemático da dispersão dos elementos traços em crostas e solos laterítico submetidos a clima tropical e densa cobertura de floresta de uma forma sistemática e multielementar, pouco conhecido não só na Amazônia como no mundo inteiro, envolvendo inclusive os ETR e EGP.

1.2 CONCEITUAÇÃO

O termo laterito foi originalmente empregado por Sir Francis Buchanan em 1807, para designar o material vermelho e amarelo de aspecto cavernoso em Angadipuram, Rio Kerala, Índia(SCHELLMANN, 1986). A partir desta época, os lateritos e os fenômenos de lateritização, tem sido objeto de diferentes trabalhos e de várias interpretações (CHAUVEL et al., 1983; TARDY & NAHON, 1985; MULLER & BOCQUIER., 1986, SCHELLMANN, 1986; OLIVEIRA, 1986 , HERBILLON & NAHON , 1988), entre outros. Como a pesquisa é dinâmica, até o momento não existe um conceito definitivo. Vários autores estudam o fenômeno, sobre diferentes condições e situações particulares. Um dos conceitos mais abrangentes e de maior aceitação, foi apresentado por SCHELLMANN (1979), segundo o qual “lateritos, são produtos de

intenso intemperismo em rochas, nas quais o teor de Fe e/ou Al é alto e o teor de Si é baixo, em rochas originalmente caulinizadas. Eles consistem predominantemente de uma associação dos minerais goethita, hematite, hidróxidos de alumínio, caulinita e quartzo”.

Entre pedólogos e geólogos, existem algumas discordância quanto ao conceito de lateritos, no entanto todos concordam que lateritos são produtos de intenso intemperismo químico com absoluta lixiviação de álcalis e grande acumulação de óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio”. Existem outras correntes que contestam estes termos (lateritos), preferindo chamar o material semelhantes de “duricrust”, ou seja crosta endurecida. Quando a constituição do material é compacta e constituída predominantemente de óxido de ferro pode-se utilizar o termo “ferricrust ou ferrilit”; e “couraça” típica expressão em francês (NAHON, 1976; LEPRUN, 1979 entre outros). BHASKARA RAO (1985, 1987) utiliza o termo crosta laterítica com a seguinte definição: “a crosta laterítica é um material compacto endurecido, essencialmente composto de goethita, podendo ainda ter gibbsita, hematita, caulinita e quartzo, e é derivado de rochas em geral ricas em ferro magnesianos”.

SHELLMANN (1986) considera lateritos como “rochas” pertencentes a um grupo de rochas residuais classificadas como rochas sedimentares. Através de diagramas ternários (SiO_2 - Al_2O_3 - Fe_2O_3) enquadra os diversos tipos de lateritos de acordo com a rocha mãe, considerando também a intensidade durante o seu processo de lateritização. COSTA (1990) considera os lateritos “como rochas ou materiais rochosos, em via de formação, originados durante os processos de lateritização sobre rochas já existentes, inclusive a lateritos antigos”.

TARDY (1991) recomenda usar o termo laterito num sentido bastante amplo, “como um produto de intenso intemperismo formado a partir de um conjunto de minerais, incluindo óxidos ou hidróxidos de ferro ou alumínio, oxi-hidróxidos ou hidróxidos, caulinita e quartzo, caracterizado pela razão $\text{SiO}_2:(\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3)$, cujo valor não pode exceder aquele requerido para quartzo e caulinita”. Nestas condições inclui: bauxitas, ferricretes, crostas ferruginosas ou aluminosas, Horizonte mosqueado, “carapaças”, “cuiresses”, plintitos, pisólitos ou nódulos de hematita e/ou goethita pertencentes ao Horizonte avermelhado ou amarelado dos solos ferralíticos, solos ferruginosos tropicais e inclusive outras formações tais como litomarges. Desta forma, pode-se concluir que, sendo a pesquisa dinâmica, o conceito sobre lateritos e lateritização ainda vai sofrer novas alterações para abranger todo o seu complexo universo, advindo de uma derivação a partir de qualquer tipo de rocha sob extrema variação das condições supergênica ao longo do tempo geológico.

1.3 - DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA DOS LATERITOS

1.3.1 - Mundial

BARDOSSY (1982), considera que a maioria dos Lateritos encontram-se principalmente entre os paralelos 30° N e 30° S, cobrindo 54% da área superficial da África, Ásia e América Latina, através de solos e crostas lateríticas. Os Lateritos são representados praticamente pelos bauxíticos, que agrupam-se em sete cinturões (Figura 1), os quais são responsáveis por 94% da produção total de bauxitas lateríticas. São eles:

- **Cinturão Bauxítico do Oeste Africano;**
- **Cinturão Bauxítico do Norte e Oeste Australiano;**

- **Cinturão Bauxítico do Sudeste Asiático;**
- **Cinturão Bauxítico do Escudo das Guianas;**
- **Cinturão Bauxítico Indiano;**
- **Cinturão Bauxítico do Sudeste Africano;**
- **Cinturão Bauxítico do Sudeste Australiano;**

1.3.2 - No Brasil

- No Brasil, inegavelmente muito bem representado por lateritos, os mesmos se concentram principalmente nas Regiões sul, centro-oeste e na parte norte. Na região sul e centro oeste MELFI et al.(1988), fizeram observações sobre depósitos minerais relacionados com processos de lateritização, principalmente bauxítico, ferífero e niquelífero, com indicação de reservas e teores médios, cujo resumo é apresentado na Tabela 1. Outros estudos nestas regiões foram executados por MELFI & CARVALHO (1984); OLIVEIRA(1986) em Lages, SC e SIGOLO et al.(1987) em Minas Gerais. Na Amazônica, onde já foram delineadas grandes Regiões com lateritos bauxítico, ferruginosos e caulíníticos, as principais regiões, segundo COSTA (1990), são :
 - **Paragominas** - Rio Capim, no Pará com expressivos depósitos de bauxita e caulim;
 - **Baixo Amazonas** - principalmente a margem esquerda do Rio Amazonas, onde encontram-se os depósitos bauxítico e caulínicos de Trombetas-Nhamundá, Faro, Almeirim, Monte Dourado e Felipe;
 - **Carajás** - no Pará, onde ocorrem vários tipos de lateritos, com predominância dos ferruginosos, bauxítico, manganésíferos, niquelífero, auríferos e cupríferos;

- **Pitinga** - no Amazonas, com grande variedade, destacando-se os bauxíticos e aqueles a resistatos (cassiterita, zircão, xenotima e ETR);
- **Gurupi** - no Pará, também com grande diversidade, predominando os lateritos fosfáticos.

As principais mineralizações na Amazônia relacionadas com lateritos são referenciadas por COSTA(1990), que caracteriza sua evolução e indica suas localizações (Tabela 2, Figura 2).

Outros pequenos depósitos e ocorrências no atual quadro do conhecimento geológico, segundo COSTA (1990), podem ser mencionados, tais como: Cassiporé, Vila Nova e Serra do Navio no Amapá e Quatipuru no Pará. Além destes, outros corpos protegidos por uma delgada camada ferruginosa bastante dura e semelhante a “chapéu de ferro”, podem ser citadas. São: Maraconai, Maicuru e Monte Alegre no Pará; Seis Lagos no Amazonas e Costa Marques em Rondônia, entre outros.

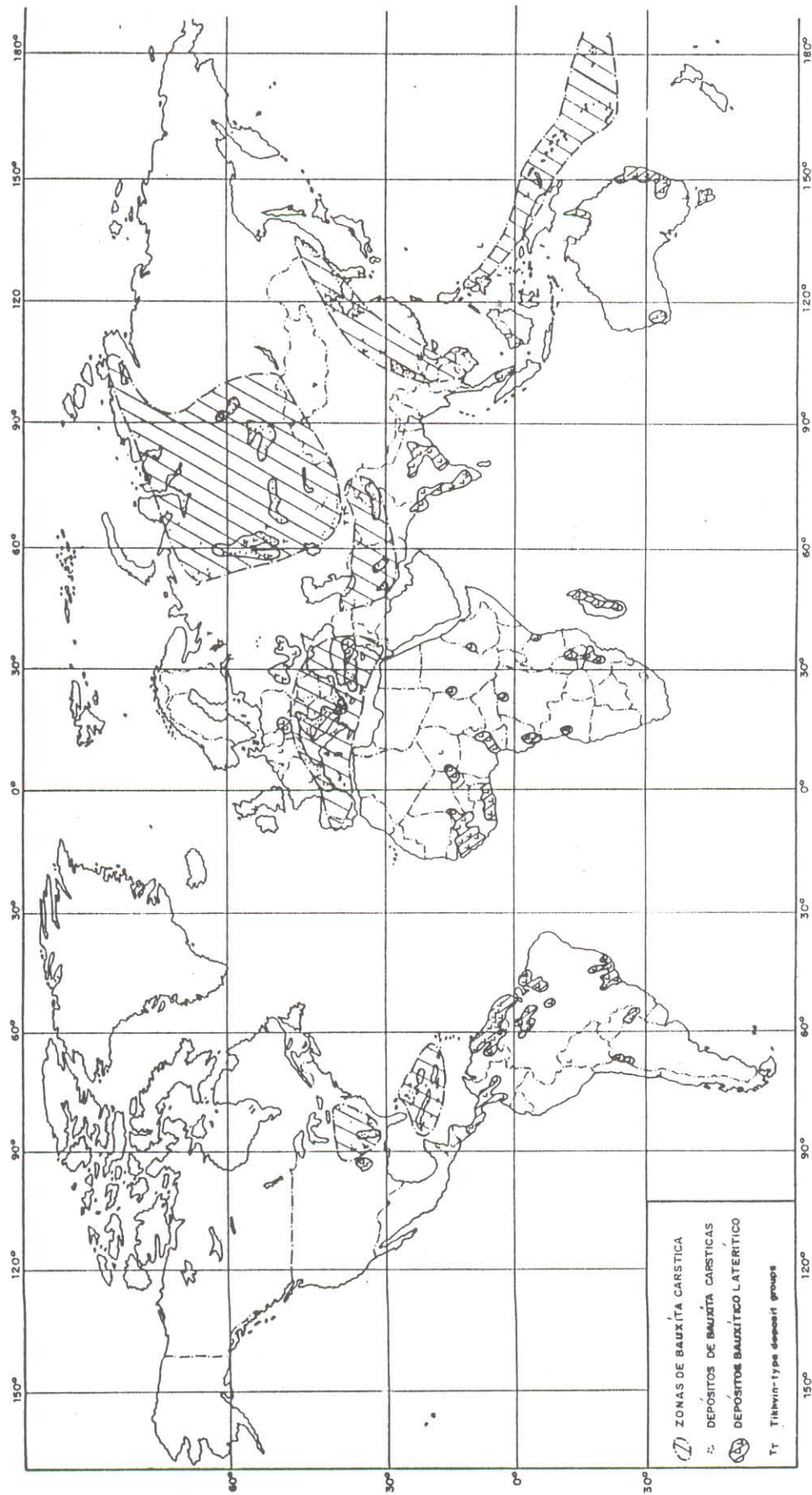


FIGURA. 1 - DISTRIBUIÇÃO DAS REGIÕES DE BAUXITA NO MUNDO. MODIFICADO DE BARDOSSY (1982)

Tabela 1 - AS MINERALIZAÇÕES MAIS IMPORTANTES NA REGIÃO SUL E CENTRAL DO BRASIL RELACIONADAS COM LATERITOS

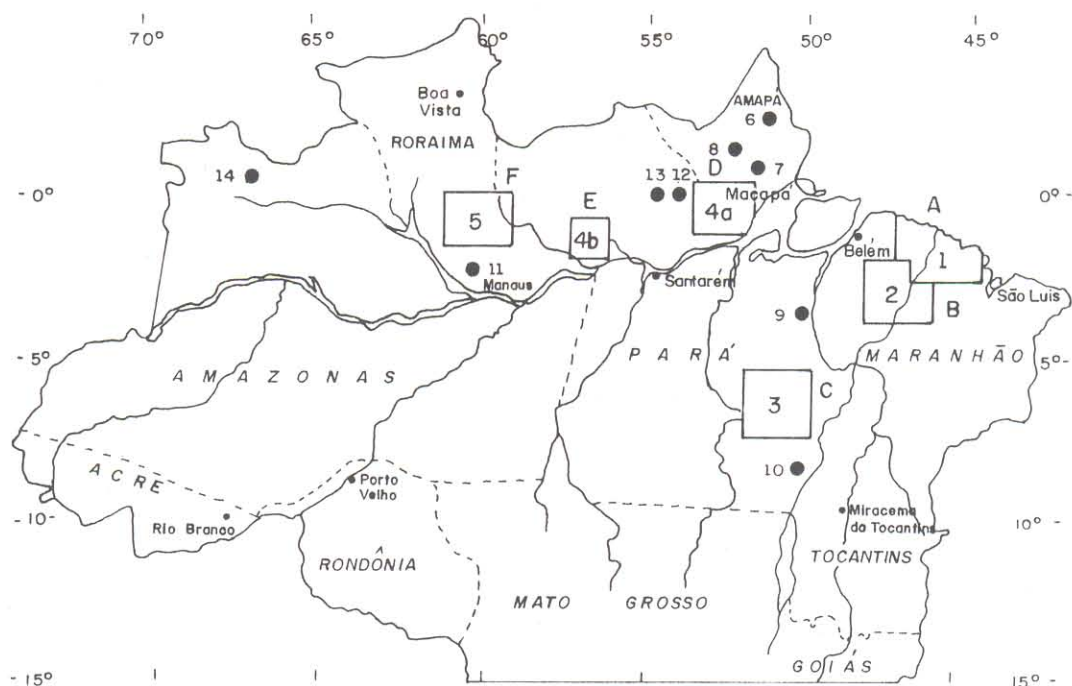
REGIÃO GEOGRÁFICA	LOCAL x10 m ³	LITOLOGIA	RESERVA	TEOR %	
DEPÓSITOS BAUXÍTICOS:				Al ₂ O ₃	SiO ₂
SUDESTE	POÇOS DE CALDAS	ROCHAS ALCALINAS	65	54-50	2-5
ITATIAIA	"		10	45-50	2-6
LAGES			5	48-51	4-6
PASSA QUATRO			20	48-50	2
MÉDIO LESTE	QUADR.FERRÍFERO	DIFERENTES	20	36-42	1-4
SERRA DO MAR		LITOLOGIAS	5	4-2	2
SERRA DA MANTIQUEIRA			120	38-45	3-6
DEPÓSITOS DE FERRO:					
		x10 Fe %			
MINAS GERAIS	QUADR. FERRÍFERO	RCH.SEDIMENTARES	13	30-66	
MATO GROSSO	URUCUN	"	50	50-64	
DEPÓSITOS DE Mn			x10 Mn %		
MATO GROSSO	URUCUN		100.000	46-52	
MINAS GERAIS	LAFAIETE		4.400	35	
	QUADR.FERRÍFERO		13.100	27-35	
BAHIA	LOCAIS ISOLADOS		15.000	38	
QUAD.FERRÍFERO	"		20.000	28	
GOIÁS	"		1.500	36-51	
DEPÓSITOS NIQUELÍFEROS :			x10 Ni %		
GOIÁS	NIQUELÍFERO		60.000	1.45	
	BARRO ALTO		73.000	1.67	
	CANABRAVA		9.500	1.30	
	SANTA FÉ		61.000	1.50	
	S. ÁGUA BRANCA		60.000	1.30	
	MORRO DO ENGENHO		18.000	1.00	
	MORRO DOS MACACOS		10.000	1.30	
	MONTES CLAROS		15.000	1.50	
MINAS GERAIS	MORRO DO NÍQUEL		2.300	1.70	
	LIBERDADE		7.900	1.70	
	IPANEMA		7.300	1.24-1.59	
SÃO PAULO	JACUPIRANGA		2.250	1.47	
PIAUI	SÃO JOÃO DO PIAUI		20.000	1.57	
BAHIA	SERRA DAS MARRECAS		900	1.50	

Fonte : MELFI et al.1988+

Tabela 2 - AS MINERALIZAÇÕES MAIS IMPORTANTES NOS LATERITOS DA AMAZÔNIA

TIPOS DE LATERITOS	LOCALIDADE
QUANTO A MINERALIZAÇÃO QUANTO A EVOLUÇÃO	
BAUXÍTICO	MATURO PARAGOMINAS(PA)-1,TIRACAMBU(MA)-JARI/MONTE DOURADO (PA)-, TROMBETAS/NHAMUNDÁÁ (PA)-4 CASSIPORÉ, (AP)- 5, PITINGA (AM)- 6 MANAUS(AM)- 7,TUCURUI (PA)- 8 PIRIÁ (PA)- 9
FOSFÁTICOS COM SR	MATURO ITACUPIM,CANSA PERNA,JANDIÁ, SAPUCAIA,BOA VISTA (PA)- 10 TRAUIRA, PIROCAUA (MA)-11,MAICURU (PA)- 12 SEIS LAGOS (AM)- 13
PORTADORES DE ETR	MATURO MAICURU(PA)-12,SAPUCAIA(PA)-10,SEIS LAGOS ((AM)-13 PITINGA (AM)- 6,COSTA MARQUES (RO)- 29
FERRUGINOSOS	MATURO E IMATURO CARAJÁSÁS (PA)- 15,PIRIÁ (PA)- 9
TITANÍFEROS	MATURO MARACONAI- 14,MAICURU (PA)- 12,JACAR, (MA)- 16
NIÓBÍFEROS	MATURO SEIS LAGOS (AM)- 13,MAICURU (PA)- 12
MANGANESÍFEROS	MATURO E IMATURO SERRA DO NAVIO(AP)-17,AZUL(PA)-18,CUMARU(PA)-19 AURIZONA ((MA)-20,JACAR,(MA),- 16,JURUENA (AM)-20, BONFIM (AM),- 22,PROVIDÊNCIA (RO)-23
NIQUELÍFERO	MATURO E IMATURO VERMELHO,PUMA,ONÇA(PA),-24,QUATIIPURU (PA)- 25
CUPRÍFEROS	MATURO E IMATURO SALOBO/BAHIA (PA)- 24,
CAULÍNICO	MATURO E IMATURO FELIPE(AP)-30,CAPIM(PA)-26 IPIXUNA (PA)- 27, SÃO GABRIEL DA CACHOEIRA (AM) - 13
AURÍFEROS	MATURO E IMATURO CASSIPORÉ, (AP)- 5,CARAJÁSÁS/XINGU(PA)- 24
RESISTATOS :	
COM CROMITA, CASSITERITA MATURO E IMATURO	VILA NOVA (AP)- 28, PITINGA (AM)-6
ZIRCÃO, XENOTIMA E COLUMBITA	

FONTE: COSTA, (1989)



- | | |
|--|--|
| 1 - GURUPI/PA-MA | 2 - PARAGOMINAS - PA |
| 3 - CARAJÁS - PA | 4a - BAIXO AMOZONAS - PA/AM
TROMBETAS |
| 4b - ALMEIRIM, MONTE
DOURADO E FELIPE | 5 - PITINGA (AM) |
| ●6 - CASSIPORÉ (AP) | ●7 - VILA NOVA (AP) |
| ●8 - SERRA DO NAVIO (AP) | ●9 - TUCURUÍ (PA) |
| ●10 - QUATIPURU (PA) | ●11 - MANAUS (AM) |
| ●12 - MARACONAI (PA) | ●13 - MAICURU (PA) |
| ●14 - SEIS LAGOS (AM) | |

FIGURA. 2 - DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA DAS PRINCIPAIS REGIÕES LATERÍTICAS E CORPOS ISOLADOS NA AMAZÔNIA BRASILEIRA. MODIFICADO DE COSTA (1990)

1.4- GEOQUÍMICA DOS LATERITOS : NÍVEL ATUAL DE CONHECIMENTO

Nas duas últimas décadas e ainda na década atual, observou-se, tanto no Brasil como no Mundo, uma “corrida” ao estudo de Mineralizações relacionadas com lateritos. Inúmeros trabalhos são conhecidos e estão em desenvolvimento na Austrália, África, Índia e no Brasil. No entanto, a maioria destes, estão relacionados com a gênese e aspectos da distribuição geoquímica, procurando-se entender melhor os processos de lateritização, principalmente em relação à caracterização do perfil laterítico, com o estabelecimento de padrões de distribuição dos elementos nos diversos horizontes destes perfis: SANTOS & YNIGO (1974); TRESCASSES & OLIVEIRA (1978); TRESCASSES et al.1979); TARDY & NAHON(1985); DAVY & EL-ANSARY(1986); LEMOS (1991) entre outros.

Com relação a prospecção mineral em ambientes laterítico, BUTT (1987) chama a atenção que em muitos terrenos tropicais, a oxidação profunda, a lixiviação e a redistribuição dos elementos relacionados com depósitos minerais até o momento tem sido considerado um problema para a exploração geoquímica. Um conhecimento do ambiente geoquímico é fundamental para a realização de trabalhos regionais ou de detalhe. Este entendimento pode ser realizado através de modelos, que podem ajudar no planejamento, execução e interpretação de futuras campanhas, permitindo prever os tipos de halos e associações geoquímicas, características de determinado ambiente metalogenético, caracterizando o tipo da dispersão geoquímica.

Estudos de BRADSHAW (1975), no Canadá e em partes dos Estados Unidos, de KAURANNE (1976), na Europa, de LOVERING & MCCARTHY (1978), na América do Norte e no norte do México e de BUTT & SMITH (1980), na Austrália,

resultaram em modelos apropriados para cada região. Estes modelos têm suas limitações, considerando as diferenças morfoclimáticas, principalmente na zona tropical/equatorial, onde prevalecem o intemperismo químico e uma intensa lixiviação e oxidação. Desta forma não poderão ser simplesmente extrapolados.

Sabendo-se que as condições climáticas brasileiras são mais agressivas em relação aquelas dos modelos propostos, torna-se de grande importância um estudo mais detalhado sobre a alteração das rochas, principalmente quando se sabe que resultam em solos mais evoluídos, onde é mais freqüente a argila caulinítica, com liberação do Fe, formando nódulos e algumas vezes carapaças lateríticas, constituindo perfis maduros. Como este fato é mais freqüente nos depósitos laterítico brasileiros é importante que seja realizada uma adaptação dos princípios de prospecção geoquímica nestas condições.

Os trabalhos visando prospecção geoquímica em lateritos estão sendo desenvolvidos no Brasil e principalmente na região Amazônica, onde existe a necessidade de trabalhos sistemáticos, onde a prospecção geoquímica poderá ser uma grande ferramenta na pesquisa de jazimentos minerais.

A prospecção geoquímica em ambientes lateríticos, está se desenvolvendo principalmente na África, Austrália; na Índia e recentemente no Brasil. Ainda não foram estabelecidos modelos principalmente, na região Amazônica.

Do ponto de vista prospectivo em ambientes laterítico, os primeiros trabalhos foram realizados na África, a partir de ZEEGERS (1981); FREYSSINET et al(1989); GLEESON & POULIN (1989); ROQUIM et al.(1989).

Na Austrália, envolvendo dispersão e prospecção para ouro, destacam-se os trabalhos de MAZZUCHELLI & JAMES (1966); BUTT & SMITH (1980); BUTT (1987) e SMITH (1987). Na Índia, destacam-se os trabalhos de NAIR, SANTOS et al.; 1974, utilizando bateamento de materiais no leito dos rios Punna Puzha e Charliyar, no vale de Nilambur e APPAVADHANULU & RAMAN (1979).

Outro importante artigo sobre a dispersão do ouro em ambientes tropicais é discutido em BUTT & ZEEGERS (1989), no Gabão, num perfil de Dondo Mobi. O autor conclui que as anomalias geoquímicas superficiais para ouro estão situadas acima da estrutura mineralizada, e um halo de dispersão, desenvolvido em torno do mesmo.

Na prospecção de minerais pesados, FRIEDRICH et al. (1983), encontrou cromopspinel em algumas áreas nos trabalhos de exploração no NW de Visayas, nas Filipinas. Os primeiros trabalhos foram iniciados em 1972 e descritos por FRIEDRICH et al. (1980).

No reconhecimento geológico/geoquímico, MATHEIS (1983), na Nigéria, demonstrou a aplicação da geoquímica de solos, realizada em ambientes intempéricos. A amostragem foi realizada em áreas alvo com geologia e potencial mineral contrastante: greenstone belt (básicos a ultrabásicos), tendo em volta pegmatitos portadores de metais raros. Foi utilizada a mesma metodologia para as duas litologias. Cu, Co, Cr, Ni e Zn, foram utilizados para delimitar unidades rochosas de composição ultrabásica, enquanto Li, Rb, Cs, Be, Mg/Li e K/Rb, contornou adequadamente os pegmatitos encaixados nos depósitos de minérios de Sn, Nb e Ta. Nos granitos e metassedimentos micáceos o Ti forneceu os melhores contrastes, seguido em ordem decrescente pelo Rb, Cs, Mg, K, Zn e Cu. O autor concluiu que a investigação da distribuição dos elementos

traços em perfis de solos laterítico, dá suporte aos trabalhos geoquímicos de solo, não só para a exploração dos alvos, mas também como uma ferramenta no reconhecimento geológico do mapeamento em regiões lateríticas.

Para verificar a relação das crostas superficiais com a rocha mãe, estudos geoquímicos no oeste da África foram realizados por NICHOL et al. (1966), BLOT et al. (1978), ZEEGERS & LEPRUN (1979), LEPRUN (1981), ZEEGERS et al. 1981 e MATHEIS (1983), através da dispersão dos elementos nas crostas.

No Brasil, os estudos geoquímicos mais conhecidos na última década estão relacionados com os processos de formação dos lateritos (TRESCASSES & OLIVEIRA, 1978; TRESCASSES et al. (1979); PARISOT (1980); PARISOT & MELFI (1982); KOTSCHOUBEY & LEMOS (1985), COSTA (1987); entre outros. Na distribuição dos elementos em lateritos os estudos mais recentes estão sendo efetuados para fosfatos por COSTA (1980 e 1989); BHASKARA RAO (1987); BHASKARA RAO et al. 1988, para bauxitas - (LEMOES, 1991; para ouro OLIVEIRA & SILVA. (1991). Alguns estudos sobre a distribuição dos EGP (Elementos do Grupo da Platina) em ambiente laterítico, estão sendo desenvolvidos por MILIOTI & STUMPFL (1993). No estudo da dispersão dos elementos em crostas e solos em ambientes laterítico na Amazônia, destaca-se (ANGÉLICA, 1991).

1.5 - OBJETIVOS

A partir dos resultados apresentados e em função da grande distribuição de crostas ferro- luminosa-manganesíferas, relacionadas com depósitos minerais na Amazônia,

foram selecionadas áreas, aqui denominadas de alvos, para estudar a dispersão multielementar de uma forma sistemática.

Considerando-se o potencial mineral, foram selecionadas as áreas da Serra do Tiracambu, com mineralizações de bauxita e caulim; Serra do Pirocaua, com ouro, fosfatos e manganês e a Serra dos Carajás, com reconhecidas mineralizações de ferro, alumínio, manganês, ouro, cobre, níquel, entre outros.

Tomou-se também como objetivo, definir as características mineralógicas e geoquímicas dos lateritos, com especial atenção à parte aflorante, visando sua utilização como ferramenta no mapeamento geológico e na prospecção mineral. Em função disto, foi aplicada a mesma metodologia quanto aos métodos e elementos analisados, para comparar o reflexo das diferentes mineralizações já mencionadas.

2 - ASPECTOS GERAIS SOBRE OS ALVOS

Os alvos (Figura 3), fazem parte do Projeto Lateritinga, em desenvolvimento pela CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais e foram selecionados por apresentarem mineralizações reconhecidamente relacionadas aos processos de lateritização (fosfatos, Au, Fe, Mn e Al) e por se encontrarem na área do Programa Grande Carajás, onde atualmente estão sendo desenvolvidos os trabalhos de pesquisa e lavra mineral pela Companhia Vale do Rio Doce (CVRD, DOCEGEO) e pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM). Foram selecionados 3 alvos: **SERRA DO TIRACAMBU**, com mineralizações de bauxita e caulim; **SERRA DOS CARAJÁS**, subdividido nos alvos N-5 e N-1, com mineralizações de Al e Fe respectivamente, e **SERRA DO PIROCAUA** com mineralizações de fosfatos, Au e Mn.

2.1 - SERRA DO TIRACAMBU (BAUXITA E CAULIM)

Este alvo apresenta grandes jazimentos de bauxita, que estão sendo estudados pela DOCEGEO. Neste trabalho os estudos foram restritos ao projeto denominado de TN-6 (Figura 4).

2.1.1 - Localização e Aspectos Fisiográficos

Este alvo enquadra-se na Folha Cajuapara (SB.23-V-A), e faz parte da Serra do Tiracambu, situada em áreas requeridas para pesquisa de Alumínio pela DOCEGEO (Figura 4).

A serra do Tiracambu, encontra-se entre os rios Gurupi, a noroeste e Pindaré, a sudeste, nos municípios de Carutapera e Bom Jardim, Estado do Maranhão. A partir de Imperatriz, a Serra pode ser atingida através das rodovias federais Belém-Brasília (BR-010) e Açailândia-Santa Inês (BR-222).

O percurso por essas rodovias é de 110 km. Em seguida o acesso é feito por estradas secundárias, construídas por madeireiros até o acampamento do TN-6, onde encontra-se aqui denominado o alvo Tiracambu.

A vegetação da região enquadra-se na floresta Amazônica com transição para savana. De uma forma generalizada, o relevo é de platô e "cuestas", seccionado pelos rios Pindaré, Itinga e Gurupi. Nas nascentes do rio Itinga as cotas atingem no máximo 300 metros. Os platôs e cuestas de transição formaram-se em terrenos lateríticos bauxíticos, derivados de rochas sedimentares de idade Terciária (Formação Itapecuru).

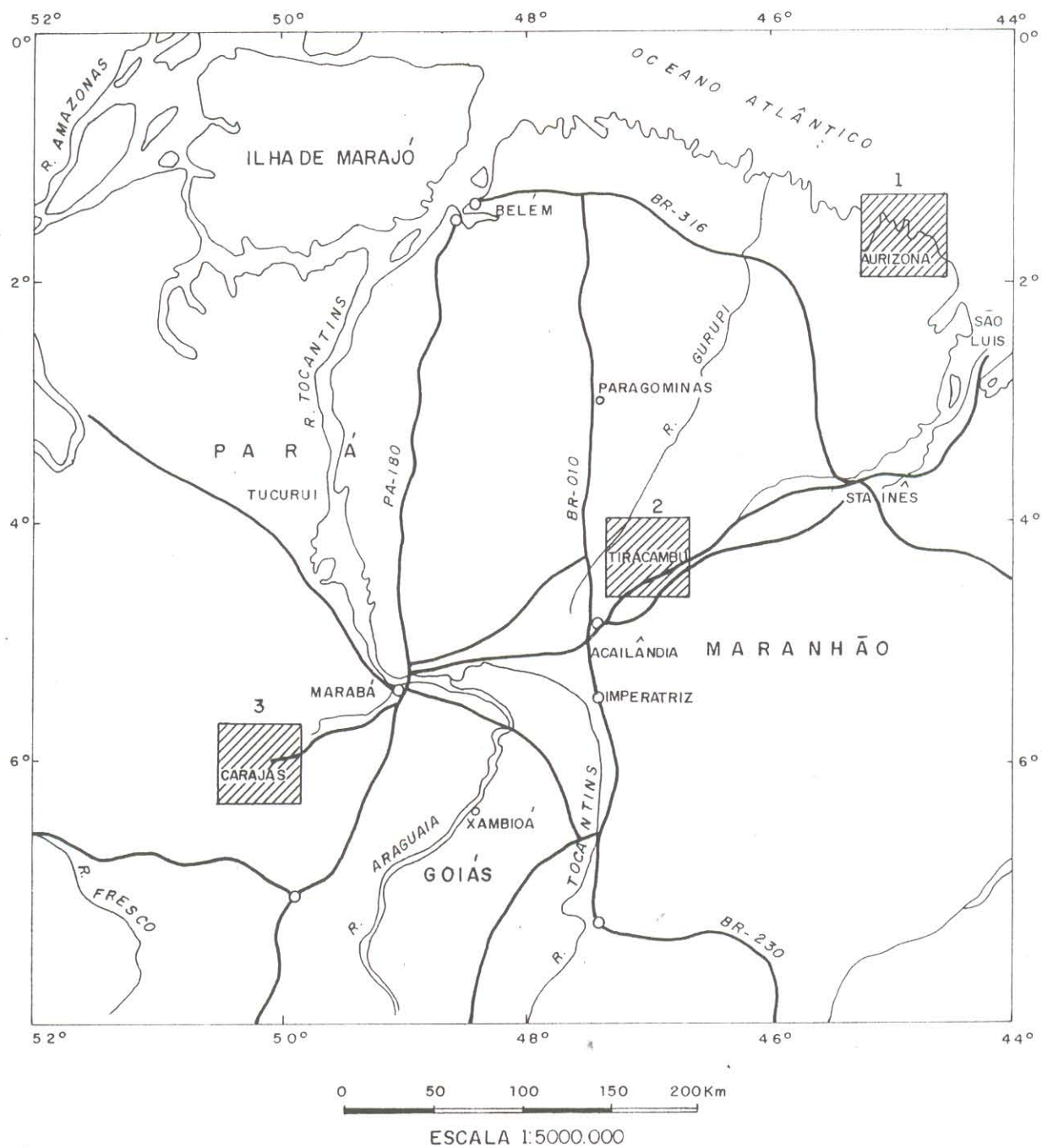


FIGURA. 3 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DOS ALVOS DO PROJETO LATERITINGA

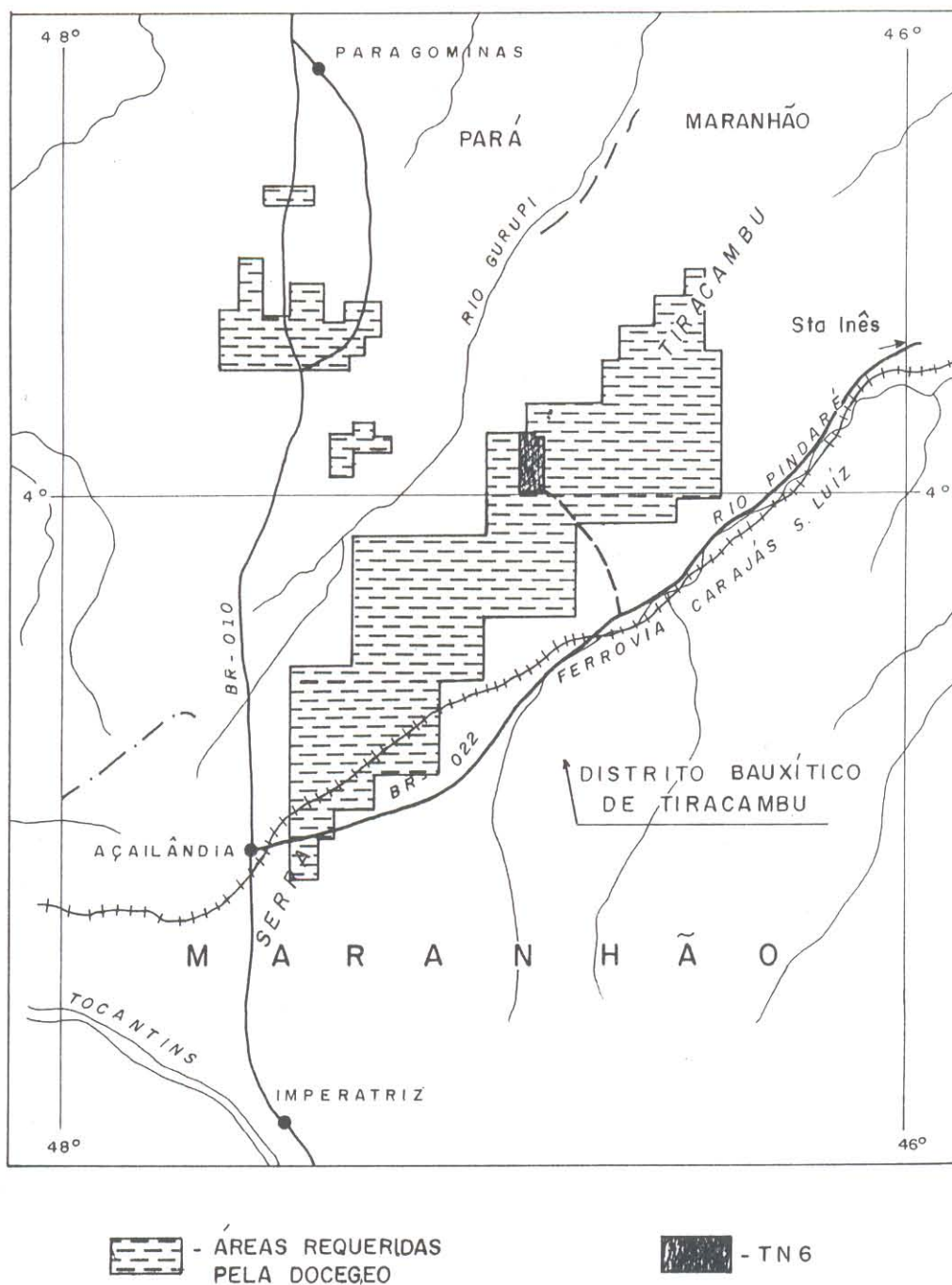


FIGURA. 4 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DO ALVO SERRA DO TIRACAMBU (TN-6)

2.1.2 - Estudos Anteriores

As pesquisas até então realizadas, foram executadas pela DOCEGEO, que iniciou os trabalhos em 1981. A partir da interpretação de imagens de radar, essa empresa identificou várias áreas de possível ocorrência de bauxita metalúrgica na serra do Tiracambu. De 1982 a 1986, foi feita a avaliação das reservas e caracterização tecnológica do minério, para a que foram escavados 413 poços e coletadas 3311 amostras.

O minério de Al está representado pelo Horizonte bauxítico superior (LBS), com teores de 50 a 53% de Al_2O_3 aproveitável e 4 a 5% de SiO_2 reativa e pelo Horizonte bauxítico inferior (LBI), com teores médios de 48 a 50% de Al_2O_3 aproveitável e 3 a 4% de SiO_2 reativa. Esses resultados foram obtidos em material lavado.

O perfil laterítico desenvolveu-se sobre sedimentos da Formação Itapecuru, sendo, segundo CVRD (1987), do topo para a base, assim constituído:

TOPO - argila do capeamento (A)

- bauxita nodular (BN)

- laterita bauxítica superior (LBS)

- pisólitos ferruginosos (PS)

- laterita ferruginosa (LF)

- laterita bauxítica inferior (LBI)

BASE - argila caulinita variegada, (AV)

gradando para os sedimentos parcialmente alterados

A argila do capeamento, equivalente a denominada Argila de Belterra, é o material de amostragem e investigação deste alvo, neste trabalho.

2.2 - SERRA DOS CARAJÁS (FERRO , COBRE, ALUMÍNIO E OURO)

Esta área, foi selecionada em função de sua riqueza mineral e do elevado potencial metalogenético, onde ocorrem grandes jazidas de Ferro (N-1, N-4 e N-5), Bauxita (N-5), Níquel laterítico (Vermelho e Puma), cobre (Salobo), manganês (Azul), ouro (Igarapé, Bahia; Águas Claras), etc.

2.2.1 - Localização e Aspectos Fisiográficos

A área encontra-se na Província Mineral de Carajás, folha serra dos Carajás (SB-22-Z-A), com cerca de 80 % dentro do município de Parauapebas e o restante dividido entre os municípios de Curionópolis, Xinguara e São Felix do Xingu. Os dois alvos (N-1 e N-5), encontram-se no conjunto Serra Norte (Figura 5). O acesso pode ser feito atualmente através de transporte rodoviário, ferroviário ou aéreos diários, de qualquer parte do país até a vila de Carajás. Os alvos N-5 e N-1 encontram-se ao longo da estrada PA-275.

A serra dos Carajás , constituída por dois grandes conjuntos de extensos platôs, com direção geral E-W, conhecidos como Serra Norte e Serra Sul, que se elevam de 300 a 400 metros acima das áreas adjacentes, com altitudes médias de 600 a 900 metros. Essa superfície segundo ASSAD & BEISIEGEL (1978) , de idade Cretácica.

O subalvo N-1 encontra-se na extremidade norte do conjunto (Figura 5) e tem uma extensão de 500 por 200 metros e altitude média de 600 metros; N-5 encontra-se num platô mais extenso, no centro da serra Norte, com largura variando de dezenas a centenas de metros, apresentando altitude semelhante a de N-1.

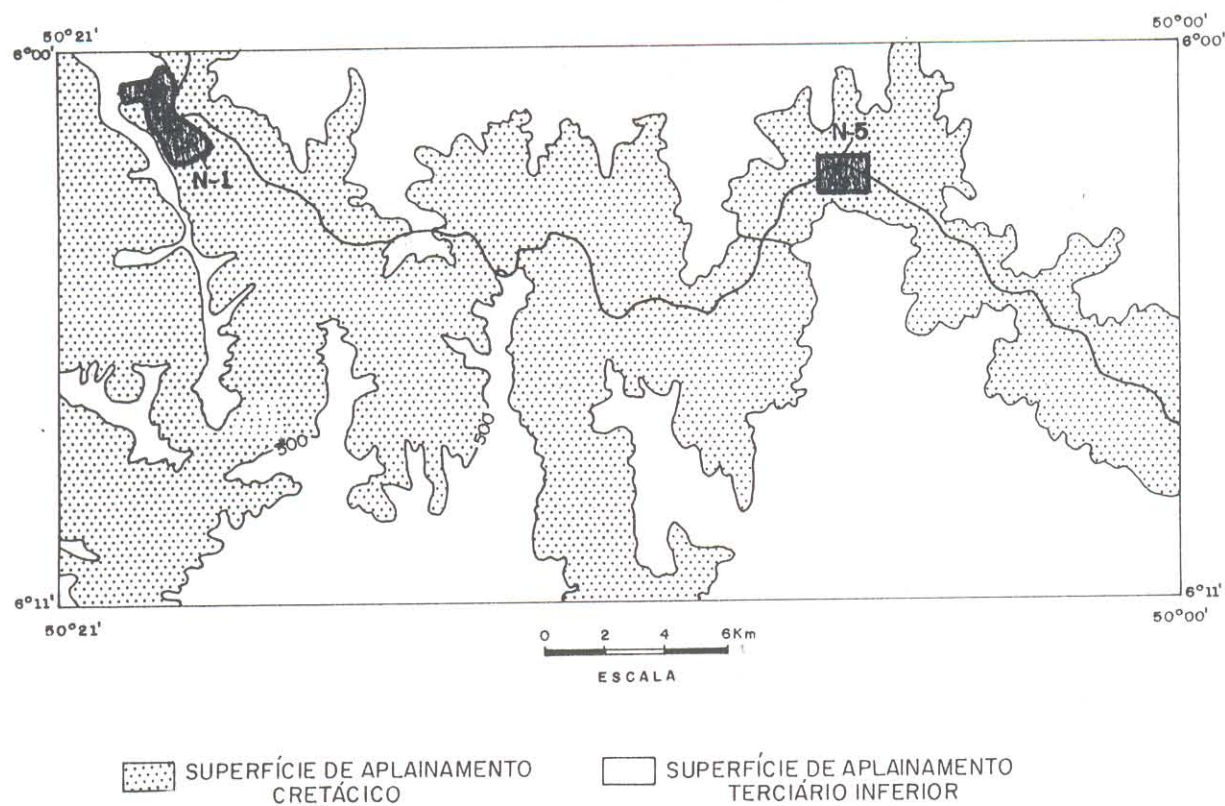


FIGURA 5 - MAPA DO ALVO SERRA DOS CARAJÁS DESTACANDO A LOCALIZAÇÃO DOS SUB - ALVOS N-5 e N-1. MODIFICADO DE COSTA, 1992

A vegetação da região de Carajás é constituída de floresta tropical densa, desenvolvida nos vales e flancos dos platôs. Sobre os platôs, quando há o domínio de crostas ferruginosas a vegetação é do tipo savana-arbustiva, enquanto que quando predominam os solos amarelos e vermelhos a cobertura vegetal é do tipo Hiléa Amazônica. O clima é equatorial de domínio amazônico. O regime de chuvas (média de 2.000 mm anuais) é caracterizado por duas estações bem distintas: uma chuvosa (novembro a maio) e outra seca.

2.2.2 - Estudos Anteriores

Os primeiros trabalhos geológicos na Província Mineral de Carajás foram feitos em N-1, em 1967, e publicados por TOLBERT et al., 1971, descrevendo itabiritos na superfície dos platôs.

Relatório técnicos da AMZA (1977) em N-1, N-2, N-4 e N-5, apresenta resultados químicos e mineralógicos em material de superfície e sondagem, divulgados pela DOCEGEO em 1983, os resultados das pesquisas iniciadas em 1974.

ASSAD & BEISIEGEL (1978), apresentaram as primeiras informações geológicas sobre a bauxita de N-5, caracterizando o depósito como do tipo superficial ("blanket"), sem cobertura estéril, representando o produto residual de um processo de alteração de rochas ricas em alumina e pobres em sílica (rochas basálticas). As reservas são da ordem de 40 milhões de toneladas de minério bruto, com teores de 44% de Al_2O_3 total, 1,9% de SiO_2 , 2,4% de Fe_2O_3 e 4,5% de Al_2O_3 .

LEMON & VILLAS (1985), estudou as bauxitas de N-5, com base em dados mineralógicos e geoquímicos, onde foram analisados os elementos maiores e traços (Zr,

Nb, Cu, Pb, Zn, Ni, Co, Cr e Mn), concluindo, que existe um aumento progressivo em direção a superfície dos teores de Ti, Zr e Nb, ~~ocorrendo o inverso~~ com Ni e Co. Conclui, também, que toda gibbsita do depósito de N-5, foi gerado "in situ", através da destruição da caulinita e remoção da sílica do perfil.

KOTSCHOUBEY & LEMOS (1985) concluíram que no N-5, o perfil laterítico sofreu uma evolução complexa, polifásica, com deposição de materiais alóctones e/ou retrabalhamento físico "in situ". ALVES (1988) descreve aspectos geológicos gerais da jazida de bauxita do N-5, fornecendo um perfil com base em informações de poços rasos. O perfil laterítico é considerado como produto de alteração de rocha máfica.

COSTA et al. (1992), com base em estudos geoquímicos, concluem que as bauxitas de N-5 são produtos de alteração intempérica da crosta ferro-aluminosa subjacente.

2.3 - SERRA DO PIROCAUA (OURO, FOSFATOS E MANGANÊS)

2.3.1 - Localização e Aspectos Fisiográficos

A serra do Pirocaua (Figura 6) encontra-se no litoral noroeste do Estado do Maranhão, próximo à foz do rio Maracaçumé, a 5 km do porto da Vila de Aurizona, no município de Godofredo Viana, e dentro da folha SA.23-V-D (TURIAÇU-PINHEIRO). O deslocamento, a partir de Belém, pode ser feito através de rodovias até Vizeu. A partir desta cidade, o acesso é realizado por hidrovia em pequenos barcos até a vila Aurizona, que possui uma pequena pista de pouso, em terra batida, apropriada apenas para aeronaves de pequeno porte.

O alvo Serra do Pirocaua compreende um Platô e um morro adjacente ao mesmo, que estão no domínio da floresta amazônica. Sobre o platô, entretanto, se destaca uma vegetação de gramíneas e pequenos arbustos. Ao redor do platô e do morro, situados no domínio litorâneo e sob a influência da maré, ocorre uma vegetação típica de mangue. A serra do Pirocaua encontra-se numa região de clima equatorial quente a úmido, com temperatura média anual de 26°C, com um período chuvoso de dezembro a maio e outro com chuvas esparsas, nos demais meses.

A serra apresenta uma forma alongada, elíptica, com direção NNE-SSW, comprimento maior de 1100 metros e largura média de 400 metros, altitude máxima de 105 metros e desnível em relação ao sopé, de mais de 50 metros.

2.3.2 - Estudos Anteriores

Uma das primeiras informações geológicas sobre a "Serra do Pirocaua" foi fornecida por MIRANDA (1940), que mencionou a presença da "bauxita fosforosa". RABELLO (1945) também descreveu a "bauxita fosforosa da serra do Pirocaua", teceu considerações sobre a geologia econômica e apresentou um perfil com filitos Proterozóicos intemperizados na base, que denominou de Algonquianos, seguidos de uma bauxita fosforosa e de uma crosta ferruginosa no topo. Ele considerou a origem do fosfato semelhante a de Trauíra, defendida por FROES DE ABREU, (1937) como de origem orgânica (guano).

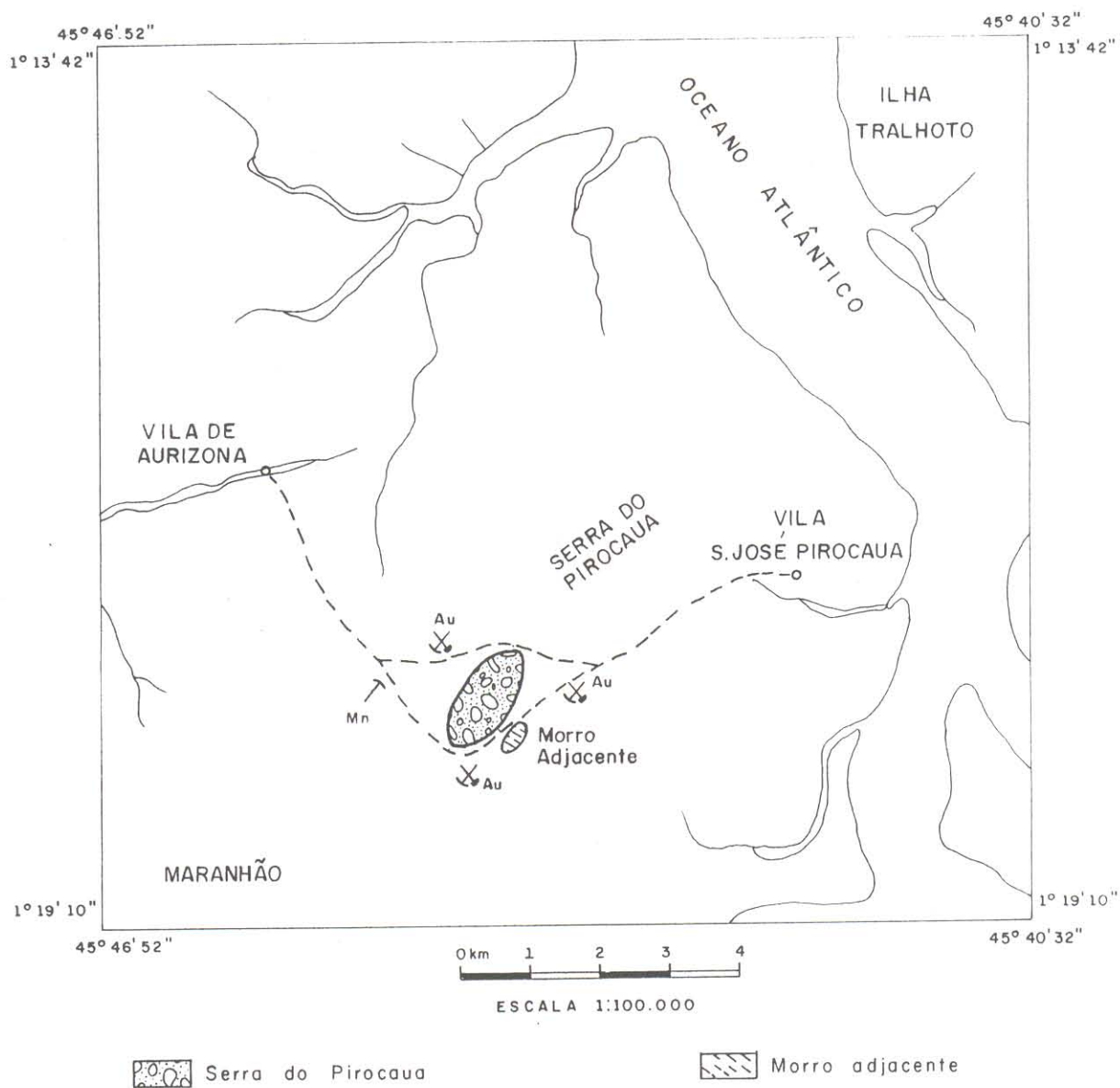


FIGURA. 6 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DO ALVO AURIZONA COM INDICAÇÃO DA SERRA DO PIROCAUA E DO MORRO ADJACENTE.

SAKAMOTO & VARGAS (1956), em pesquisas realizadas na região apresentaram a descrição de camadas litológicas e considerações mineralógicas sobre a crosta da serra do Pirocaua.

COSTA et al. (1977) em relatório final do Projeto Gurupi, apresentaram dados de análises químicas e mineralógicas de um furo de sondagem de quase 50 metros.

COSTA et al. (1980);COSTA(1989, 1990b) concluíram, através de investigações geológicas, mineralógicas e geoquímicas que os fosfatos de alumínio na serra do Pirocaua e outras ocorrências da região são produto de intensa lateritização de rochas proterozóicas, mineralizadas em fosfatos. Ressaltam a abundância de dravita, como também os teores elevados de Sr, Ce, La, Nd, Sc, Ga e Y. Os autores sugerem prospecção geoquímica, tendo o Sr como um dos elementos-chave para os fosfatos, além de Terras Raras, Ba, Rb, Zr, Nb, Y, V, Ga e Sc. SIQUEIRA (1982) discutiu a distribuição de elementos principais e traços em perfis do Horizonte superior nos lateritos fosfatados de Pirocaua.

REYMÃO (1982), na serra do Pirocaua e Jandiá, investigou as condições termodinâmicas teóricas de formação dos fosfatos da crosta ferruginosa e do Horizonte fosfático.

3 - MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido com suporte do Projeto Lateritinga e dentro da sua sistemática, constando das seguintes atividades:

3.1 - PRÉ-CAMPO

Para executar a programação da pesquisa, foi definida a escala e foram planejados os mapas de amostragem. Nas Figuras os mapas estão em escala menor devido a necessidade de redução para compatibilizar com a formatação da tese.

Na fase pré-campo foi organizado o sistema de informações geológicas sobre as áreas-alvo, com ênfase aos Lateritos, ordenando-as de uma forma mais adequada para manuseio dos dados.

A pesquisa bibliográfica foi realizada visando, principalmente, os estudos geoquímicos multielementares em ambientes lateríticos, ressaltando aqueles voltados para a prospeção geoquímica, que vem sendo empregados desde a última década, principalmente na Austrália, Índia, África e ultimamente no Brasil.

3.2 - CAMPO

Os lateritos coesos foram tratados como rocha, e assim coletados. As observações de campo foram criteriosas, para que a amostragem fosse a mais significativa possível. Foram abordados a cor, texturas, estruturas, vazios, coesão e dureza, como também os aspectos mineralógicos gerais, tanto para as crostas como para os solos delas derivados, ou com elas relacionados. Tomou-se o cuidado de verificar durante a coleta se o material laterítico era autóctone ou alóctone. A quantidade de cada amostra variou entre 1 e 2 quilos.

3.2.1 - Mapeamento Geológico

Em cartas topográficas, na escala 1:20.000, foi realizado Mapeamento geológico, levando-se em consideração, principalmente, os materiais de superfície, procurando-se estabelecer as diferenças litológicas entre as crostas mapeadas e os solos.

3.2.2 - Amostragem

As amostras de rocha (crosta) foram coletadas de uma forma composta, com a utilização de marretas de 5 Kg para a fragmentação dos blocos, enquanto que para os solos, geralmente de aspecto terroso, foi utilizada uma pequena pá.

3.2.2.1 - Alvo Serra do Tiracambu

Neste alvo a amostragem foi realizada em malha regular de 200 x 200 metros, utilizando-se as picadas já abertas pela DOCEGEO(Figura 7). A coleta das amostras foi realizada a uma profundidade de 1,5 m com o objetivo de verificar o comportamento lateral da cobertura (solos), num total de 41 amostras.

3.2.2.2 - Alvo Serra dos Carajás

Em N-1 a amostragem atingiu apenas a crosta aflorante, enquanto em N-5 principalmente solo, a uma profundidade média de 20 centímetros.

No alvo N-5, a amostragem também foi realizada numa malha regular, 200 x 200 metros, com a coleta de 56 amostras de solo e 4 de rocha laterítica (Figura 8).No alvo N-1, a amostragem foi realizada numa malha regular (Figura 9), com espaçamento entre as amostras de 200 x 200 m, onde foi coletado principalmente, a crosta, com um total de 180 amostras.

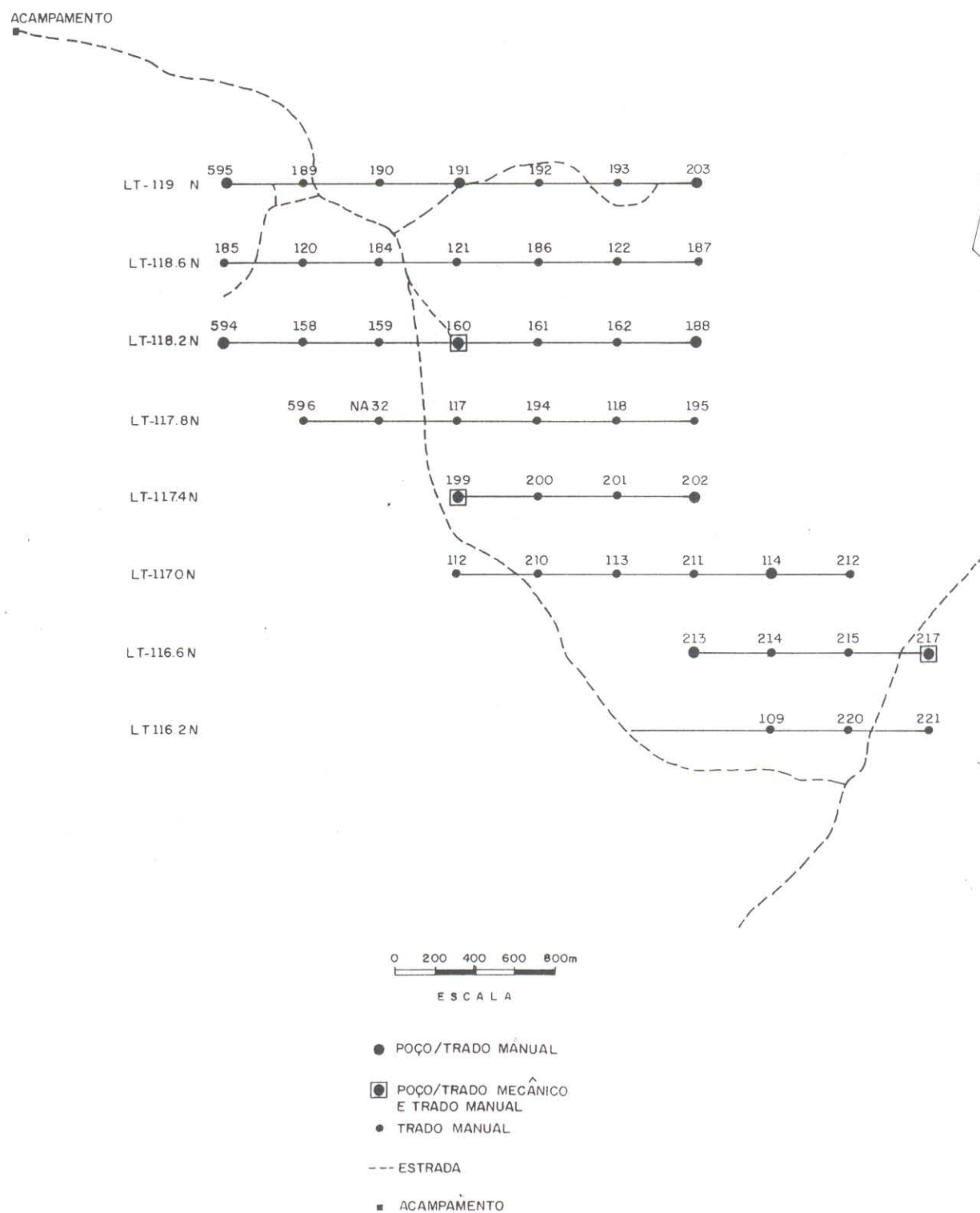
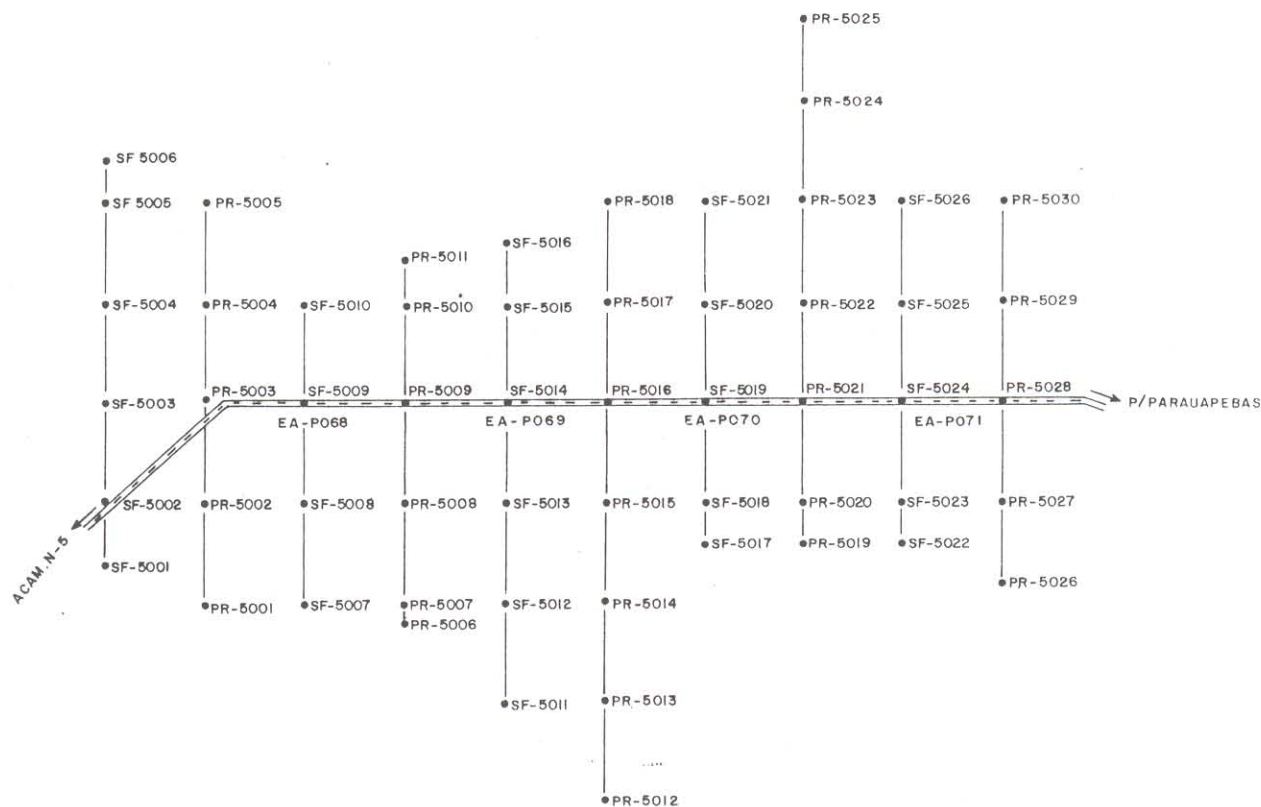


FIGURA 7 - MAPA DE AMOSTRAGEM: ALVO TIRACAMBU (TN-6)



200 0 200 400m

ESCALA 1:20.000

LEGENDA

— RODOVIA RAIMUNDO MASCARENHAS

• - PR-5003 - PONTO DE AMOSTRAGEM DE SOLO

FIGURA. 8 - MAPA DE AMOSTRAGEM DO ALVO SERRA DOS CARAJÁS SUBALVO (N-5)

3.2.2.3 - Alvo Serra do Pirocaua

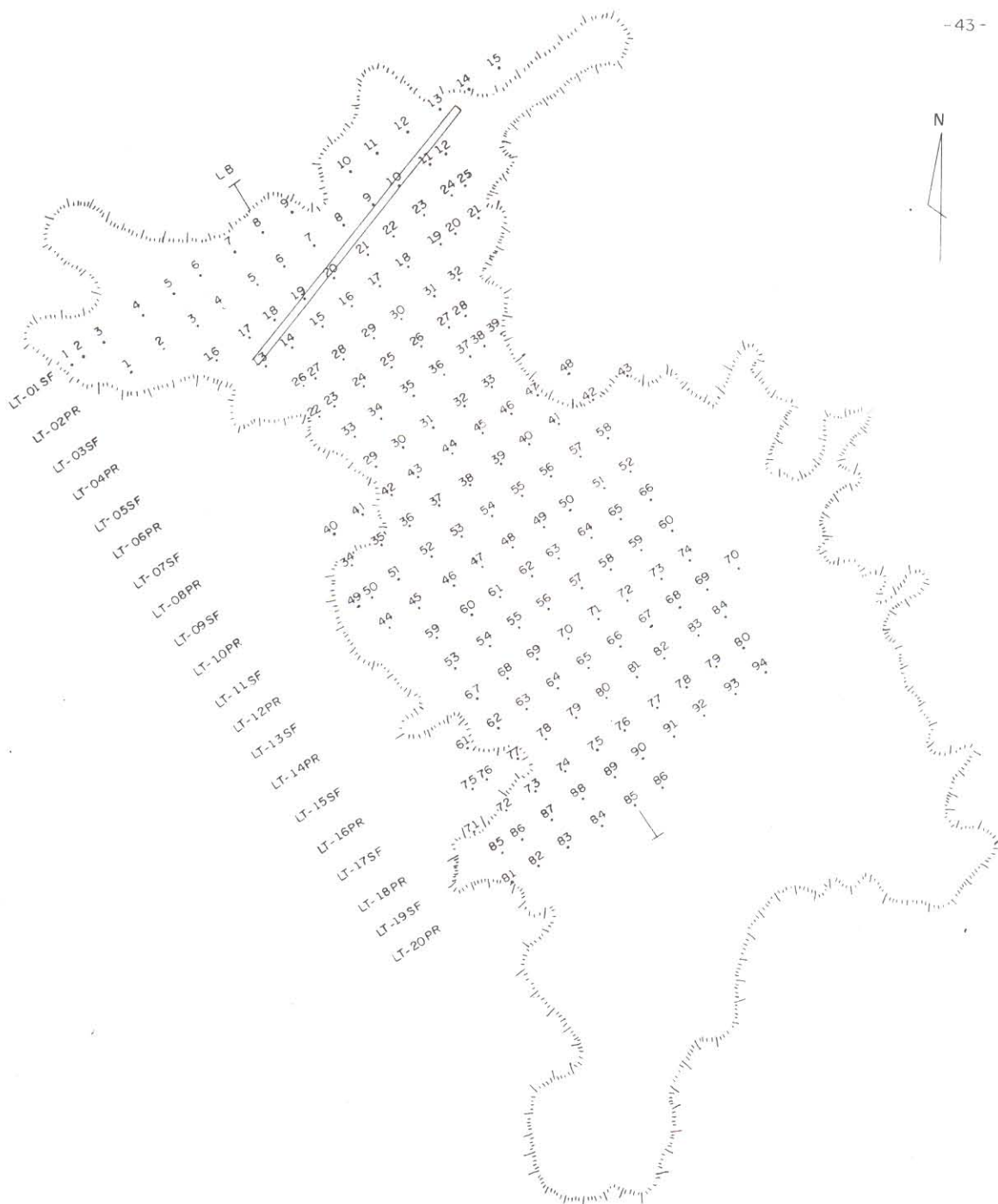
A amostragem foi realizada em uma malha regular com espaçamento de 200 x 100 metros, onde foi coletada a crosta propriamente dita e o solo resultante da desagregação da mesma (Figura 10), num total de 49 amostras no platô da Serra do Pirocaua e 17 amostras de solo concrecionário ferruginoso no morro adjacente.

3.3 - PÓS-CAMPO

3.3.1 - Preparação das Amostras

Após a coleta as amostras foram preparadas no laboratório da CPRM - Superintendência de Belém, da seguinte forma:

- separação de blocos maiores para confecção de lâminas petrográficas ou calcográficas;
- quarteamento da amostra;
- cerca de 100 g de cada amostra de rocha foi britada a 3 mm e pulverizada a menos de 200 mesh. No caso de solos, a amostra bruta foi subdividida em três partes. Uma representou a amostra total, e foi pulverizada a -200 mesh, a outra foi peneirada em duas frações: - 200 mesh e entre -80 + 200 mesh, para efeito de comparação e avaliação da melhor fração de solo para estudos geoquímicos na Amazônia.



CONVENÇÕES

- PR- SIGLA DO AMOSTRADOR
- LT- LINHA TRANSVERSAL
- LB- LINHA BASE
- PISTA DE POUSO
- PONTO DE AMOSTRAGEM

200 0 200 400 600 1000m

FIGURA. 9 - MAPA DE AMOSTRAGEM GEOQUÍMICA
ALVO SERRA DOS CARAJÁS-SUBALVO
(N-1)

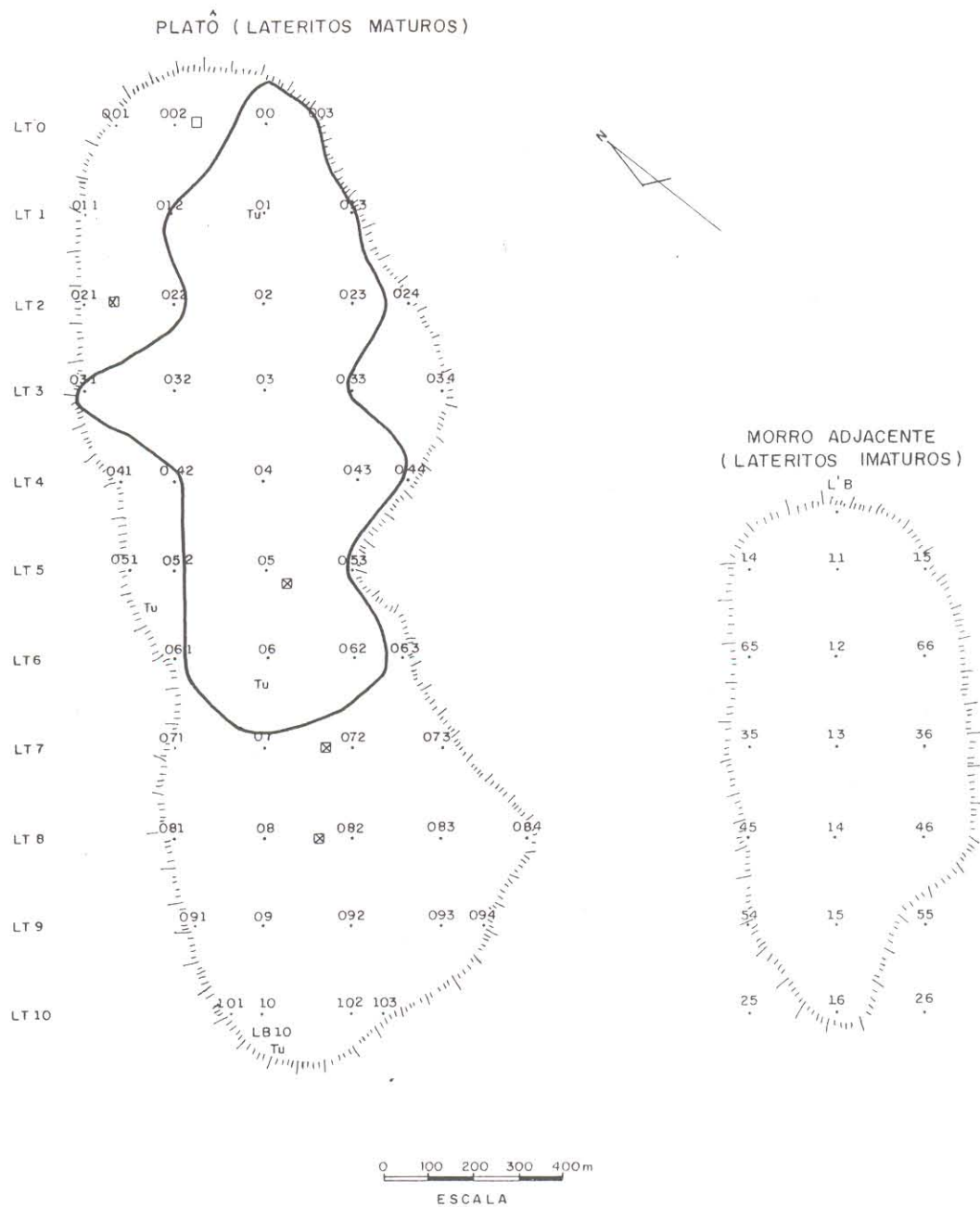


FIGURA. 10 - MAPA DE AMOSTRAGEM DO ALVO AURIZONA

LT - LINHAS TRANSVERSAIS

LB e LB - LINHAS BASES

□ - POÇOS ANTIGOS

3.3.2 - Análises Petrográficas

As lâminas petrográficas foram preparadas através da CPRM- Superintendência de Goiânia. Foram selecionadas 44 amostras, distribuídas da seguinte forma: Alvo Aurizona 15 lâminas petrográficas; N-1, 25 e N-5, 4. Neste contexto foram identificados e quantificados as texturas e os sistemas de plasma e córtex. As análises petrográficas foram auxiliadas pela existência de dados mineralógicos obtidos previamente por difração de raios-x (DRX).

3.3.3 - Análises Mineralógicas

Foram realizadas com o auxílio da difração de Raios-X no Laboratório de Mineralogia (LAMIN) da CPRM, no Rio de Janeiro, em 651 amostras de solo e 290 amostras de rocha. Algumas amostras foram reanalisadas pelo mesmo método no laboratório do Centro de Geociências da UFPA. No LAMIN foi utilizado um - Difratorômetro Philips PW 1140/00, com tubo (ânodo) de ferro (40 KV - 25 mA), filtro de Mn, Contador proporcional: 1670 V, Linha de base: 200 V, Janela: 500 V, Fendas: 1- 0,1 - 1, Fator de escala: 4 x 10, Constante de tempo: 4, Atenuação: 3, Supressor de zero:0; Velocidade angular :2/minuto; Velocidade do papel : 1200 mm/h.

No Centro de Geociências da UFPA, foi empregado o difratômetro Philips, modelo PW 1729, com tubo de cobre. As condições do aparelho para análises foram 2-2 cm/min e 4x10 c/seg., 45 kvolts, 40 ampères e intervalo de 4° a 60°.

No sentido de complementar as análises difratométricas, o LAMIN submeteu parte das amostras a observações com lupa binocular e microscópio petrográfico, visando os minerais acessórios.

Os minerais foram quantificados com base nas análises químicas, utilizando os cálculos estequiométricos.

3.3.4 - Análises Químicas

As análises químicas foram realizadas no laboratório de Mineralogia (LAMIN) da CPRM e na GEOSOL (GEOLAB). Os métodos adotados e aberturas utilizadas estão indicadas na Tabela 3.

O Bi e o Rh, por apresentarem valores qualificados abaixo do limite de detecção do método, em todas as amostras analisadas, não serão considerados nas Tabelas referentes aos elementos traços. O Au e a Pt, quando apresentarem valores qualificados, as amostras serão referenciadas na parte inferior das Tabelas. Em função da quantidade de amostras com valores qualificados ser insuficiente não foi possível estabelecer parâmetros estatísticos para esses elementos.

No caso dos ETR, as amostras foram analisadas no GEOLAB, Divisão de Laboratórios da GEOSOL, Belo Horizonte, MG. Esse laboratório utiliza o método de Espectrometria de Plasma Induzido - ICP. Os valores em ppm, foram normalizados em relação aos condritos, com base em dados de EVENSEN et al. (1978).

Tabela 3 - MÉTODOS, ELEMENTOS E LABORATÓRIOS UTILIZADOS

MÉTODO	ELEMENTOS ANALISADOS	LABORATÓRIOS
Fluorescência de Raios-X :	limite detecção	
	SiO ₂ (0,1 %)	
	Fe ₂ O ₃ (0,1 %)	
	Al ₂ O ₃ (0,05 %)	
	P ₂ O ₅ (0,05 %)	
	Ba (10,00 ppm)	
	Y (10,00 ppm)	
	Nb (10,00 ppm)	
	Zr (10,00 ppm)	
	Ga (10,00 ppm)	
	Sc (10,00 ppm)	
Espectrografia ótica de emissão com pré-concentração :	Pt (10,00 ppb)	GEOSOL
	Pd (1,00 ppb)	
	Rh (20,00 ppb)	
ICP :	La (0,50 ppm)	
	Ce (1,00 ppm)	
	Nd (0,50 ppm)	
	Sm (1,00 ppm)	
	Eu (0,05 ppm)	
	Gd (0,20 ppm)	
	Dy (0,10 ppm)	
	Ho (0,05 ppm)	
	Er (0,05 ppm)	
	Yb (0,05 ppm)	
	Lu (0,03 ppm)	
Absorção Atômica	Ni (1 ppm)	CPRM
	Co (1 ppm)	
	Cr (5 ppm)	
	Cu (1 ppm)	
	Mn (1 ppm)	
	V (5 ppm)	
	As (1 ppm)	
	Bi (10 ppb)	
Fire Assay	Au (0.03 ppm)	

OBS.- Os óxidos foram determinados em %; os elementos traços em ppm e os platinóides em ppb.

3.4 - TRATAMENTO DOS DADOS

A grande quantidade de dados mineralógicos e químicos gerados, foi tratado por métodos estatísticos, com o auxílio de microcomputadores compatíveis IBM-PC/XT.

Entre os "softwares" disponíveis foi utilizado o SISTEMA GEOQUANT (Versão 3.1), para microcomputadores, desenvolvido pelo USGS a partir do STATPAC e adaptado pela CPRM.

O roteiro para a interpretação dos resultados analíticos obedeceu a seguinte ordem:

- 1 - geração de matrizes binárias por alvo, incluindo os resultados de todas as amostras e métodos realizados;
- 2 - aplicação do programa STPSORT, para classificar as amostras numa sequência alfanumérica crescente;
- 3 - emprego do programa REPLAC, que transforma os valores qualificados das matrizes em valores definidos;
- 4 - aplicação do programa STATCOR, com o objetivo de identificar os parâmetros geoquímicos;
- 5 - aplicação do programa ADDORDEL, com o objetivo de suprimir e/ou concatenar linhas ou colunas, para separar elementos afins e tratá-los estatisticamente diferenciados da matriz original;
- 6 - aplicação do programa SUMEST, que calcula a estatística básica das variáveis selecionadas. Para a definição dos parâmetros geoquímicos, algumas considerações foram feitas quanto a distribuição dos elementos, se tinham um comportamento normal ou lognormal (AHRENS, 1957). Neste estudo utilizou-se o teste de distribuição de KOLMOGOROV SMIRNOV E CHI-QUADRADO. Foi observado que em todos os alvos

estudados o Bi e o Rh, por apresentarem concentrações abaixo do limite de detecção, não foram processados e consequentemente não serão interpretados neste trabalho.

No alvo TN-6 na serra do Tiracambu, o P_2O_5 e a Pt não foram processados por apresentarem concentrações abaixo do limite de detecção, enquanto Au, Cu e Co também não foram por apresentarem quantidade de dados insuficientes para o tratamento estatístico.

Através dos testes de Kolmogorov-Smirnov e chi-quadrado, observou-se que 85 % dos elementos analisados apresentaram uma distribuição lognormal ao nível de significância de 5 % e 1 %. enquanto o Ni, Zr, Pd e Nd na amostra total; Cu, Co e Cr na fração - 200 mesh e Cu e V na fração -80 + 200 mesh mostraram uma distribuição lognormal e consequentemente para estes elementos em suas respectivas frações, serão considerados para cálculos a média e o desvio aritméticos. Em N-5, Au e Co não foram processados tanto na amostra total como nas frações em virtude da insuficiência de dados para o tratamento estatístico. O ouro, apresentou valores definidos em 03 amostras e será considerado como destaque no mapa de distribuição dos elementos. Na amostra total e na fração - 200 mesh o Ni e o Nb não se enquadraram na distribuição lognormal através dos testes de Kolmogorov-Smirnov e chi-quadrado, caracterizando-se através dos mesmos testes como uma distribuição normal. Fato semelhante ocorreu com o Ba e Pd na fração - 200 mesh. Na fração -80 + 200 mesh, Cu e Pd não serão considerados na interpretação em virtude de não terem apresentado variação em suas concentrações, sempre abaixo do limite de detecção.

No alvo N-1, Au e Pt quando submetidos ao programa SUMEST, não foram processados por apresentarem número insuficiente de dados e serão considerados como destaque. Dos

outros elementos analisados apenas o Co, Ba e Y não apresentaram uma distribuição lognormal.

Por outro lado, no alvo Aurizona o Au, Nb, Pt e Pd também não foram processados em função da pequena quantidade de valores qualificados e por isto serão considerados também como destaques nos mapas de distribuição dos elementos. Os outros elementos analisados submetidos aos testes de Kolmogorov Smirnov e chi-quadrado, aceitaram uma distribuição lognormal, com exceção do Co.

O CORREL, foi utilizado para estabelecer as matrizes de correlação pelo método do momento de PEARSON.

7 - aplicação do programa CLUSTER ou Análise de Agrupamento em todos os alvos. Este programa é uma técnica estatística multivariada, que utiliza a similaridade entre indivíduos para classificá-los hierarquicamente em grupos, mais ou menos homogêneos, considerando-se simultaneamente todas as variáveis para cada indivíduo. As medidas do grau de similaridade utilizadas foram o coeficiente de distância euclidiana e o coeficiente de correlação de Pearson. O coeficiente de distância foi utilizado para estabelecer o grau de similaridade entre os pontos amostrados, enquanto o coeficiente de correlação foi usado para medir o grau de similaridade entre as variáveis analisadas. O primeiro caso é conhecido como modo "Q" e o segundo, como modo "R" de análises de agrupamento (SOBREIRO NETO & CAMPOS, 1980; ROY, 1981). Esse agrupamento hierárquico é representado em duas dimensões pelo diagrama dendrítico, denominado dendrograma (LANDIN, 1976).

8 - utilização do Programa TERPLOT, para confecção dos diagramas ternários, para o qual as matrizes originais de dados foram pré-processadas através do Programa CONVMAT;

9 - no tratamento estatístico dos ETR, a partir de sua normalização com o padrão condritico de EVENSEN et al. (1978), adotado pela GEOSOL, foi aplicado o Programa TR1 do Sistema Petro (Versão 3.1), em desenvolvimento na CPRM pelo geólogo João Henrique Gonçalves que fornece:

- anomalias de Eu/Eu^* , Ce/Ce^* e outras relações tais como:
 Eu/Sm , La/Lu , Ce/Yb , Gd/Yb , La/Ce , La/Yb , Gd/Lu e La/Sm , que envolvem o comportamento entre os ETR.

Tanto para as anomalias de Eu/Eu^* quanto as de Ce/Ce^* , foi utilizado o seguinte significado:

$\text{Eu}/\text{Eu}^* < 1$ - anomalias negativas;

$\text{Eu}/\text{Eu}^* = 1$ - ausência de anomalias

$\text{Eu}/\text{Eu}^* > 1$ - anomalias positivas;

10 - aplicação do programa FINDRG, que seleciona nas matrizes, as amostras a partir do intervalo ou dos valores anômalos estabelecidos no tratamento, selecionando aquelas de primeira, segunda ou terceira ordem;

11 - finalmente para o delineamento da distribuição multielementar, após a interpretação dos estudos estatísticos, foi utilizado o programa "TOPO" da Golden Software, Versão 4.1, que além de possibilitar a visualização da distribuição dos elementos estudados em planta, também o faz em três dimensões, quando utiliza-se o programa "SURF". Apresenta como resultado, mapas individuais (por elemento) de

isotopos, que a partir das associações geoquímicas foram integrados, para refletir as dispersões de multielementos em cada alvo.

Este programa consiste da gridagem de amostras coletadas em malhas regulares, tomando como base o inverso do quadrado da distância de cada ponto na área amostrada.

A integração das crostas nos diagramas $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3$ e $\text{P}_2\text{O}_5\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3$, foi realizada através do programa "AMBGeo", desenvolvido por GONÇALVES(1992), que consiste num ambiente processador de comandos, cálculos, diagramas e arquivos, escritos na linguagem Pascal.

4 - SERRA DO TIRACAMBU-(TN-6) - RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 - ASPECTOS GEOLÓGICOS

A geologia regional, (VILAS BOAS,1990) é constituída por rochas sedimentares da Bacia do Maranhão , especialmente aquelas da seção Cretácica, representada pelas formações Itapecuru e Ipixuna. Essas rochas em superfície, normalmente se encontram fortemente intemperizadas, representando espessos perfis lateríticos completos ou truncados, portadores de bauxitas.

Sobre as bauxitas, e delineando a superfície dos terrenos mais elevados, encontram-se materiais amarelados, argilosos, tipo latossolo, equivalentes ao que se denomina Argila de Belterra(TRUCKENBRODT & KOTSCHOUBEY,1981). Sedimentos Terciários da formação Barreiras, ocorrentes nesta parte da Amazônia, não estão claramente representados na região.

O depósito de bauxita do "Distrito Bauxítico de Tiracambu Norte ", aqui estudado, tem forma de platôs baixos, extremamente recortados, remanescentes de antigas superfícies de aplainamento dissecadas posteriormente pela erosão.

Na área objeto deste trabalho(**ÁREA TN-6**), a superfície mapeada é formada tão somente de material amarelo argiloso a areno-argiloso, quase plástico, tipo latossolo, composto de argilo-minerais, quartzo e hidróxidos de ferro e alumínio (Figura 11). Esse material é equivalente ao que TRUCKENBRODT & KOTSCHOUBEY (1981 -) denominaram de Argila de Belterra na região de Paragominas e no Baixo Amazonas.

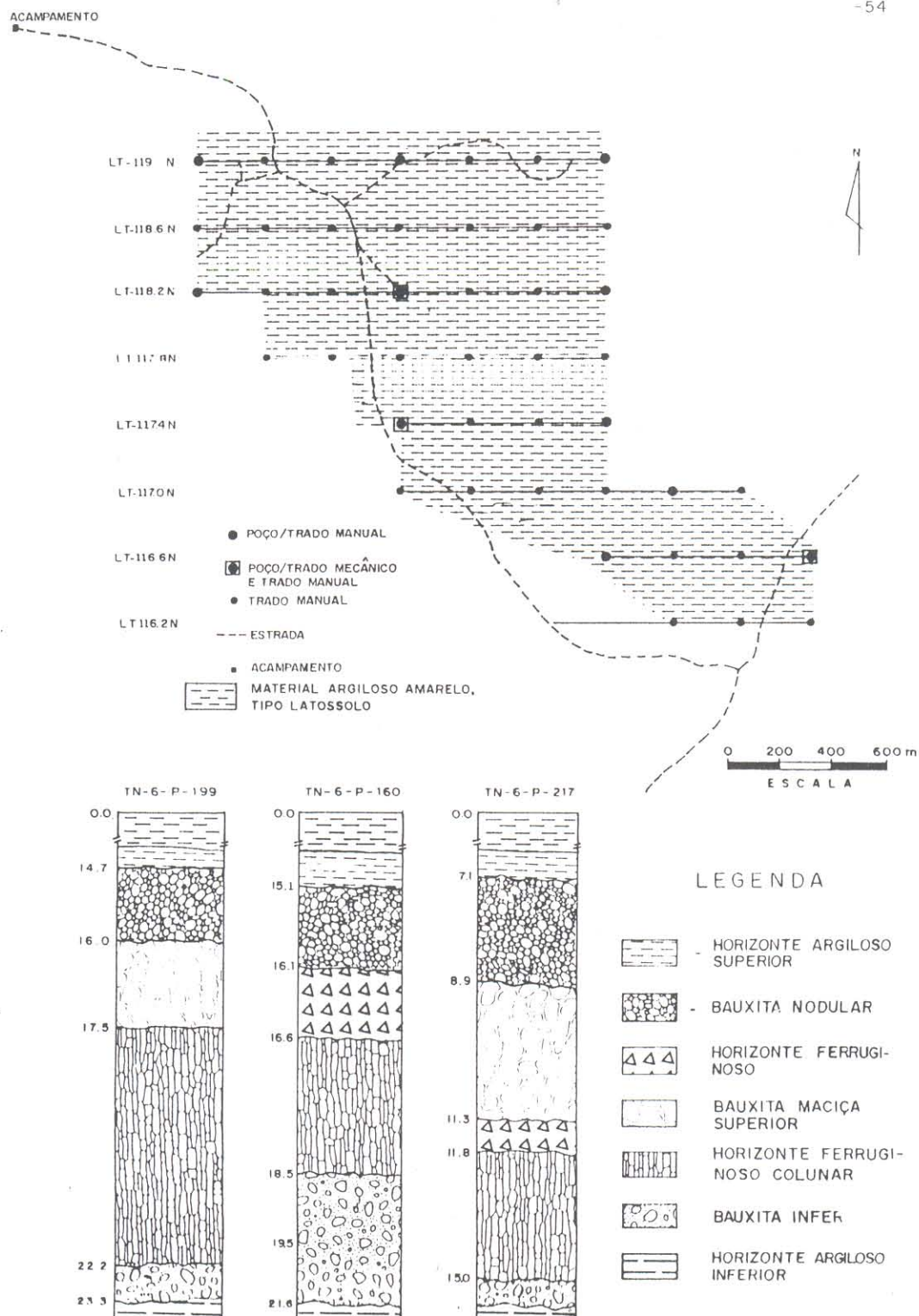


FIGURA. 11 - ASPECTOS GEOLÓGICOS (EM SUPERFÍCIE E PERFIS) DA ÁREA ESTUDADA NO ALVO SERRA DO TIRACAMBU (TN-6)

Os perfis da Figura 11, foram selecionados para ilustrar os horizontes do TN-6, que podem apresentar pequenas variações locais em relação ao Horizonte ferruginoso, quanto ao seu posicionamento.

No TN-6, o perfil laterítico do poço TN-6-199, ultrapassa os 24 m e apresenta os seguintes horizontes do topo para a base:

- **Horizonte argiloso superior** (da superfície até 15,0 metros de profundidade) - é constituído de material argiloso amarelo indo do creme até róseo, passando a avermelhado com o aumento da profundidade. Não apresenta qualquer estruturação especial.

- **Bauxita nodular** (de 0,5 a 2,0 m de espessura), com coloração creme-amarelada e predominância da estrutura nodular.

Os nódulos têm dimensões que variam de 0,5 a 5,0 cm. No topo da sequência se apresentam com aspecto criptocristalino e na base microcristalinos. Os nódulos estão envolvidos por uma matriz argilosa de coloração creme a amarela.

- **Horizonte ferruginoso** (de 0,0 a 1,0 m de espessura), no poço TN-6-160 é constituído de esferólitos e pisólitos de oxi-hidróxidos de ferro, que podem se apresentar coesos ou incoesos. A coesão é provocada por cimento/plasma ferruginoso a ferro-aluminoso.

- **Bauxita maciça superior** (de 0,0 a 5,0 m de espessura) com textura sacaroidal e esponjosa, cor avermelhada e microcristalina.

- **Horizonte ferruginoso** colunar (espessura média de 4,0 m com coloração marrom escura, constituído de blocos e fragmentos formados por esferólitos e

pisólitos de óxi-hidróxidos de ferro. O cimento é basicamente de óxi-hidróxidos de ferro e de alumínio.

-Bauxita inferior (com 0,0 a 3,0 m de espessura), com coloração predominantemente marrom avermelhada e textura esponjosa, comparável a bauxita superior.

-Horizonte argiloso(atingido apenas no seu topo), encontra-se imediatamente subjacente ao bauxítico inferior, tem coloração branco amarelada, com manchas avermelhadas. Segundo os furos de sondagem se estende a dezenas de metros de profundidade.

Perfis laterítico-bauxíticos similares a este, em termos gerais são encontrados na região de Paragominas e mesmo no Baixo Amazonas, discutidos por DENNER & NORTON(1977), KRONBERG et al.1979 e KOTSCHOUBEY & TRUCKENBRODT (1981).

A Figura 11 ilustra o material predominante da cobertura, composta principalmente por caulinita e goethita. Observações de subsuperfície foram realizadas nos poços TN-6-P.199, TN-6-P.160 e TN-6-P.217. Embora os horizontes bauxíticos nodular e inferior apresentem espessuras às vezes diferentes, ocorrem no mesmo nível estratigráfico. O Horizonte ferruginoso apresenta um comportamento diferente, podendo mesmo não ocorrer, como acontece no TN-6-P.199.

4.2 - MINERALOGIA

Nos materiais argilo-arenosos da superfície até 1,50 metros de profundidade, amostrados neste trabalho, os minerais identificados por DRX foram a caulinita, goethita aluminosa, quartzo e anatásio. A caulinita é o mineral dominante (Tabela 4), seguida da goethita aluminosa. O teor de alumínio na goethita é muito elevado, segundo mostram os diagramas de DRX (Figura 12), que parece não variar na grande maioria das amostras analisadas. Os difratogramas, embora indiquem também à presença de rutilo, apresentam a maior frequência de anatásio em todas as amostras, que apresentam teores normais de Al_2O_3 para perfis lateríticos semelhantes a estes (ANEXOS I a III). Em lâmina delgada, através de microscopia ótica, foram identificados zircão e turmalina como acessórios.

Tabela 4 - COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA MÉDIA (% EM PESO) DAS AMOSTRAS DE SOLO DO ALVO TN-6 NA SERRA DO TIRACAMBU

		Caulinita	Al-goethita	Quartzo	Anatásio	Total e rutilo
Amostra total						
N=43	X	69.0	18.0	3.8	2.0	92.3
	S	0.7	1.7	0.1	0.1	1.7
Fração - 200 #						
N=43	X	72.0	18.0	4.0	2.3	95.5
	S	1.2	0.7	0.1	0.2	1.7
Fração -80+200#						
N=43	X	72.0	16.7	3.8	2.3	95.3
	S	1.2	0.8	0.1	0.4	1.4
X - Média aritmética		S - Desvio padrão aritmético				

A percentagem em moles de $\text{AlO}(\text{OH})$ na goethita, $\text{FeO}(\text{OH})$, foi estimada em 33 %, por correlação com o padrão das goethitas aluminosas de SCHULZE(1984).

Sua fórmula mínima equivale a $(\text{Fe}_{0.67}, \text{Al}_{0.33}) \text{OH}$. Essa goethita, entre todas as demais aqui estudadas, é a que apresenta maior teor molar de alumínio, sendo a responsável pela cor amarela dos solos coletados.

Já a composição mineralógica em perfil (sem estudo detalhado, por não ser objetivo deste trabalho), é mais complexa e depende da natureza de cada Horizonte. Gibbsita torna-se um mineral freqüente, e é o principal mineral do Horizonte de bauxita nodular, superior e inferior.

Caulinita, ocorre expressivamente na bauxita nodular e no Horizonte argiloso inferior.

Goethita e hematita são os minerais principais dos horizontes ferruginosos, seguidos por gibbsita e caulinita. A goethita, apresenta-se nas variedades ferruginosa e ferro-aluminosa.

Lepidocrocita é rara, e quando encontrada no perfil ocorre em concentrações variadas. O anatásio está presente em toda a seqüência, seguido dos acessórios primários mais comuns como zircão, turmalina e rutilo.

A diferença mineralógica fundamental entre o material da superfície e o do perfil está na ausência de gibbsita e na abundância de goethita aluminosa.

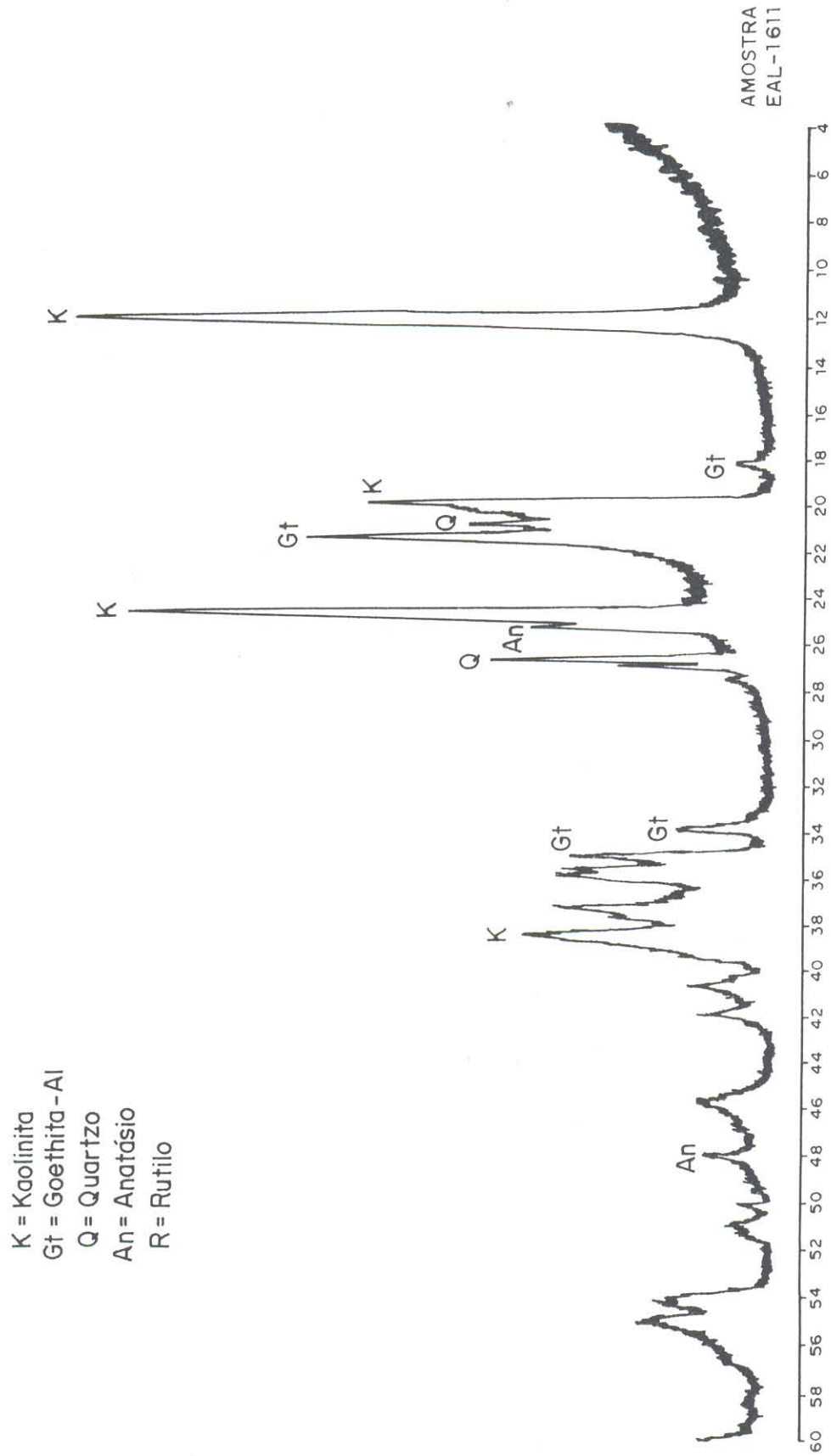


Figura. 12 - Difrátograma de raios-X da amostra (EAL-1611) de solo do alvo Serra do Tiracambu (TN-6)

4.3 - GEOQUÍMICA

4.3.1 - Composição Química

O sumário estatístico das concentrações dos elementos químicos analisados nas amostras coletadas a 1,5 metros de profundidade no alvo TN-6, para rocha total e as frações - 200 mesh e entre -80+200 mesh pode ser visualizado nas Tabelas 5 a 7. Destacam-se os altos teores de SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 , que são praticamente idênticos, tanto na amostra total como nas frações, respectivamente na ordem de 38,00 33,00 e 10,00 %, da mesma forma que Al_2O_3 em torno de 2,15 a 2,38 %. As concentrações de P_2O_5 são muito baixas, variando entre 0,05 a 0,10 %. Estes teores refletem a mineralogia das amostras com predominância de caulinita, Al-goethita, quartzo e anatásio + rutilo.

A composição química da cobertura superficial do TN-6, na amostra total e nas frações também pode ser observada nos diagramas triangulares. O diagrama Fe_2O_3 - SiO_2 - Al_2O_3 , mostra (Figura 13), que os campos químico-composicionais desses materiais são praticamente idênticos entre si com exceção de um pequeno grupo de 5 amostras da fração - 200 mehs, descrevendo um outro campo. A figura ressalta o caráter essencialmente alumino-silicoso da cobertura superficial do alvo TN-6, confirmando a mineralogia dominada por caulinita nas amostras coletadas.

Os teores de Al_2O_3 , com média de 2,15 a 2,38 %, com variações muito pequenas para a amostra total e as frações encontram-se ao nível dos lateritos mais comuns, derivados de sedimentos e granitóides e representam o anatásio e o rutilo.

Em Tiracambu, o material argilo-arenoso amarelo, é, portanto além de mineralógico, quimicamente homogêneo, e não apresenta diferenças químico-mineralógicas quando se compara a amostra total com as respectivas frações -80+200 e - 200 mesh.

TABELA 5 - SUMÁRIO ESTATÍSTICO DAS CONCENTRAÇÕES DOS ELEMENTOS QUÍMICOS EM AMOSTRAS DE SOLO ANALISADAS NA SERRA DO TIRACAMBU - (TN-6) (AMOSTRA TOTAL)

ELEMENTOS	X	G	S	DG	Vmin	Vmax	GRAU DE DETECÇÃO (%)
N = 43							
% peso							
SiO ₂	38,25	38,24	0,56	1,01	36,80	39,30	100
Al ₂ O ₃	33,75	33,74	0,81	1,02	31,90	35,10	100
Fe ₂ O ₃	10,63	10,62	0,45	1,04	8,90	11,40	100
TiO ₂	2,15	2,15	0,10	1,05	1,90	2,40	100
P ₂ O ₅	-	-	-	-	-	-	-
ppm							
Cu	-	-	-	-	-	-	-
Co	-	-	-	-	-	-	-
Ni	8,0	8,0	3,0	1,4	5,0	15,0	83
Mn	131,0	130,0	14,6	1,1	100,0	170,0	100
Cr	147,0	146,0	12,2	1,1	120,0	170,0	100
V	170,0	168,0	23,3	1,1	120,0	240,0	100
Sr	35,8	35,0	2,5	1,0	30,0	40,0	100
Ba	76,0	75,0	8,3	1,1	58,0	95,0	100
Y	34,0	34,1	3,0	1,1	29,0	41,0	100
ppb	53,0	53,3	3,9	1,0	46,0	62,0	100
Zr	1257,0	1122,0	637,0	1,6	55,0	1500,0	100
Ga	58,0	57,3	9,9	1,2	20,0	65,0	100
Sc	17,0	17,3	2,3	1,1	13,0	22,0	98
As	6,9	6,7	2,0	1,3	4,0	11,0	95
ppb							
Pd	3,0	1,9	3,5	2,7	1,0	35,0	58
ppm							
La	19,2	19,0	3,1	1,2	10,2	26,4	100
Ce	42,0	41,5	6,1	1,1	30,5	60,7	100
Nd	10,6	10,5	1,6	1,1	8,0	18,7	100
Sm	2,0	1,9	0,7	1,4	1,5	2,7	100
Eu	0,4	0,4	0,1	1,1	0,3	0,4	100
Gd	1,7	1,7	0,1	1,1	1,3	1,9	100
Dy	2,6	2,6	0,2	1,1	2,1	2,9	100
Ho	0,6	0,6	0,1	1,1	0,5	0,7	100
Er	2,1	2,1	0,2	1,1	1,6	2,5	100
Yb	2,9	2,9	0,4	1,1	1,9	3,5	100
Lu	0,4	0,4	0,6	1,1	0,2	0,5	100
SETRL	74,2	74,0	9,8	1,1	58,5	103,3	100
SETRP	10,2	10,3	1,0	1,1	7,6	11,8	100
SETRT	84,4	84,3	10,8	2,2	66,1	115,1	100

X - MÉDIA ARITMÉTICA

G - MÉDIA GEOMÉTRICA

SETRL - SOMATÓRIA ELEMENTOS TERRAS RARAS LEVES

SETRP - SOMATÓRIA ELEMENTOS TERRAS RARAS PASADOS

SETRT - SOMATÓRIA ELEMENTOS TERRAS RARAS TOTAL

S - DESVIO PADRÃO ARITMÉTICO

DG - DESVIO PADRÃO GEOMÉTRICO

TABELA 6 - SUMÁRIO ESTATÍSTICO DAS CONCENTRAÇÕES DOS ELEMENTOS QUÍMICOS
EM AMOSTRAS DE SOLO ANALISADAS NA SERRA DO TICARAMBU-(TN-6)
(FRAÇÃO - 200 mesh)

ELEMENTOS	X	G	S	DG	Vmin	Vmax	GRAU DE DETECÇÃO
N = 43							
% peso							
SiO ₂	38,31	38,30	0,75	1,02	36,70	40,00	100
Al ₂ O ₃	33,98	33,97	0,63	1,01	32,50	35,40	100
Fe ₂ O ₃	9,62	10,29	0,46	1,33	8,00	10,40	100
TiO ₂	2,26	2,24	0,13	1,09	2,10	2,25	100
P ₂ O ₅	0,05	0,05	0,01	1,13	0,05	0,07	26
ppm							
Cu	-	-	-	-	-	-	-
Co	-	-	-	-	-	-	-
Ni	8,4	7,9	3,1	1,4	5,0	15,0	65
Mn	123,0	122,0	17,9	1,1	90,0	150,0	100
Cr	148,0	147,0	10,0	1,0	130,0	180,0	100
V	157,0	155,0	23,4	1,1	120,0	200,0	100
Sr	34,8	34,7	3,0	1,1	29,0	42,0	100
Ba	84,5	84,1	8,6	1,1	65,0	110,0	100
Y	34,3	34,4	3,1	1,1	26,0	40,0	100
Nb	54,6	54,4	4,4	1,1	45,0	62,0	100
Zr	1337,0	1018,0	1207,0	2,2	63,0	1610,0	100
Ga	63,0	63,4	2,0	1,0	58,0	67,0	100
Sc	19,4	19,3	2,1	1,1	14,0	24,0	100
As	7,7	7,5	2,8	1,3	3,0	13,0	100
La	21,4	21,0	3,3	1,2	13,2	38,9	100
Ce	46,0	45,4	7,6	1,2	31,3	76,7	100
Nd	11,1	11,0	1,5	1,1	7,4	15,7	100
Sm	2,4	2,3	0,3	1,1	1,5	3,2	100
Eu	0,4	0,4	0,1	1,1	0,3	0,5	100
GD	2,0	2,0	0,3	1,1	1,2	2,8	100
Dy	2,7	2,7	0,3	1,1	1,9	3,3	100
Ho	0,6	0,6	0,1	1,1	0,4	0,8	100
Er	2,3	2,3	0,3	1,1	1,63	3,2	100
Yb	3,2	3,1	0,4	1,1	1,6	3,1	100
Lu	0,5	0,5	0,1	1,1	2,3	4,2	100
SETRL	81,1	80,1	2,7	1,2	53,7	130,0	100
SETRP	11,4	11,3	1,3	1,1	7,8	14,8	100
SETRT	82,5	80,4	3,9	1,4	10,8	144,8	100

X - MÉDIA ARITMÉTICA

S - DESVIO PADRÃO ARITMÉTICO

G - MÉDIA GEOMÉTRICA

DG - DESVIO PADRÃO GEOMÉTRICO

SETRL - SOMATÓRIA ELEMENTOS TERRAS RARAS LEVES

SETRP - SOMATÓRIA ELEMENTOS TERRAS RARAS PESADOS

SETRT - SOMATÓRIA ELEMENTOS TERRAS RARAS TOTAL

TABELA 7 - SUMÁRIO ESTATÍSTICO DAS CONCENTRAÇÕES DOS ELEMENTOS QUÍMICOS EM AMOSTRAS DE SOLO ANALISADAS NA SERRA DO TIRACAMBU-(TN-6)
(FRAÇÃO -80 + 200 mesh)

ELEMENTOS N = 43	X	G	S	DG	Vmin	Vmax	GRAU DE DETEÇÃO
% peso							
SiO ₂	38,22	38,21	0,70	1,01	36,70	39,60	100
Al ₂ O ₃	33,69	33,69	0,61	1,01	36,50	35,30	100
Fe ₂ O ₃	9,77	9,76	0,46	1,04	8,70	10,80	100
TiO ₂	2,38	2,37	0,23	1,10	2,00	3,40	100
P ₂ O ₅	0,07	0,07	0,02	1,37	0,05	0,17	56
ppm							
Cu	9,2	8,8	2,7	1,3	5,0	15,0	83
Co	-	-	-	-	-	-	-
Ni	5,4	5,3	1,0	1,2	5,0	10,0	28
Mn	131,0	128,0	26,5	1,2	100,0	250,0	100
Cr	159,0	158,0	18,0	1,1	120,0	200,0	100
V	153,0	152,0	16,2	1,1	130,0	200,0	100
Sr	33,4	33,3	2,7	1,0	28,0	40,0	100
Ba	72,0	70,0	16,4	1,2	21,0	100,0	100
Y	32,9	32,7	3,2	1,2	27,0	42,0	100
Nb	51,4	51,1	5,0	1,1	42,0	72,0	100
Zr	1276,0	1268,0	138,0	1,1	1060,0	1650,0	100
Ga	63,2	63,1	2,0	1,0	59,0	68,0	100
Sc	17,7	17,5	2,4	1,1	13,0	22,0	100
As	5,9	5,6	1,9	1,4	1,0	9,0	100
La	20,8	20,5	3,4	1,2	13,0	31,4	100
Ce	44,3	43,8	7,0	1,2	34,0	67,6	100
Nd	11,2	11,1	1,4	1,1	9,0	15,5	100
Sm	2,0	2,0	0,2	1,1	1,7	2,5	100
Eu	0,4	0,4	0,1	1,0	0,3	0,5	100
Gd	1,8	1,8	0,2	1,0	1,5	2,2	100
Dy	2,7	2,7	0,2	1,0	2,4	3,3	100
Ho	0,6	0,6	0,1	1,0	0,5	0,8	100
Er	2,3	2,2	0,2	1,1	1,5	2,8	100
Yb	3,0	2,9	0,4	1,1	1,7	3,7	100
Lu	0,4	0,4	0,1	1,2	0,2	0,8	100
SETRL	78,8	77,9	11,6	1,1	62,3	117,1	100
SETRP	10,9	10,8	1,0	1,0	8,2	13,2	100
SETRT	89,7	88,7	12,0	1,1	72,2	130,3	100

X - MÉDIA ARITMÉTICA

G - MÉDIA GEOMÉTRICA

S - DESVIO PADRÃO ARITMÉTICO

GD - DESVIO PADRÃO GEOMÉTRICO

SETRL - SOMATÓRIA DOS ELEMENTOS TERRAS RARAS LEVES

SETRP - SOMATÓRIA DOS ELEMENTOS TERRAS RARAS PESADOS

SETRT - SOMATÓRIA DOS ELEMENTOS TERRAS RARAS TOTAL

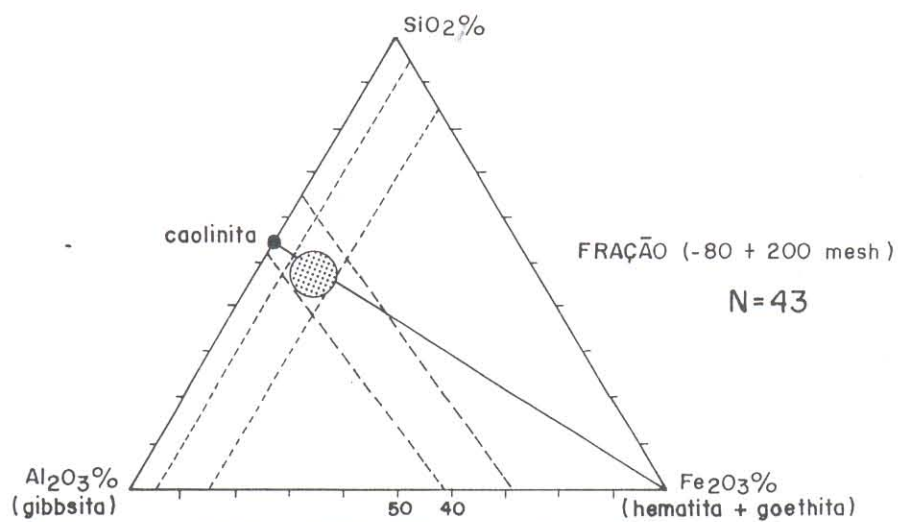
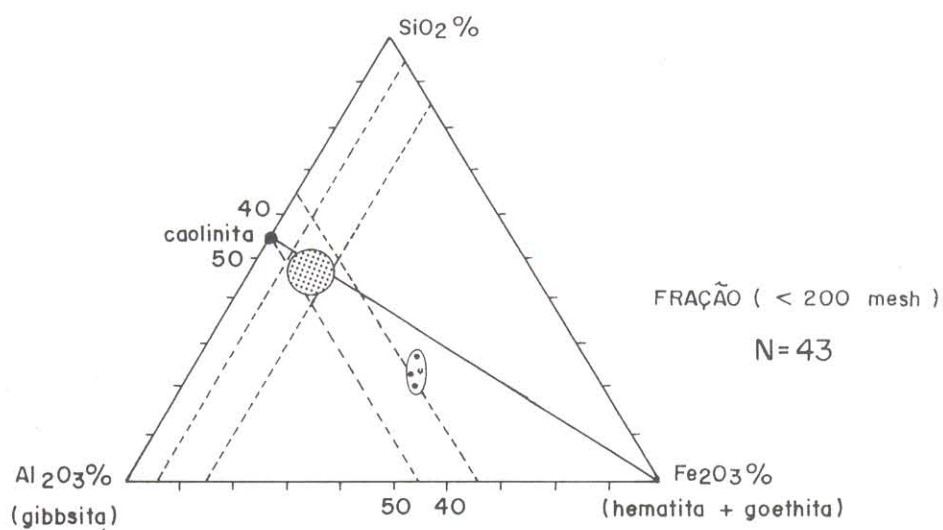
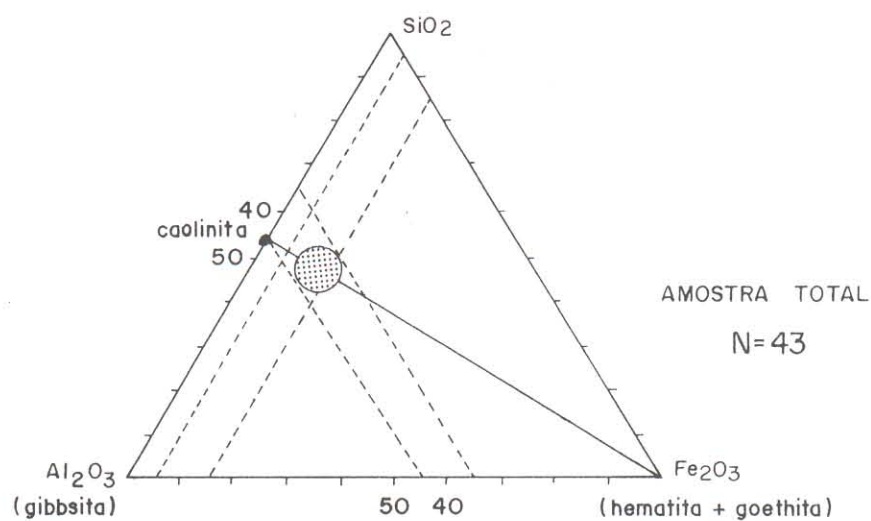


Figura. 13 Diagramas triangulares SiO_2 - Al_2O_3 - Fe_2O_3 das amostras de solo do alvo serra do Tira-cambu (TN - 6).

4.3.2 - Elementos Traços

Com relação aos elementos traços, os latossolos do alvo TN-6 da Serra do Tiracambu (Tabela 8), também apresentam concentrações similares entre si para a amostra total e as frações -80+200 e - 200 mesh. Suas concentrações, se comparadas com a média crustal, apresentam o seguinte quadro:

- **são inferiores ao teor crustal: Cu,Co,Ni,Mn,Sr,Ba,Sc,ETR**
- **encontram-se ao nível crustal: Y,Yb,(Lu)**
- **são superiores ao nível crustal: Cr,V**
- **são muito superiores ao nível crustal:Zr,As,Nb**

Por outro lado, se comparados com as concentrações das bauxitas de Paragominas (KRONBERG et all.1979,) a maioria dos elementos traços dos solos do TN-6 de Tiracambu estão em concentrações superiores, com destaque para Cr, Mn, Sr, Ba, Ga e As

A composição mineralógica dominada por caulinita e Al-goethita e a possível origem desse material a partir dos sedimentos argilosos e quartzosos da Formação Itapecuru, explica a baixa concentração dos elementos traços. As concentrações relativamente elevadas de Cr, V, Zr, As e Nb em relação a média crustal são condicionadas a presença de Al-goethita e zircão, basicamente.

TABELA 8 - COMPARAÇÃO ENTRE OS TEORES MÉDIOS DAS FRAÇÕES ANALISADAS NA SERRA DO TIRACAMBU-(TN-6) E AS BAUXITAS DE PARAGOMINAS

ELEMENTO	AMOSTRA TOTAL	FRAÇÃO - -200 mesh	FRAÇÃO -80+200 mesh	bauxitas (4)	MÉDIA CRUSTAL
% peso					
SiO ₂	38,25	38,31	38,22	6,48	55,20%
Al ₂ O ₃	33,75	33,98	33,69	50,13	8,20%
Fe ₂ O ₃	10,63	9,62	9,77	3,67	5,60%
TiO ₂	2,15	2,26	2,38	1,05	1,04%
P ₂ O ₅	-	0,05	0,07	0,03	0,25%
ppm					
Cu	-	-	9,2	16,0	68,0
Co	-	-	-	0,5	29,0
Ni	8,0	8,4	5,4	5,0	99,0
Mn	131,0	123,0	131,0	20,0-80,0	950,0 (2)
Cr	147,0	148,0	159,0	3,0	122,0
V	170,0	157,0	153,0	265,0	136,0
Sr	35,8	34,8	33,4	7,0	384,0
Ba	76,0	84,5	72,0	7,0	390,0
Y	34,0	34,3	32,0	9,0	31,0
Nb	53,0	54,6	51,4	25,0	20,0
Zr	1257,0	1357,0	1276,0	900,0	162,0
Ga	58,0	63,4	63,2	9,0	19,0
Sc	17,0	19,4	17,7	30,0	25,0
As	6,9	7,7	5,9	4,2	1,8
ppb					
Pd	3,0	-	-	-	4,0 (3)
ppm					
La	19,2	21,4	20,8	25,0	34,0
Ce	42,0	46,0	44,3	50,0	66,0
Nd	10,6	11,1	11,2	10,0	40,0
Sm	2,0	2,4	2,0	3,0	7,0
Eu	0,4	0,4	0,4	0,2	2,0
Gd	1,7	2,0	1,8	3,0	6,0
Dy	2,6	2,7	2,7	2,0	3,0 (1)
Ho	0,6	0,6	0,6	0,5	1,0
Er	2,1	2,3	2,3	3,0	3,0
Yb	2,9	3,2	3,0	3,0	3,1
Lu	0,4	0,5	0,4	-	0,5 (1)
SETRL	74,2	81,1	78,8	88,2	149,0
SETRP	10,2	11,4	10,9	11,5	17,1
SETRT	84,4	92,5	89,7	99,8	166,1

OBSERVAÇÃO : Os valores médios crustais de todos os elementos são de FAIRBRIDGE (1972), com exceção de :

(1) Dy, Lu - TAYLOR (1964); 2) Mn - SAXBY (1969) e

(3) Pd, - WEDEPOHL (1969).

(4) - bauxitas de Paragominas (KRONBERG, FYFE, LEONARDOS Jr & SANTOS, 1979).

4.3.2.1 - Elementos Terras Raras

Os resultados analíticos das Tabelas 5 a 7 indicam que no alvo TN-6 da serra do Tiracambu os latossolos tanto na amostra total como nas frações apresentam concentrações médias dos ETR também ~~similares entre si~~, embora a fração - 200 mesh apresente as concentrações mais elevadas (cerca de 5 a 10%) em relação a amostra total. Entretanto, com exceção do Dy e Lu, ~~encontram-se abaixo da média crustal~~. Em termos relativos, os teores mais baixos (fator 1/4 a 1/3), são de Nd, Sm, Eu, Gd.

Quando comparados com as bauxitas de Paragominas (Tabela 8), esses dois materiais se equivalem em todo conjunto ETR. ~~Por outro lado os teores ETR do alvo TN-6 em Tiracambu, quando comparados com os demais alvos aqui estudados, se equivalem aos latossolos de N-5, composicionalmente, uma bauxita ferruginosa terrosa. Apenas Ce (41,98 contra 30,52ppm) está mais concentrado. Considerando o total de ETRL e ETRP, os ETR em Tiracambu seriam idênticos aos solos de Pirocaua, que segundo os elementos individuais são mais ricos em Nd, Sm, Eu, Gd e Dy, compensando a somatória de ETRL e ETRP.~~

~~As curvas de distribuição dos ETR normalizados aos condritos, (Figura 14), mostra o campo de variação dos mesmos. A morfologia dos campos dessas curvas também identificam similaridades entre a amostra total e as frações dos latossolos, com ligeiro enriquecimento entre os ETRP, após a depleção nos ETR. As curvas geralmente comportam anomalias positivas de Ce e constantemente anomalias negativas de Eu. A figura 15, ilustra curvas normalizadas com essas anomalias nos três conjuntos de amostras. A anomalia Ce/Ce* é comum em lateritos, enquanto que a Eu/Eu* não o é, devendo ter sido herdada das rochas geradoras (rochas-mãe).~~

A relativa abundância de zircão, anatásio e da Al-goethita em particular, sugere que os mesmos devem ser os minerais portadores dos elementos terras raras.

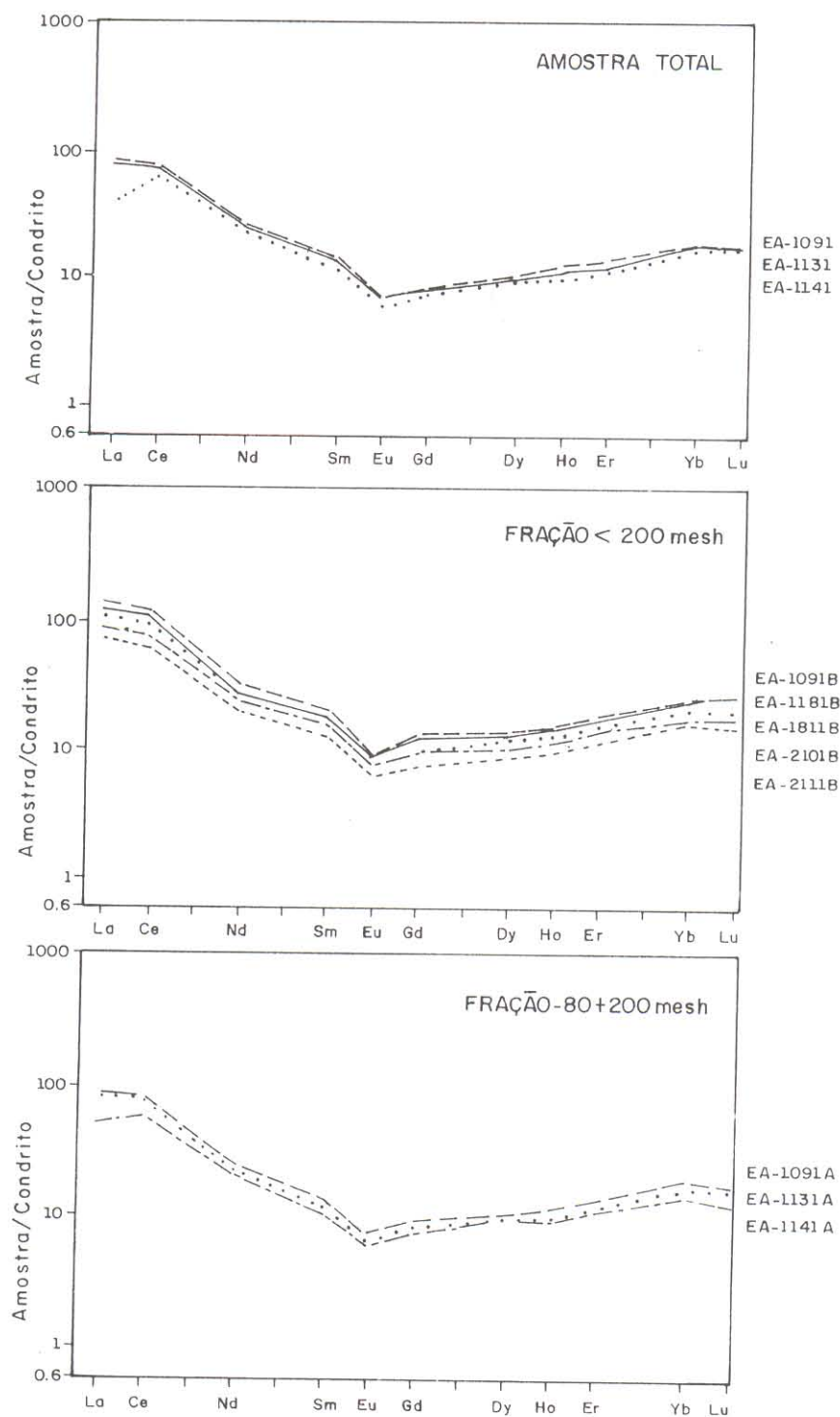


FIGURA 15 AMOSTRAS SELECIONADAS COM Ce/Ce^* e Eu/Eu^* DAS AMOSTRAS DE SOLO DO ALVO SERRA DO TIRACAMBU-(TN-6.)

4.3.3 - Correlações e Associações Geoquímicas

Com base nas matrizes de correlações (ANEXOS IV a VI) foram identificadas as seguintes associações geoquímicas nos solos do alvo TN-6 da serra do Tiracambu (Tabela 9).

Tabela 9 - ASSOCIAÇÕES GEOQUÍMICAS OBTIDAS A PARTIR DAS MATRIZES DE CORRELAÇÃO DA AMOSTRA TOTAL E DAS FRAÇÕES ANALISADAS NO ALVO TN-6 DA SERRA DO TIRACAMBU.

AMOSTRA TOTAL	FRAÇÃO -200 mesh	FRAÇÃO -80+200 mesh
* SiO_2 - Al_2O_3 -Sr-Ga-> Nb-Y-(Mn)-(Ni)	* SiO_2 - Al_2O_3 -(Al_2O_3)-Y-> (ETR)	* SiO_2 -(Cu)
* Al_2O_3 -Sr-Y-Nb-(Ni)-(Mn)-> (Ga)-Ce-ETRP	* Al_2O_3 -(Mn)-V-(Sr)-> (Ba)-Y-(Nb)-(ETR)	* Al_2O_3 -(Sr)-> (Nd)-(Sm)-(Eu)
* Fe_2O_3 -Cu-Cr-Ba-V-Sc-As	* Fe_2O_3 -V	-----
* Zr-(ETR)	* (ETRL)	* Zr-(Eu)-(Nd)

Obs. nas frações - 200 # e entre - 80 + 200 # não foi encontrada qualquer correlação entre ETRL e ETRP.

As associações encontradas, em número de quatro, principalmente na amostra total, delineiam de forma muito clara, os minerais constituintes dos latossolos de TN-6, cada uma representando bem seus minerais, a saber caulinita, anatásio, goethita aluminosa e zircão, exceto quartzo, sem representação, o que é perfeitamente compreensível. Na fração mais grosseira (-80+200#) as associações se dispersam e perdem consistência. A primeira associação, onde predomina SiO_2 e Al_2O_3 , está representada pelo mineral caulinita. A segunda, liderada pelo Al_2O_3 , está intrinsecamente ligada ao anatásio e rutilo, únicos minerais principal de Ti, que aparentemente absorvem Y, Nb, Ce e ETRP. A terceira associação, é liderada pelo Fe_2O_3 , tendo a frente a Al-goethita, que absorve os demais elementos (Cu,Cr,(Ba),V,Sc e As). Essa associação não se observa nas frações -80+200 e -200 mesh.

Os ETR em termos de conjuntos, se relacionam na quarta associação com o Zr, ou seja, encontram-se associados ao mineral zircão e em parte ao anatásio.

A análise de agrupamento, utilizando o Modo R (Figuras 16 a 18), por sua vez discriminou as associações geoquímicas indicadas na Tabela 10.

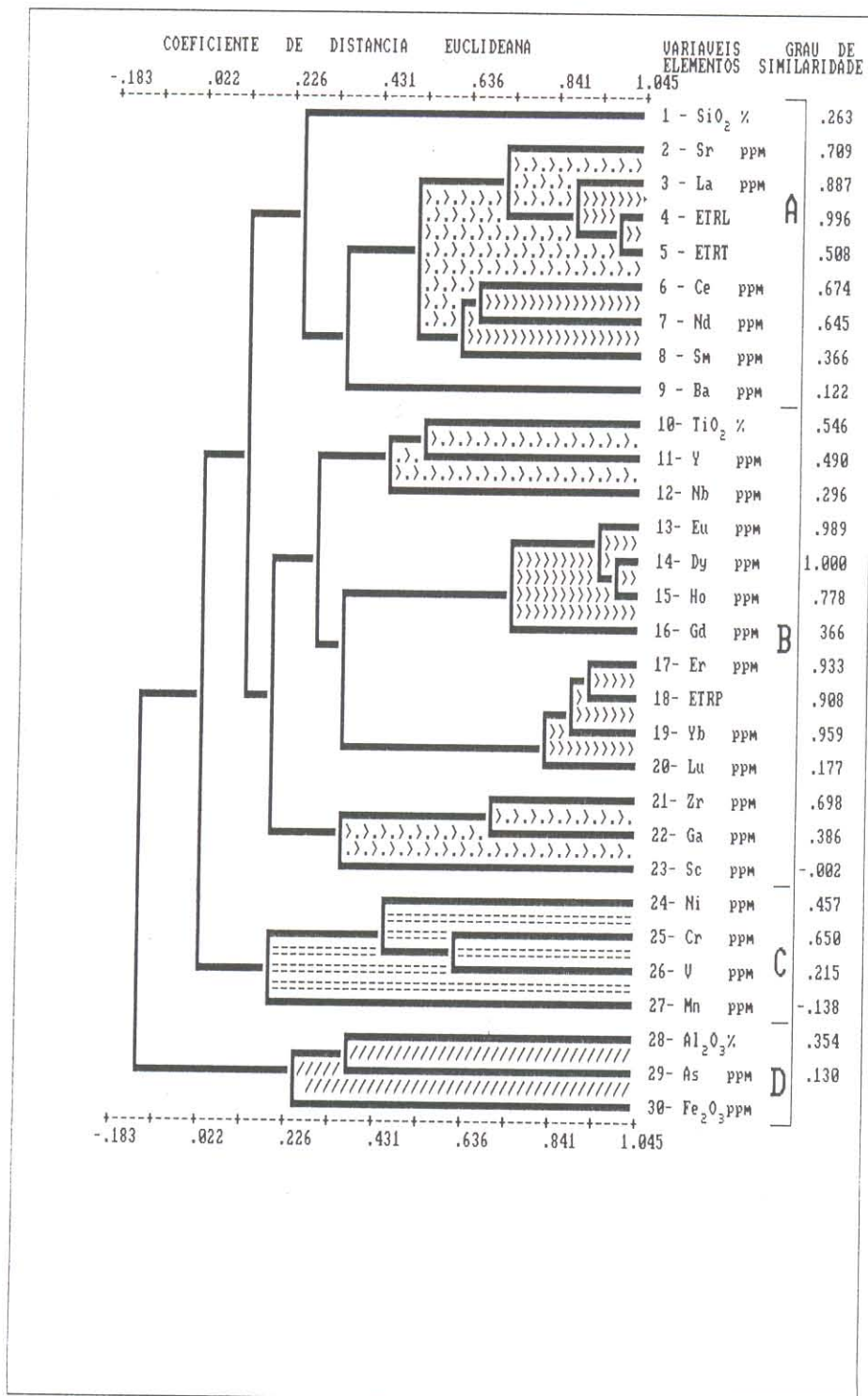
Esse método, ao contrário das matrizes de correlação, delineou associações geoquímicas coerentes, tanto na amostra total como nas frações, onde as associações da amostra total, obtidas através das matrizes de correlação, agora se destacam também na fração - 200 mesh e mesmo na -80+200 mesh.

As associações representativas da caulinita, da Al-goethita e do anatásio estão muito bem representadas, ao contrário daquelas obtidas com as matrizes de correlação. A importância do anatásio e da Al-goethita como concentradores de alguns elementos torna-se mais evidente. A associação do zircônio por sua vez, não se destacou através desse método.

Os estudos estatísticos foram baseados nos resultados de análises químicas, apresentados nos ANEXOS VII, VIII e IX

Tabela 10 - ASSOCIAÇÕES GEOQUÍMICAS OBTIDAS A PARTIR DA APLICAÇÃO DO MODO "R" NA AMOSTRA TOTAL E NAS FRAÇÕES ANALISADAS NO ALVO TN-6 DA SERRA DO TIRACAMBU

AMOSTRA TOTAL	FRAÇÃO -200 mesh	FRAÇÃO -80+200 mesh
* SiO ₂ -Sr-Ba-ETRL	* SiO ₂ -Al ₂ O ₃ -AL ₂ O ₃ -Y-Nb-> Sr-Ga-(Mn)-(Zr)	* SiO ₂ -Al ₂ O ₃ -P ₂ O ₅ -> Cu-Mn-V-Sr
* Al ₂ O ₃ -Y-Nb-Zr-Ga-> Sc-ETRP	* ETRL-ETRP -(Cr)-(Ni)-Ga	* Al ₂ O ₃ -Sc-Y-Nb-Zr->
* Al ₂ O ₃ -As-Fe ₂ O ₃	-----	-----
* Ni-Cr-V-Mn	* Fe ₂ O ₃ -V-Ba-Cr-As-Sc	* Fe ₂ O ₃ -Ba-As-ETR



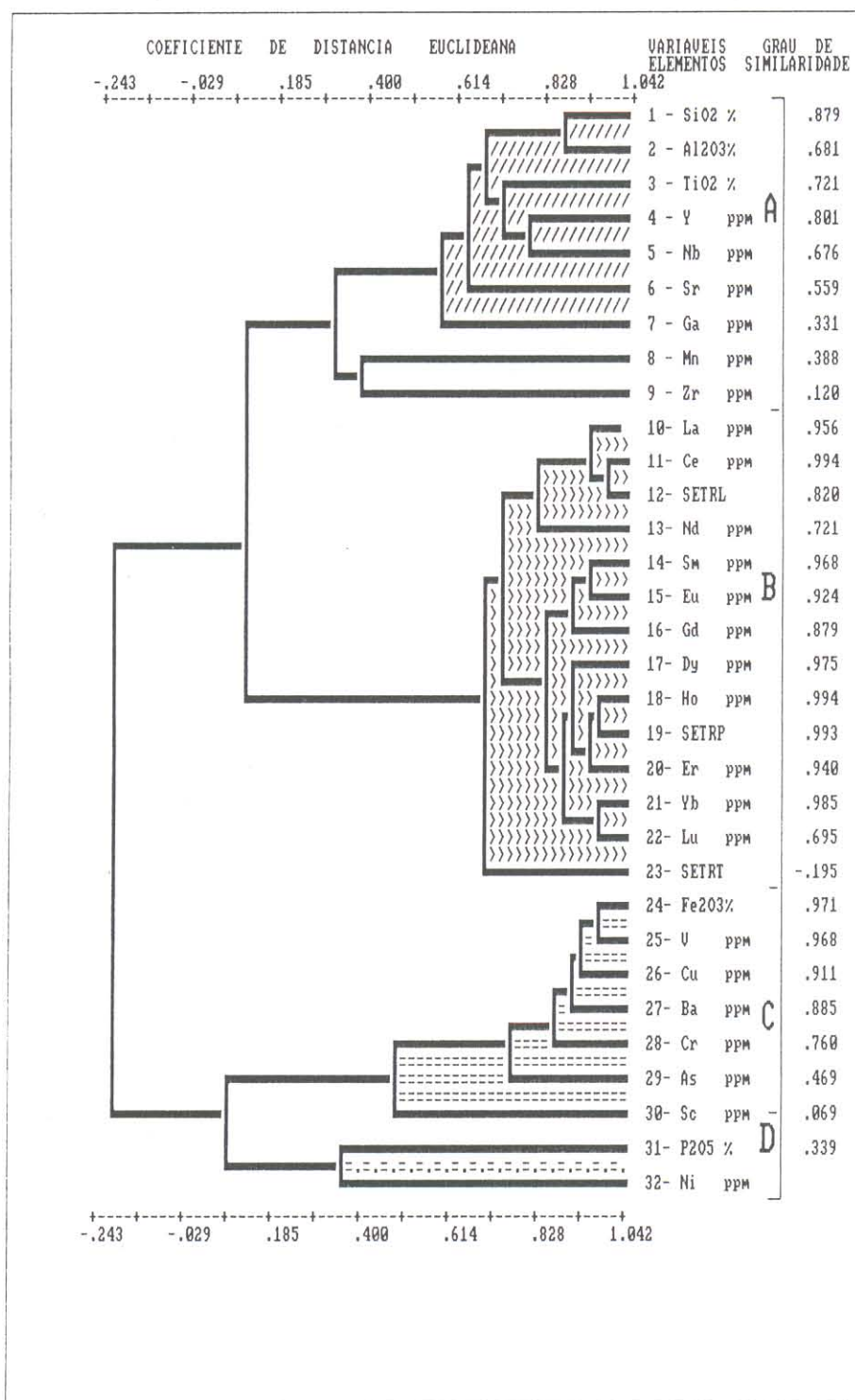


FIGURA 17- DENDROGRAMA MODO "R" DAS AMOSTRAS DE SOLO NA SERRA DO TIRACAMBU (TN-6) (FRACAO < 200 mesh)

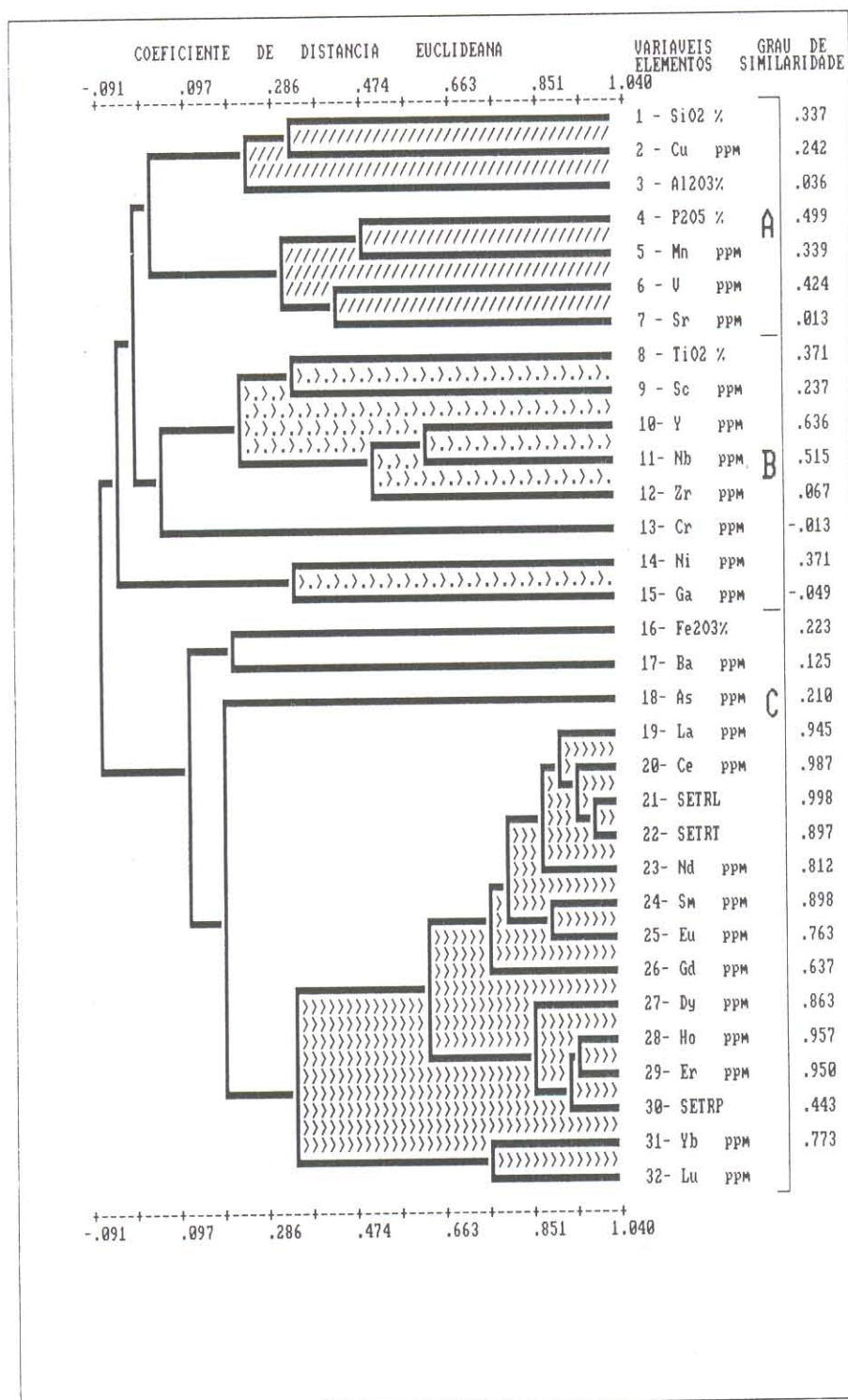


FIGURA 18- DENDROGRAMA MODO "R" DAS AMOSTRAS DE SOLO DO ALVO TN-6 DA SERRA DO TIRACAMBU (FRACAO -80 + 200 mesh)

5. - SERRA DOS CARAJÁS (N-5) - RESULTADOS E DISCUSSÕES:

5.1 - ASPECTOS GEOLÓGICOS

O platô N-5, no qual está localizado o alvo em estudo, tem uma área de aproximadamente 20 Km. É coberto principalmente por uma crosta ferruginosa compacta a oeste (jazida de ferro do N-4) e por material de aspecto argiloso (solo), amarelo a marrom avermelhado a leste ocupando grande extensão. Esse material terroso, foi descrito como bauxita terrosa, com uma espessura de minério variando de 2 a 7 m, sobreposto a uma camada laterítica ferruginosa com ausência de capeamento estéril, apresentando um aspecto friável (ASSAD & BEISIEGEL, 1978). Enquanto a área da crosta é coberta por vegetação do tipo savana, na região da bauxita terrosa (solos) predomina uma vegetação do tipo floresta tropical densa. Nessa última região foi desenvolvido o presente trabalho, que do ponto de vista do modo de ocorrência, assemelha-se ao TN-6, na serra do Tiracambu.

Segundo COSTA et al., (1992), com base em informações de 03 poços e um furo de sonda, nos quais foram analisados aspectos mineralógicos e geoquímicos, o perfil laterítico de N-5 (Figura 19), é constituído dos seguintes horizontes, do topo para a base:

- **Horizonte de solo bauxítico** - que se estende pela superfície do platô, abrangendo uma parte da área estudada. Sua espessura média é de 4.2 metros.
- **Crosta ferruginosa** - de aspecto compacto, cavernoso, de cor avermelhada, predominantemente, com uma espessura média em torno de 10 metros. Seu contato com o Horizonte argiloso subjacente é gradual.

- **Horizonte argiloso** - o mais espesso, com 49 metros, detectado através de furo de sonda. Apresenta duas zonas características : uma superior, de coloração amarelada com aproximadamente 36.6 metros de espessura, formada por nódulos placóides de hidróxidos de alumínio, imersos numa matriz argilosa; outra inferior com até 11 metros de espessura de coloração amarronzada, de constituição quartzosa, contendo concentrações manganesífera.

- **Rocha mãe** - apesar dos furos de sondagem não terem atingido a rocha fresca no N-5, sondagens realizadas às proximidades (platô do N-4), alcançaram rochas basálticas parcialmente hidrotermalizadas do Grupo Grão Pará.

A área deste estudo está representada apenas pelas bauxitas terrosas, na verdade, um solo terroso, marrom avermelhado, espesso.

Sobre ele, foi realizada a coleta de amostras, aqui estudadas. A crosta ferruginosa por sua vez aflora apenas em dois pontos da área(Figura 19). O material terroso, em termos gerais, pode ser correlacionado com os solos(latossolos ou coberturas) do alvo TN-6 na serra do Tiracambu. A extremidade oeste da área estudada está próxima a região de afloramento da crosta, no antigo acampamento de N-5.

5.2 - MINERALOGIA

O material terroso da superfície de N-5, considerado como bauxita ferruginosa (solos ferralíticos), é constituído principalmente de gibbsita(quase 50 %), seguida de hematita e goethita(quase 30 %) e caulinita(em torno de 10%). O anatásio, encontra-se em torno de 4%.

A amostra total e a fração -80+200 mesh, são praticamente idênticas em termos de composição mineralógica. A fração -80+200 mesh é mais rica em hematita e goethita e tem menor teor de anatásio. Os teores de gibbsita são iguais na amostra total e nas frações. São minerais acessórios identificados apenas através do microscópio ótico, o zircão, rutilo e turmalina. O quartzo é apenas acessório, raramente detectado nos DRX.

Não foi possível quantificar separadamente hematita e goethita, em decorrência das análises disponíveis serem parciais, faltando a perda ao fogo.

A goethita, ao contrário do TN-6 em Tiracambu, contém muito menos alumínio em sua estrutura. Comparando os materiais superficiais de Tiracambu com os de N-5, constata-se que embora o modo de ocorrência seja similar, o conjunto mineralógico é parcialmente diferente, caracterizado por abundância dos minerais gibbsita e hematita, este último lhe conferindo uma cor avermelhada e a presença da goethita menos aluminosa. Porém da mesma forma que o TN-6, as amostras tem composição muito homogênea entre si. A composição mineralógica das amostras encontram-se nos ANEXOS X a XII, enquanto a composição mineralógica média da amostra total e respectivas frações pode ser observada na Tabela 11.

Tabela 11 - COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA MÉDIA (% EM PESO) DAS AMOSTRAS DE SOLO DE N-5(SERRA DOS CARAJÁS)

		gibbsita	goethita	caulinita	anatásio	total
		+ hematita				
AMOSTRA TOTAL	X	46.4	27.2	11.1	4.0	88.6
N=56	S	10.0	3.0	5.0	0.5	5.4
FRAÇÃO -200 #	X	47.5	30.0	9.5	3.4	91.2
N=56	S	3.7	5.0	4.2	0.5	3.7
FRAÇÃO -80+200 #	X	45.7	27.5	11.0	3.9	93.6
N=56	S	10.4	3.7	4.1	0.5	5.1

X - média aritmética

S - desvio padrão aritmético

5.3 - GEOQUÍMICA

5.3.1- Composição Química

A composição química das amostras totais e das respectivas frações (-80+200 e -200 mesh) do material terroso superficial de N-5 (Tabelas 12 a 14) é caracterizada pelos altos teores de Al_2O_3 , de 34.5 a 35.0 % e de Fe_2O_3 , de 24.3 a 27.2 %, e os baixos teores de SiO_2 , com 4.4 a 5.0 %. Essa composição reflete o domínio da gibbsita e da hematita e goethita, seguidas de caulinita e a quase ausência de quartzo. Os teores Al_2O_3 , em torno de 34.0%, são compatíveis com a composição de Lateritos, principalmente daqueles derivados de rochas básicas e correspondentes ao anatásio.

A composição química da amostra total e de suas respectivas frações são também equivalentes entre si. Isto é bem evidente no diagrama $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ da Figura 20, no qual foram traçadas linhas tracejadas isocomposicionais, com o objetivo de delinear tanto na amostra total como nas frações, o comportamento químico das amostras coletadas. Observa-se que na amostra total e fração -80 + 200 mesh a composição química é semelhante, enquanto na fração - 200 mesh ocorre uma tendência das amostras para o vértice do Fe_2O_3 , provavelmente pela maior concentração nesta fração da hematita e da goethita. As amostras formam um campo que se encontra no domínio caulinita, hematita, goethita e gibbsita. Esse diagrama também evidencia que a variação composicional mais significativa encontra-se entre Al_2O_3 e SiO_2 .

Os relativos altos teores de Fe_2O_3 e mesmo de Al_2O_3 , relatados por COSTA et al.(1992), retratam possivelmente a influência das rochas básicas(vulcânicas básicas do Grupo Grão Pará). Teores de Al_2O_3 na ordem de 34.0 %, são encontrados em lateritos derivados de rochas básicas (SCHELLMANN, 1986; COSTA, 1984, 1989).

TABELA 12 - SUMÁRIO ESTATÍSTICO DAS CONCENTRAÇÕES DOS
ELEMENTOS ANALISADOS DAS AMOSTRAS DE SOLO
NA SERRA DOS CARAJAS (N-5) - (AMOSTRA TOTAL)

ELEMENTOS N = 56	X	G	S	DG	Vmin	Vmax	GRAU DE DETECÇÃO (%)
% peso							
SiO ₂	5,04	4,62	2,21	1,52	2,40	9,90	100
Al ₂ O ₃	34,99	34,76	4,04	1,12	20,10	40,00	100
Fe ₂ O ₃	24,34	24,20	2,62	1,11	15,90	30,00	100
TiO ₂	4,04	4,04	0,49	1,12	3,10	5,20	100
P ₂ O ₅	0,12	0,12	0,031	1,31	0,08	0,44	100
ppm							
Cu	23,0	21,9	7,6	1,4	15,0	50,0	100
Mn	201,0	194,0	58,0	1,3	120,0	370,0	100
Cr	182,0	178,0	38,0	1,2	100,0	260,0	100
V	272,0	269,0	41,0	1,2	180,0	360,0	100
Sr	21,7	21,0	2,3	1,1	17,0	28,0	100
Ba	179,6	179,0	15,1	1,0	150,0	230,0	100
Y	43,9	33,0	12,9	1,4	16,0	54,0	100
Nb	47,7	47,0	7,3	1,2	30,0	61,0	100
Zr	978,0	950,0	238,0	1,3	570,0	1370,0	100
Ga	54,6	54,0	7,4	1,1	38,0	74,0	100
Sc	44,5	44,3	4,5	1,1	36,0	58,0	100
As	6,1	5,8	2,1	1,4	1,0	9,0	100
ppb							
Pd	5,3	4,5	3,3	1,8	2,0	19,0	52
ppm							
La	17,0	15,2	8,7	1,6	2,2	37,6	100
Ce	30,9	29,1	11,1	1,4	15,2	66,5	100
Nd	13,2	12,2	5,4	1,5	5,6	26,2	100
Sm	2,4	2,2	1,0	1,5	0,9	5,8	100
Eu	0,6	0,5	0,2	1,5	0,2	0,9	100
Gd	2,2	2,1	0,9	1,5	0,9	3,8	100
Dy	3,6	3,3	1,6	1,5	1,5	6,1	100
Ho	0,8	0,7	0,3	1,5	0,3	1,3	100
Er	2,4	2,3	1,0	1,5	0,9	4,0	100
Yb	2,9	2,7	0,9	1,4	1,3	4,5	100
Lu	0,4	0,4	0,1	1,4	0,2	0,6	100
SETRL	63,9	59,5	25,3	1,5	24,5	136,9	100
SETRP	12,3	11,5	4,8	1,5	5,4	20,4	100
SETRT	76,2	67,6	39,7	1,6	6,4	151,2	100

X - MÉDIA ARITMÉTICA

G - MÉDIA GEOMÉTRICA

SETRL - SOMATÓRIA DOS ELEMENTOS TERRAS RARAS LEVES

SETRP - SOMATÓRIA DOS ELEMENTOS TERRAS RARAS PESADOS

SETRT - SOMATÓRIA DOS ELEMENTOS TERRAS RARAS TOTAL

S - DESVIO PADRÃO ARITMÉTICO

DG - DESVIO PADRÃO GEOMÉTRICO

TABELA 13 - SUMÁRIO ESTATÍSTICO DAS CONCENTRAÇÕES DOS ELEMENTOS ANALISADOS DAS AMOSTRAS DE SOLO NA SERRA DOS CARAJAS (N-5)- (FRAÇÃO -200 mesh)

ELEMENTOS N = 56	X	G	S	DG	Vmin	Vmax	GRAU DE DETECÇÃO (%)
%peso							
SiO ₂	4,44	4,07	1,93	1,52	2,10	10,30	100
Al ₂ O ₃	34,86	34,55	4,68	1,14	21,70	40,90	100
Fe ₂ O ₃	27,17	26,83	4,38	1,17	18,40	38,30	100
TiO ₂	3,93	3,89	0,57	1,15	2,40	5,10	100
P ₂ O ₅	0,20	0,17	0,14	1,91	0,11	15,00	100
ppm							
Cu	21,7	20,0	8,4	1,4	5,0	50,0	100
Co*	-	-	-	-	-	-	-
Ni*	-	-	-	-	-	-	-
Mn	250,0	235,0	90,7	1,4	110,0	520,0	100
Cr	282,0	269,0	86,7	1,3	150,0	390,0	100
V	340,0	334,0	63,7	1,2	260,0	500,0	100
Sr	20,9	20,0	3,0	1,1	14,0	27,0	100
Ba	194,2	192,1	28,5	1,1	160,0	310,0	100
Y	32,6	30,5	12,4	1,4	14,0	56,0	100
Nb	50,6	46,6	21,6	1,5	29,0	700,0	100
Zr	869,0	778,0	433,0	1,6	47,0	1270,0	100
Ga	52,4	51,0	9,7	1,2	29,0	69,0	100
Sc	43,3	43,0	4,2	1,1	33,0	50,0	100
As	5,4	4,4	3,9	1,9	1,0	10,0	100
La	15,8	14,46	6,9	1,5	6,5	27,5	100
Ce	29,2	27,7	9,6	1,4	13,3	47,8	100
Nd	12,2	11,3	5,0	1,5	4,8	23,4	100
Sm	2,3	2,2	0,9	1,4	1,0	4,0	100
Eu	0,6	0,5	0,2	1,5	0,2	0,9	100
Gd	2,3	2,1	1,0	1,5	1,0	3,8	100
Dy	3,6	3,2	1,8	1,6	1,3	6,3	100
Ho	0,8	0,7	0,4	1,6	0,2	1,4	100
Er	2,5	2,3	1,3	1,6	0,3	4,3	100
Yb	3,1	2,7	1,7	1,7	0,2	5,1	100
Lu	0,4	0,4	0,3	1,8	0,1	0,7	100
SETRL	60,5	56,7	22,7	1,4	25,8	103,6	100
SETRP	12,6	11,6	5,6	1,5	4,1	21,0	100
SETRT	73,1	68,2	26,9	1,4	31,9	120,4	100

X-MEDIA ARITMETICA

S-DESVIO PADRÃO ARITMETICO

G-MEDIA GEOMETRICA

GD-DESVIO PADRÃO GEOMETRICO

*- ELEMENTOS NÃO PROCESSADOS (quantidade de dados insuficientes)

SETRL - SOMATÓRIA DOS ELEMENTOS TERRAS RARAS LEVES

SETRP - SOMATÓRIA DOS ELEMENTOS TERRAS RARAS PESADOS

SETRT - SOMATÓRIA DOS ELEMENTOS TERRAS RARAS TOTAL

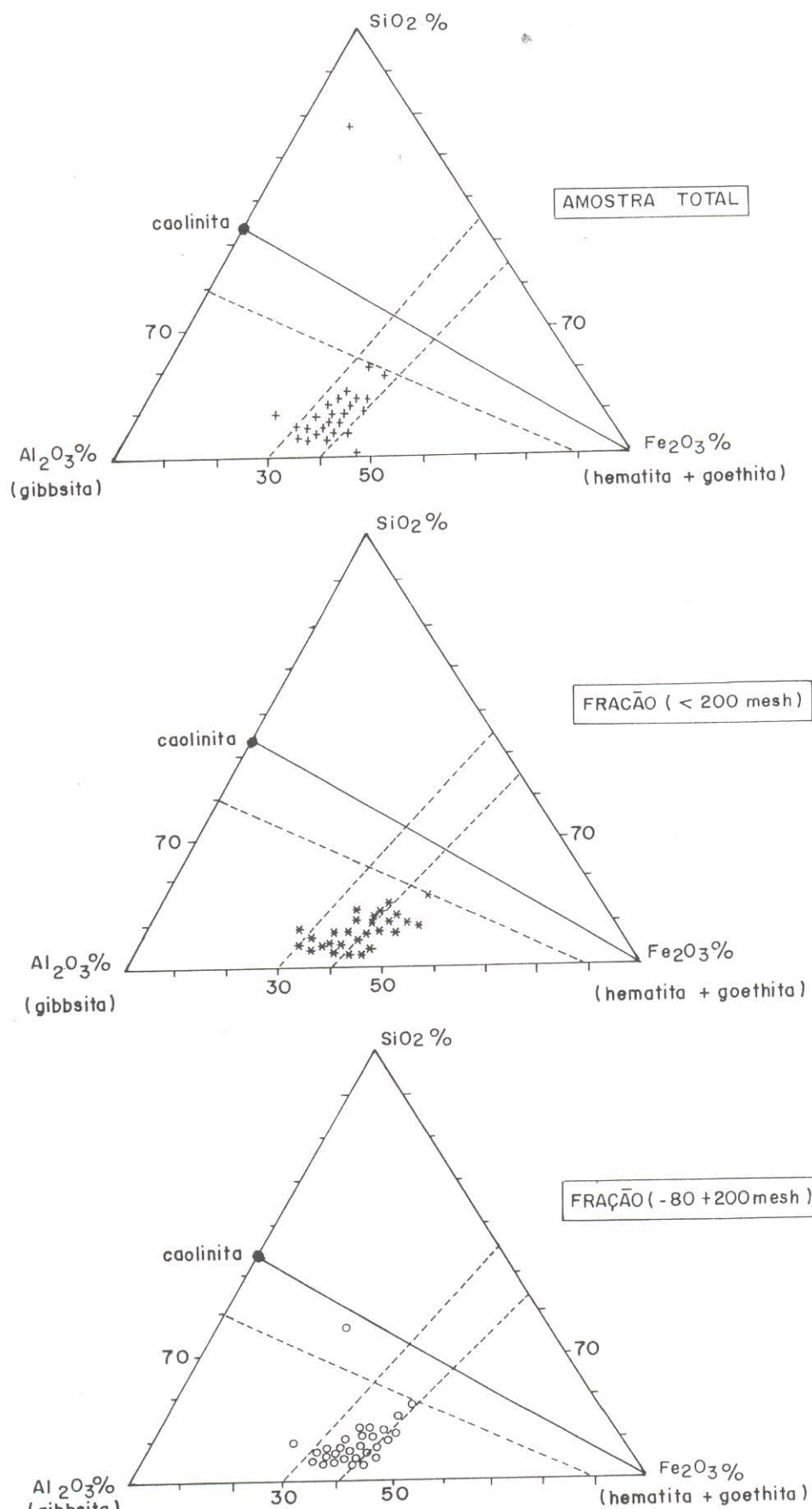


Figura. 20 - Diagramas triangulares SiO₂-Al₂O₃-Fe₂O₃ das amostras de solo do alvo serra dos Carajás (N-5)

5.3.2 - Elementos Traços

As concentrações médias dos elementos traços estão também indicadas na Tabela 15, para a amostra total e suas respectivas frações. Da mesma forma que para os elementos principais, a amostra total e a fração -80+200 mesh são muito semelhantes entre si, ou praticamente idênticas, em relação a todos os elementos analisados e detectados. A fração - 200 mesh, distingue-se entretanto, pelos teores mais elevados de Mn, Cr e V. Esses elementos são aqueles que tipicamente se relacionam aos minerais de ferro, que estão mais concentrados nesta fração.

As concentrações dos elementos traços ~~detectados~~ estão por sua vez ainda sob nível crustal ou equivalentes a este, exceto V, Nb, Zr, Ga, Sc e As, que apresentam-se mais elevados. Esses elementos, são encontrados em lateritos, normalmente com teores acima dos níveis crustais. Comparando os elementos traços com aqueles das bauxitas de Paragominas(Tabela 16), suas concentrações são superiores, exceto para o Zr na fração - 200 mesh, enquanto que comparando com a mesma região (COSTA, 1992), as concentrações são compatíveis, com exceção do Y e Zr, menores, enquanto Cr e Mn apresentam-se mais elevados. Esses fatos contribuem para salientar a influência da contribuição de rochas básicas, indiretamente, na formação desses solos ferralíticos de N-5, de composição bauxítica .

TABELA 15 - COMPARAÇÃO ENTRE OS TEORES MEDIOS DA AMOSTRA TOTAL E DAS FRAÇÕES ANALISADAS NA SERRA DOS CARAJAS-(N-5)

ELEMENTO	AMOSTRA TOTAL	FRAÇÃO - 200 mesh	FRAÇÃO -80 + 200 mesh	MEDIA CRUSTAL
% em peso				
SiO ₂	5,04	4,44	4,76	55,20 %
Al ₂ O ₃	34,99	34,86	34,49	8,20 %
Fe ₂ O ₃	24,34	27,17	24,72	5,60 %
TiO ₂	4,04	3,93	3,93	1,04 %
P ₂ O ₅	0,12	0,20	0,15	0,25 %
ppm				
Au	-	-	-	0,004 (1)
Cu	23,0	21,7	23,2	68,00
Co	-	-	-	29,00
Ni	-	-	-	99,00
Mn	201,0	250,0	188,0	950,00 (2)
Cr	182,0	282,0	189,0	122,00
V	272,0	340,0	270,0	136,00
Sr	21,7	20,9	22,0	304,00
Ba	179,6	194,2	191,2	390,00
Y	43,9	32,6	33,8	31,00
Nb	47,7	50,6	46,2	20,00
Zr	978,0	869,0	900,0	162,00
Ga	54,6	52,4	54,9	19,00
Sc	44,5	43,3	43,5	25,00
As	6,1	5,4	5,5	1,80
ppb				
Pd	5,3	-	2,9	4,00 (3)
ppm				
La	17,0	15,8	17,1	34,00
Ce	30,9	29,2	31,2	66,00
Nd	13,2	12,2	13,2	40,00
Sm	2,4	2,3	2,5	7,00
Eu	0,6	0,6	0,6	2,00
Gd	2,2	2,3	2,4	6,00
Dy	3,6	3,6	3,9	3,00 (1)
Ho	0,8	0,8	1,0	1,00
Er	2,4	2,5	2,8	3,50
Yb	2,9	3,1	3,2	3,10
Lu	0,4	0,4	0,4	0,50 (1)
SETRL	63,9	60,5	64,6	
SETRP	12,3	12,6	13,6	
SETRT	76,2	73,1	78,3	

OBSERVAÇÃO : Os valores médios crustais de todos os elementos são de FAIRBRIDGE (1972), com exceção de :Au, Dy e Lu - TAYLOR (1964);

Mn-SAXBY (1969) e Pd - WEDEPOHL (1969)

SETRL - SOMATÓRIO DOS ELEMENTOS TERRAS RARAS LEVES

SETRP - SOMATÓRIO DOS ELEMENTOS TERRAS RARAS PESADOS

SETRT - SOMATÓRIO DOS ELEMENTOS TERRAS RARAS TOTAL

TABELA 16- CORRELAÇÃO ENTRE A COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS ELEMENTOS MAIORES E TRAÇOS DAS BAUXITAS DE N-5, TUCURUI (5), PARAGOMINAS (6) E TIRACAMBU-(TN-6)

ELEMENTO	N-5			N-5	(5)	(6)	TN-6	M.
	(1)	(2)	(3)	(4)				CRUSTAL
% peso								
SiO ₂	5,04	4,44	4,76	2,39	0,90	6,48	38,25	55,20 %
Al ₂ O ₃	34,99	34,86	34,49	43,41	40,13	50,13	33,75	8,20 %
Fe ₂ O ₃	4,34	27,17	24,72	25,41	31,22	13,67	10,63	5,60 %
TiO ₂	4,04	3,93	3,93	2,55	5,00	1,03	2,15	1,04 %
P ₂ O ₅	0,12	0,20	0,15	0,68	-	0,03	-	0,25 %
ppm								
Cu	23,0	21,7	23,2	-	-	16,0	-	68,0
Co*	-	-	-	120,0	29,0	0,5	-	29,0
Ni	-	-	-	63,0	35,0	5,0	8,00	99,0
Mn	201,0	250,0	188,0	265,0	277,0	80,0	131,00	950,0 (2)
Cr	182,0	282,0	189,0	352,0	412,0	194,0	147,00	122,0
V	272,0	340,0	270,0	-	-	265,0	170,00	136,0
Sr	21,7	20,9	22,0	-	-	7,0	35,00	304,0
Ba	179,6	194,0	191,0	-	-	7,0	76,00	90,00
Y	43,9	32,6	33,8	31,0	-	9,0	34,00	31,0
Nb	47,7	50,6	46,2	64,0	-	25,0	53,00	20,0
Zr	978,0	869,0	900,0	789,0	-	900,0	1257,00	162,0
Ga	54,6	52,4	54,9	-	-	9,0	58,00	19,0
Sc	44,5	43,3	43,5	-	-	30,0	17,00	25,0
As	6,1	5,4	5,5	-	-	4,0	6,00	1,8
ppb								
Pd	5,3	-	2,9	-	-	-	2,90	4,0
ROCHA	BASALTOS			SEDIMENTOS				

(1)- amostra total (2) - fração - 200# (3) - fração - 80 + 200 # (1) - COSTA (1992); (6) - KRONBERG, et all.1979)

OBSERVAÇÃO : Os valores médios crustais de todos os elementos são de FAIRBRIDGE (1972), com exceção de Mn - SAXBY (1969) e do Pd, - WEDEPOHL (1969)

5.3.2.1 - Elementos Terras Raras

Suas concentrações médias estão da mesma forma indicadas nas Tabelas 12 a 14. Novamente a amostra total e suas frações não apresentam diferenças marcantes em termos de concentração de elementos terras raras, mesmo em relação aos condritos. Pode-se apenas constatar, que, enquanto na amostra total e fração -80+200 mesh são praticamente iguais, na fração - 200 mesh os ETRL são ~~sutilmente~~ mais baixos e os ETRP ~~sutilmente~~ mais altos. Suas concentrações absolutas são entretanto, abaixo da média crustal do La até o Gd, enquanto que do Dy ao Lu são equivalentes. Nd, Sm, Eu e Gd são os mais deplecionados.

Quando comparados aos solos superficiais de TN-6 no Tiracambu todos eles diminuem, exceto Ce, mais deplecionado em N-5.

Os diagramas da figura 21 mostram que o campo dos ETRL- Al_2O_3 - Fe_2O_3 pouco varia para a amostra total e suas frações.

As curvas normalizadas em relação aos condritos, apresentam padrões equivalentes para os três materiais, com ligeira depleção nos ETRL e enriquecimento de ETRP (Figura 22).

Curvas isoladas (Figura 23),apresentam anomalias positivas de Ce (Ce/Ce^*) e negativas de Eu, da mesma forma que foi observado no TN-6 na serra do Tiracambu.

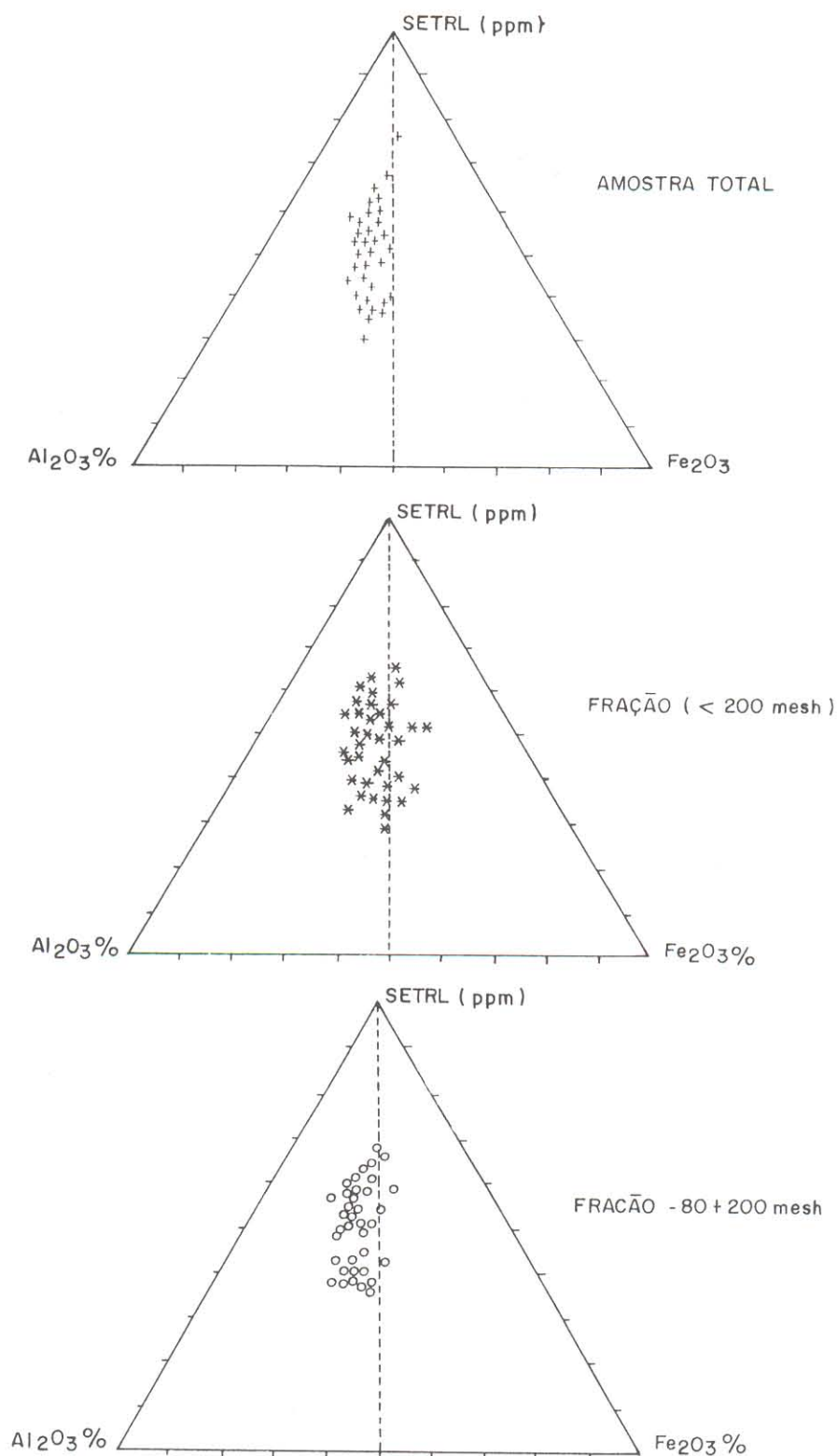


Figura. 21 - Diagramas triangulares SETRL - Al₂O₃ - Fe₂O₃ das amostras de solo coletadas no alto serra dos carajás (N - 5)

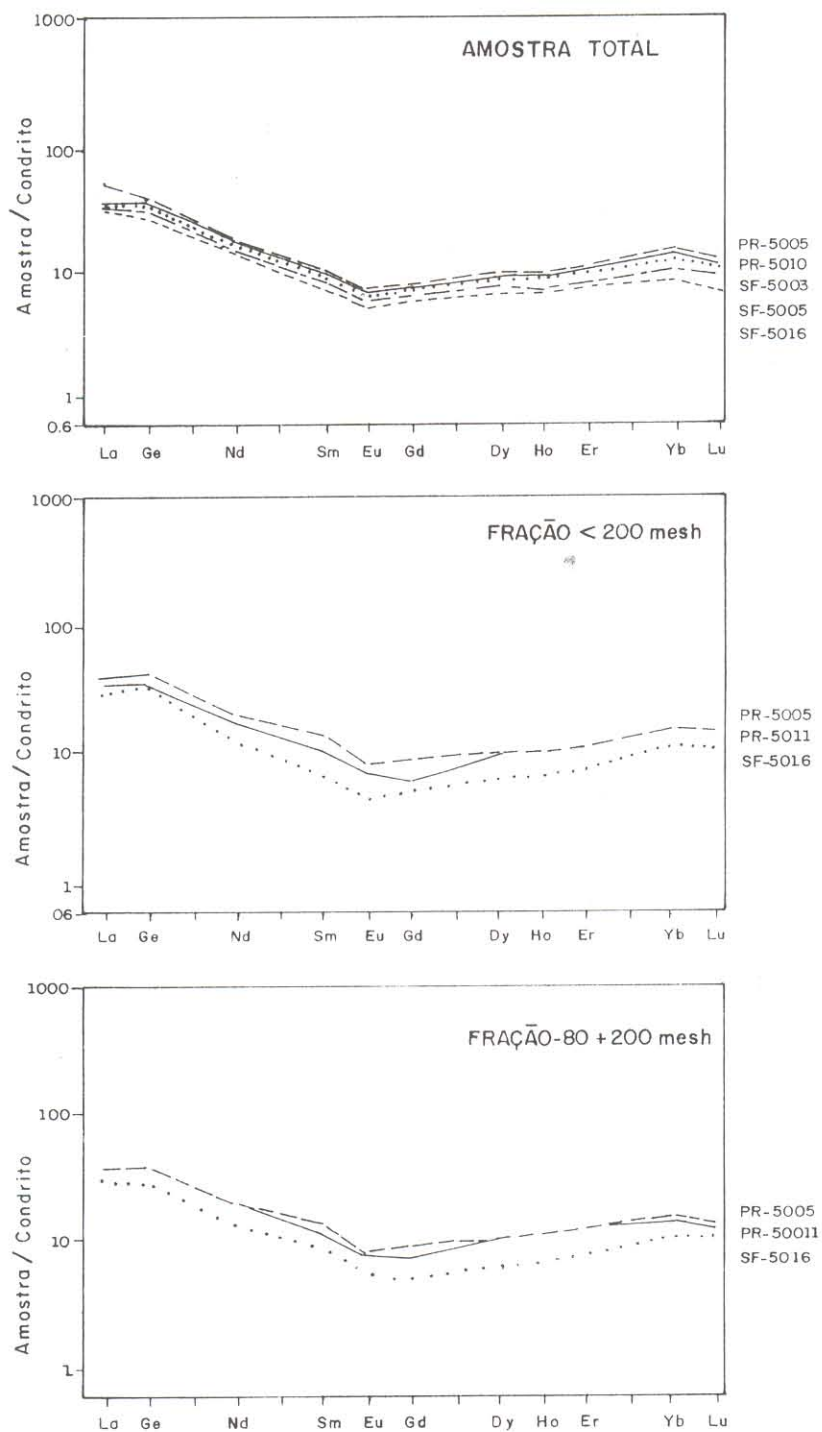


FIGURA. 23 - AMOSTRAS SELECIONADAS COM Ce/Ce^* POSITIVAS
NA AMOSTRA TOTAL E NAS FRAÇÕES ANALISA-
DAS DOS SOLOS DO ALVO SERRA DO CARAJÁS
- N - 5.

5.3.3 - Correlações e Associações Geoquímicas

A partir das matrizes de correlação apresentadas nos ANEXOS XIII a XV, obteve-se as seguintes associações geoquímicas na amostra total e suas frações granulométricas (Tabela 17)

Tabela 17 - ASSOCIAÇÕES GEOQUÍMICAS OBTIDAS NAS AMOSTRAS DE SOLO A PARTIR DAS MATRIZES DE CORRELAÇÃO NO SUBALVO N-5 SERRA DOS CARAJÁS.

AMOSTRA TOTAL	FRAÇÃO -200 mesh	FRAÇÃO -80+200 mesh
* SiO ₂ -(P ₂ O ₅)-Cu	* SiO ₂ -Cu-Fe ₂ O ₃ -Mn-Cr	-----
* Al ₂ O ₃ - -(Cr)-Sr->	* Al ₂ O ₃ - -Sr-Zr-Ga->	* Al ₂ O ₃ - -Sr->
Nb-(Zr)-(Ga)-(Sc)-(As)	Sc-(ETRP)	Nb-(Zr)-(Sc)-(As)
* Fe ₂ O ₃ -(V)-(Mn)	* Fe ₂ O ₃ -V-(Cu)-(Mn)-Cr	-----
* Zr-ETR-Y-Nb-(Ga)-(Sr)	* Zr-ETR-Y-(Sr)-(Ga)	* Zr-ETR-Y-Nb-(Ba)

As associações mais notáveis aos três conjuntos de amostras (Total e frações - 80+200 e -200 mesh) , são aquelas lideradas pelo Al₂O₃ e pelo Zr. As demais associações foram idênticas apenas nas amostras totais e na fração -80+200 mesh. Em termos de associações, a amostra total e a fração - 200 mesh são praticamente idênticas. Al₂O₃ e TiO₂ indicam respectivamente gibbsita e anatásio, sendo acumuladores simultaneamente, onde provavelmente só o anatásio(TiO₂) seja o responsável pelos demais componentes da associação (Sr,Nb,Ga,Sc,As). Gibbsita por si mesma não absorve nenhum elemento traço, além do Ga, como mostra COSTA(1989)

A associação liderada pela SiO₂ é pouco expressiva e reflete a caulinita. A liderada pelo Fe₂O₃, obviamente corresponde a hematita e goethita, e absorve seus elementos traços característicos (V, Mn, Cu, Cr). Zircônio, o elemento mais abundante dessa associação, representa o seu único mineral, o zircão, e agrega os elementos característicos de sua cristalquímica (Y, Nb, ETR, Sr, Ba). A correlação é mais expressiva entre os ETRP, especialmente Dy, Er, Yb.

Comparando-se N-5 com TN-6 na serra do Tiracambu, que apresenta similaridade no modo de ocorrência, as associações geoquímicas divergem apenas naquela da SiO_2 e Al_2O_3 , em Tiracambu, compondo uma única associação, indicativa da abundância da caulinita.

A análise de agrupamento através do modo "R" (Figuras 24 a 26), para os três grupos de amostras apresentou associações geoquímicas (Tabela 18) semelhantes aquelas obtidas pelas matrizes de correlação. Nesse método as associações abrangeram os três grupos de amostras, sendo as associações lideradas pelo Fe_2O_3 e SiO_2 , estabelecendo uma única associação, que neste caso é comandada pela caulinita, hematite-goethita, onde os elementos típicos da cristaloquímica dos óxi-hidróxidos de ferro estão bem representados (V,Cr,Mn,Cu,P).

Os estudos estatísticos foram baseados nos resultados de análises químicas, apresentados nos ANEXOS XVI, XVII e XVIII.

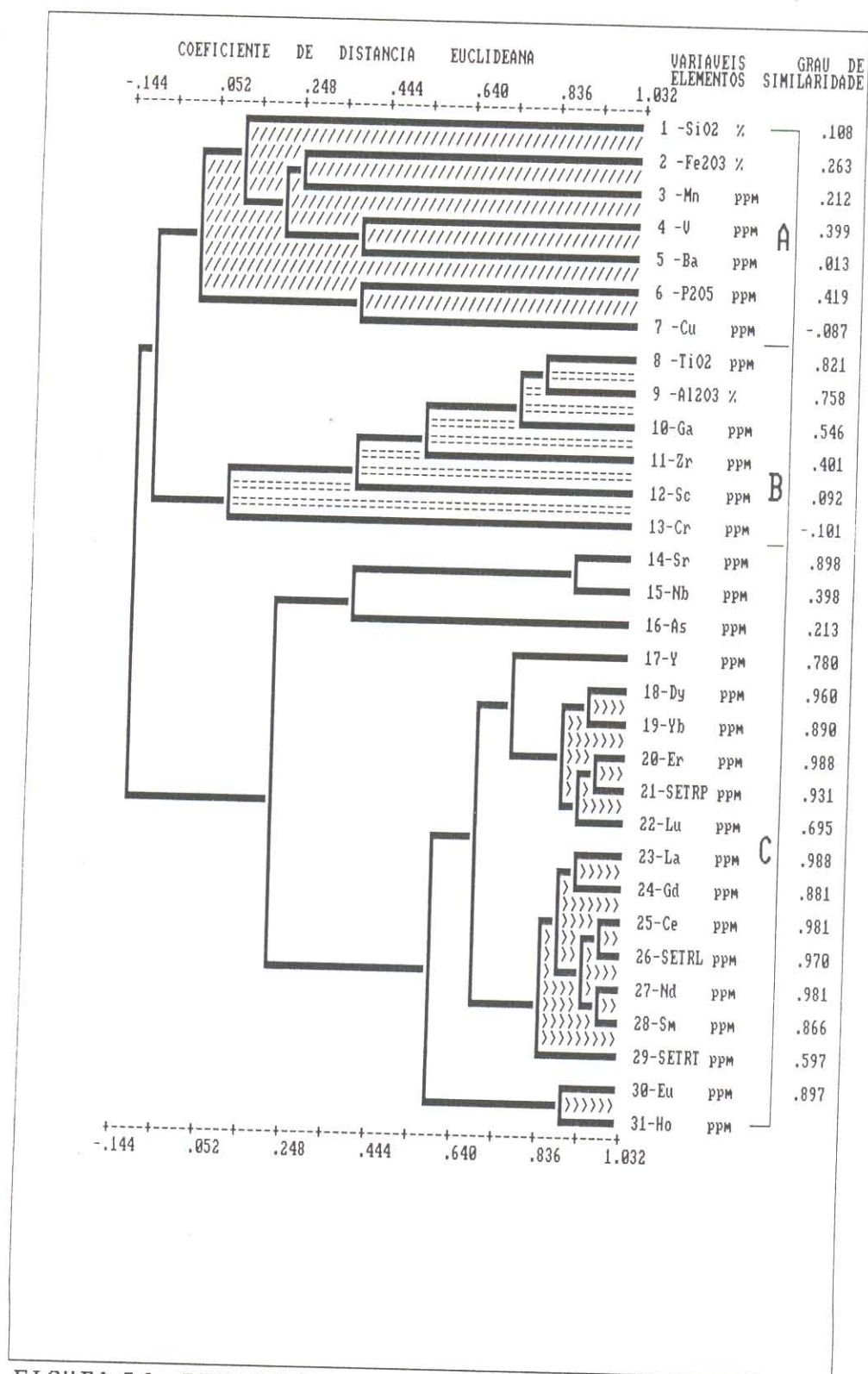
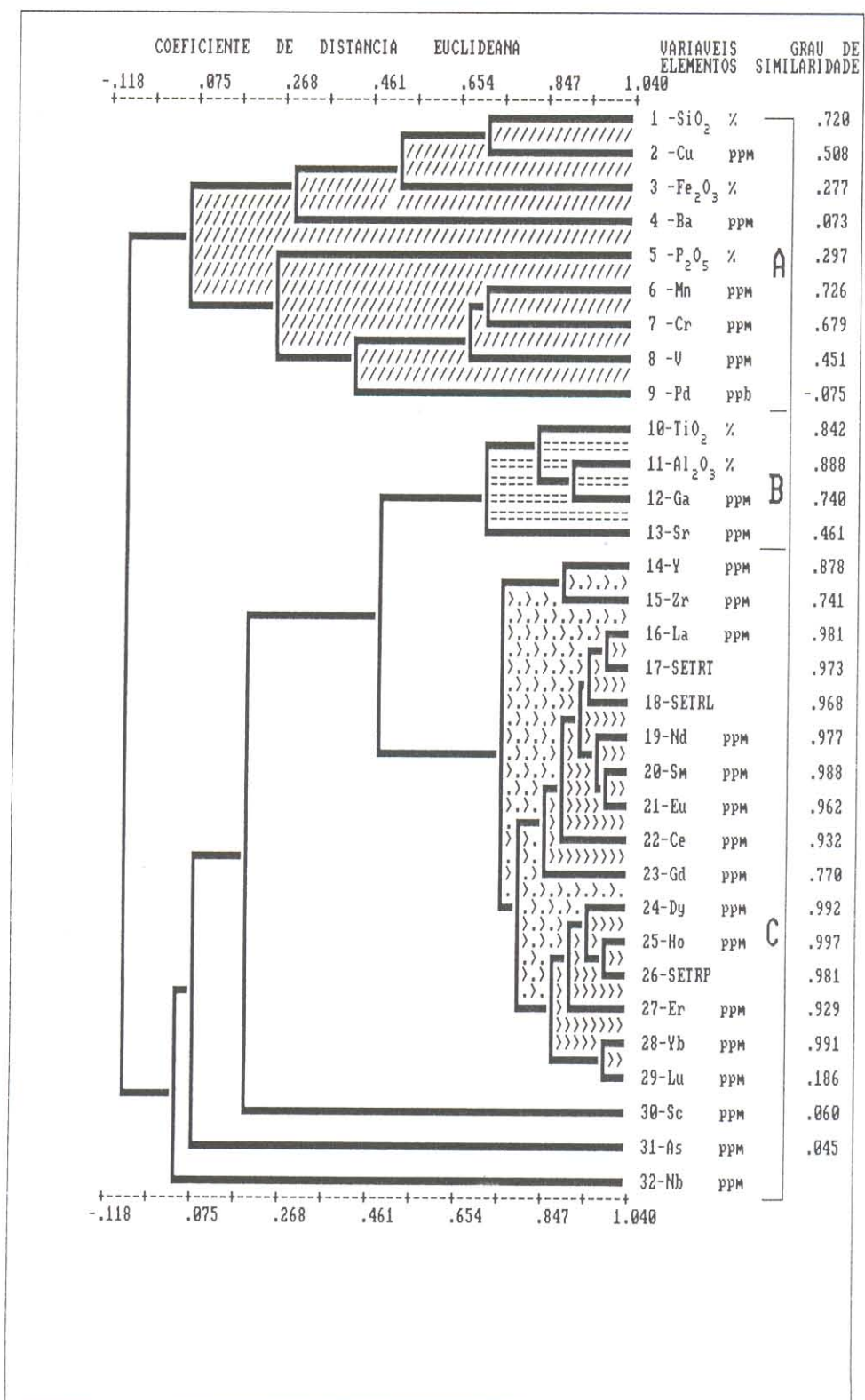


FIGURA 24- DENDROGRAMA MODO "R" DAS AMOSTRAS DE SOLO DE N-5 (SERRA DOS CARAJAS) (AMOSTRA TOTAL)



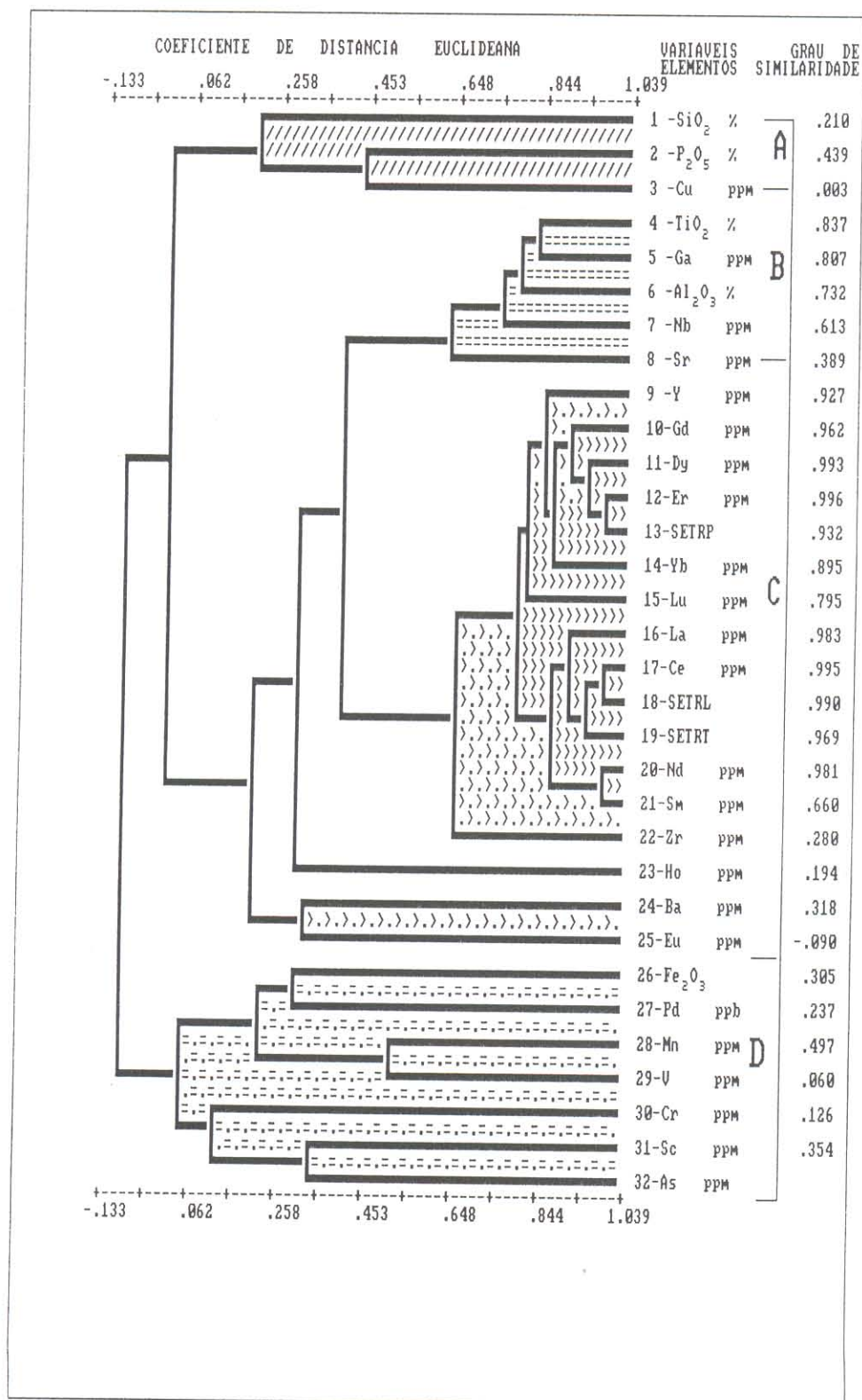


FIGURA 26 -DENDROGRAMA MODO "R" DAS AMOSTRAS
DE N-5 (SERRA DOS CARAJAS)
(FRACAO -80+200 mesh)

Em N-5, na fração -80 + 200 mesh, 45 amostras contém valores qualificados de Pd, os quais apresentam significativa correlação com Fe ($r = 0,81$ para $N=56$). Provavelmente o Pd está associado aos minerais de Fe ou interrelacionados com estes, como observados por ROESER et al.,(1993) no Quadrilátero Ferrífero e SÁ et al.,(1993), na porção sul da parte central da Bahia. Nesta fração, a associação Fe_2O_3 -Pd-Mn-V-Cr-Sc-As, mostra a interferência de rochas básicas na origem destes solos ferralíticos(lateríticos).

Tabela 18 -ASSOCIAÇÕES GEOQUÍMICAS OBTIDAS A PARTIR DOS DENDROGRAMAS COM APLICAÇÃO DO MODO "R" NA AMOSTRA TOTAL E NAS FRAÇÕES - 200 E -80+200 MESH NAS AMOSTRAS DO SUBALVO N-5 NA SERRA DOS CARAJÁS.

AMOSTRA TOTAL	FRAÇÃO - 200 mesh	FRAÇÃO -80+200 mesh
* SiO_2 - Fe_2O_3 -Mn-V-Ba-> P ₂ O ₅ -Cu	* SiO_2 - Fe_2O_3 -Ba-P ₂ O ₅ -> Mn-Cr-V	* SiO_2 -P ₂ O ₅ -----
* -Al ₂ O ₃ -Ga-Zr-Sc-Sr	* -Al ₂ O ₃ -Ga-Sr Nb- Sr	* -Ga-Al ₂ O ₃ ->
* Zr-Sr-Nb-As-Y-ETR	* Zr-Y-ETR-Sc-As-Nb	* Zr-Y-Sr-ETR-Ba
* -----	-----	* Fe_2O_3 -Mn-V-Cr-> Sc-As

6 - SERRA DOS CARAJÁS - (N-1): RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 - ASPECTOS GEOLÓGICOS

O mapeamento geológico (litológico) da superfície do platô de N-1, em Carajás, realizado neste trabalho, permitiu a identificação de três tipos diferentes de crostas, além de solos (Figura 27) a saber:

- A **crosta ferruginosa estratificada**, que apresenta ainda "in situ" a estratificação original das rochas primárias, provavelmente itabiritos bandados da Formação Carajás, encontradas inalteradas, subjacente ao perfil de alteração (DOCEGEO, 1983). A coloração da crosta é geralmente avermelhada a amarronzada, e é a que tem maior distribuição areal, encontrando-se principalmente no extremo noroeste, onde encontra-se um dos afloramentos mais representativos, com aproximadamente 1 km de extensão por 600 metros de largura, e na parte central e sul do platô(Figura 27).

- A **crosta ferruginosa pisolítica** é mais restrita e ocorre na parte central, e numa pequena parte na região nordeste do platô(Figura 27). Sua coloração é avermelhada, sendo constituída principalmente de pisólitos e/ou esferólitos ferruginosos, formados de goethita aluminosa e/ou goethita em plasma também ferruginoso.

- A **crosta ferruginosa cavernosa**, encontra-se principalmente na parte norte do platô e na região sudoeste. Sua coloração varia de avermelhada a amarelo ocre, em função da maior ou menor quantidade de goethita aluminosa e/ou goethita, tendo aspecto brechóide.

- **Os solos**, de textura arenosa, são cinza claros, avermelhados contendo algumas vezes fragmentos das crostas anteriormente descritas. Sua distribuição é restrita e irregular, como pequenas manchas, encontrados sobre qualquer tipo das três crostas mapeadas.

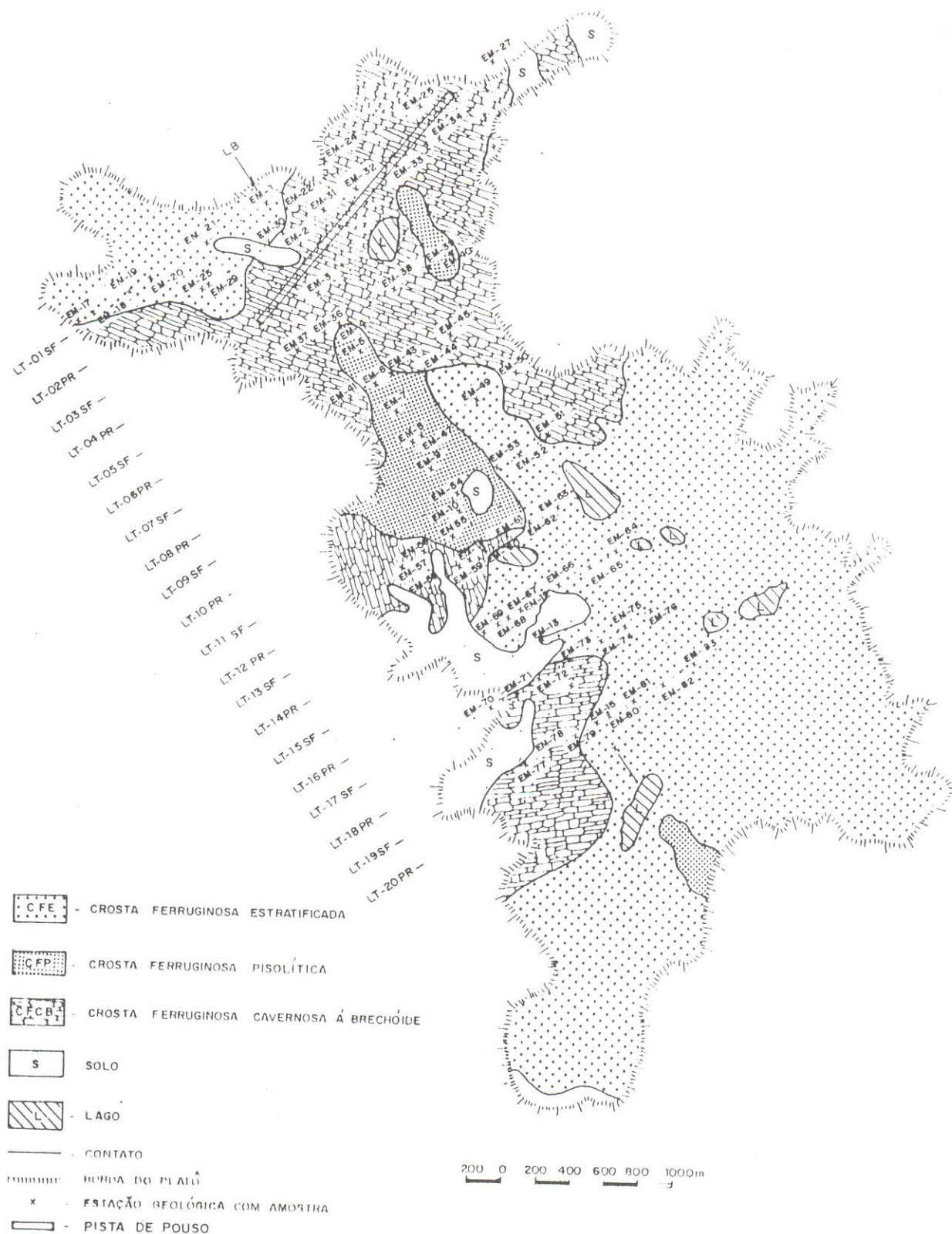


FIGURA. 27 - MAPA GEOLÓGICO DA SUPERFÍCIE DO PLATÔ DE N-1 NA SERRA DOS CARAJÁS.

Sobre o platô de N-1 são comuns lagos (cerca de 8), de pequeno porte(70 a 300 metros em média de diâmetro), formados sobre os diversos tipos de crostas.

Sob as partes lateríticas, onde as crostas acima fazem parte do seu topo, a geologia é formada por litologias do Grupo GrãoPará, o qual da base para o topo é constituído da seguinte forma:

-Sequência Paleovulcânica Inferior , onde ocorrem basaltos, traquiandesitos e em menor quantidade riolitos , que ocorrem em vários níveis estratigráficos;

-Formação Ferrífera Carajás, constituída principalmente de itabiritos.

-Sequência Paleovulcânica Superior, com metavulcânicas e metassedimentos (GIBBS et al.,1986; DOCEGEO, 1988). ARAÚJO & MAIA(1991), propõem a manutenção do termo formação Parauapebas (DOCEGEO, Apud MEIRELES et al.1984) para designar a Sequência Metavulcânica do Grupo Grão Pará, como também a preservação da nomenclatura Carajás, de BEISIEGEL et al.,(1973) para a Formação Ferrífera; contudo, propõe a mudança da nomenclatura Rio Fresco para Formação Águas Claras da parte sedimentar bem preservada na porção mais interna da bacia.

RESENDE & BARBOSA (1972) consideram o material da superfície em N-1 como "canga" e em função dos efeitos mecânicos e químicos, dividem a crosta em três tipos de "canga" : a estrutural ,que neste trabalho corresponde a crosta estratificada; a química correspondente a crosta cavernosa e finalmente a canga de minério formada por blocos de hematita e especularita, cimentados por oxihidróxidos de ferro.

6.2 - MINERALOGIA

As crostas estratificada, pisolítica e cavernosa da superfície do platô de N-1, são constituídas principalmente de hematita e goethita (Tabela 19 e ANEXOS XIX a XXI), perfazendo 85 a 92 % da rocha, seguidas por gibbsita, 5 a 10 %, anatásio, quartzo e fosfatos de alumínio, cada um com 1 a 2%. Outros minerais de ferro identificados foram a maghemita e goethita aluminosa. Minerais identificados apenas por microscopia ótica, foram o zircão, turmalina e rutilo, em nível de acessórios.

Os fosfatos de alumínio são acessórios e estão representados por variscita-estrengita e senegalita, quando identificados por DRX.

Tabela 19 - COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA MÉDIA (% EM PESO) DAS CROSTAS IDENTIFICADAS EM N-1

Crostas		goethita + hematita	gibbsita	fosfatos	quartzo	anatásio
Estratificada						
N=62	X	91.7	5.3	1.3	0.8	1.2
	S	6.6	2.2	0.8	0.2	0.7
Cavernosa						
N=93	X	85.7	10.2	1.3	1.5	2.2
	S	7.8	2.2	0.9	1.0	2.5
Pisolítica						
N=17	X	87.4	7.8	1.4	2.0	1.4
	S	8.0	2.0	1.0	1.2	1.1
X - Média aritmética			S - Desvio padrão aritmético			

Enquanto os teores dos minerais de ferro variam pouco, os de gibbsita apresentam variações relativamente grandes (Tabela 19). As diferentes crostas, embora sejam formadas dos mesmos minerais, diferenciam-se entre si através da abundância diferenciada do seus minerais. A crosta estratificada é a mais rica em hematita +goethita, enquanto que a

cavernosa contém a menor concentração de minerais de ferro e é mais rica em gibbsita e anatásio. Os fosfatos de alumínio são mais freqüentes na crosta pisolítica.

Em termos de crostas lateríticas ferruginosas, considerando os alvos estudados, N-1 poderia ser correlacionado apenas com a de Pirocaua. No entanto deve-se considerar que, tendo a serra do Pirocaua altos teores de fosfatos de alumínio, conseqüentemente tem menor quantidade de minerais de ferro (hematita + goethita).

6.3 - PETROGRAFIA

O estudo petrográfico em 16 amostras do N-1, permitiram fazer as seguintes observações macroscópicas e microscópicas, para os três tipos de crosta, ilustrados na Figura 28:

- **Crosta Estratificada** : macroscopicamente apresenta a estrutura original da rocha itabirítica orientada, com lamelas de óxido de ferro, de cor avermelhada. Algumas amostras apresentaram "fragmentos maiores" de hematita, circundados por fragmentos menores do mesmo mineral, ligeiramente arredondados ou alongados, com cimento ferruginoso de aspecto poroso intergranular. Tais fragmentos apresentam nas bordas brilho metálico, mostrando maior enriquecimento de ferro.

Em lâmina delgada, observa-se uma textura orientada, composta de opacos, provavelmente hematita, entre os quais ocorrem finas plaquetas de gibbsita. Chamou atenção a amostra EM-R-019, por apresentar uma zonação em torno dos grãos opacos, numa alternância de hematita e goethita, observados com nicóis cruzados. A turmalina, foi observada em fragmentos irregulares.

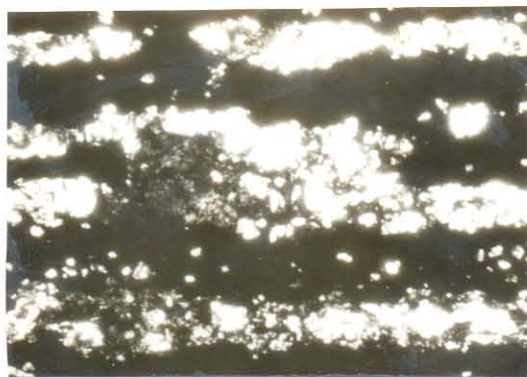
- **Crosta Cavernosa:** macroscopicamente , trata-se de uma rocha desprovida de orientação. Sua coloração varia de avermelhada, se rica em hematita, ou amarela quando ocorre goethita aluminosa. A goethita essencialmente férrica, em forma de esferólitos, encontra-se envolvida por um córtex de goethita aluminosa, de cor amarelada. Nesta crosta é freqüente a presença de cavidades ,que resultam numa permeabilidade extremamente variável. Tais cavidades, são parcialmente preenchidas com goethita aluminosa, podendo ou não apresentar estruturas coloformes.

Microscopicamente, apresenta uma textura porosa ou cavernosa, com cavidades preenchidas por goethita aluminosa ou gibbsita. Dois modos de ocorrência foram observados nas gibbsitas. Uma preenchendo as fraturas dos óxidos de ferro e outra em agregados de pequenos cristais distribuídos irregularmente na matriz.

Em algumas amostras macroscopicamente com estrutura cavernosa, foi observado, localmente, também a textura pseudo-pisolítica a granular, na qual ocorrem esferólitos, circundados por gibbsita e/ou caulinita. O quartzo ocorre em finíssimos fragmentos em toda a matriz, junto com a gibbsita. É freqüente a presença do plasma aluminoso preenchendo as fraturas dos opacos, mostrando um maior grau de deformação em relação às amostras da crosta estratificada.

- **Crosta Pisolítica :** Macroscopicamente caracteriza-se pelo domínio das feições pisolíticas a pseudo-pisolíticas com coloração amarelo-ocre a marrom-avermelhada. Os pisolitos e esferólitos são de cor avermelhada, formados por hematita e goethita. Em lâmina delgada, com nicóis cruzados, observa-se uma textura pisolítica formada pelos opacos, principalmente hematita e goethita, normalmente envoltos num plasma aluminoso com bastante gibbsita em finos fragmentos. É freqüente a goethita, apresentando

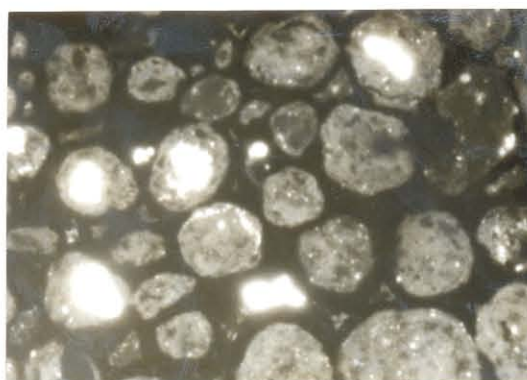
forma tabular, envolvida por uma zonação alternada de goethita aluminosa e hematite. A turmalina, com seu pleocroísmo típico foi encontrada irregularmente na matriz em pequenos fragmentos. Os pisólitos e esferólitos são formados por hematita e goethita de cor avermelhada envolvidos numa matriz ferro-aluminosa, compostas de oxihidróxidos de ferro e gibbsita microcristalina.



A - amostra PR-1068 (LP x 2.500)



B - amostra PR-1025 (LP x 2.50)



C - amostra SF-1045 (LP x 2.50)

Figura 28 - Aspectos texturais das crostas de N-1

A - Textura estratificada, com lamelas de hematita e fragmentos de quartzo, caulinita e gibbsita.

B - Textura cavernosa, apresentando nos bordos das cavidades gibssita micro-cristalina e vazios na parte superior esquerda.

C - Textura pisolítica, com vazios dos esferólitos preenchidos por gibbsita e caulinita na parte central

6.4 - GEOQUÍMICA

6.4.1 - Composição Química

As crostas de N-1, são fundamentalmente constituídas de Fe_2O_3 (7,19 %) e de Al_2O_3 (12,53 %). TiO_2 , SiO_2 , e P_2O_5 , encontram-se cada um abaixo de 2 % (Tabelas 20 a 23). A crosta mais rica em Fe_2O_3 é a estratificada, com 82,79 % em peso, que ao mesmo tempo tem os teores mais baixos de Al_2O_3 (7,66 % em peso), de SiO_2 (0,76 % em peso) e de TiO_2 (1,16 % em peso). As crostas cavernosa e pisolítica, têm composição química ligeiramente semelhantes entre si, com Al_2O_3 mais elevado na cavernosa. Interessante notar os teores médios quase iguais de P_2O_5 para as três crostas, que variam muito pouco 0,44 a 0,47 % em peso.

Os teores de Fe_2O_3 , Al_2O_3 , TiO_2 e SiO_2 e suas variações entre as crostas, refletem claramente a sua composição mineralógica ,onde se observou a predominância de hematite, goethita, goethita aluminosa e mesmo maghemita, seguidos de gibbsita, fosfatos de alumínio (variscita e senegalita) e anatásio. Os diagramas SiO_2 - Al_2O_3 - Fe_2O_3 (Figura 29), permitem visualizar perfeitamente as diferenças químicas entre os três tipos de crostas, ressaltando as semelhanças entre a cavernosa e a pisolítica, e a diferença delas com a estratificada, pobre em SiO_2 . As diferenças texturais, e em parte mineralógicas e químicas entre os três grupos de crostas indicam em primeiro lugar que elas derivam de rochas químico-mineralógicas parcialmente diferentes entre si. As crostas cavernosa e pisolítica devem ter se originado a partir de rochas-mãe mais aluminosa, ou dos fácies aluminossilicatados das formações feríferas. Em segundo lugar as texturas cavernosa e pisolítica expressam também uma maior troca e percolação de soluções por conta de

maior lixiviação química favorecida pela presença de minerais mais solúveis das rochas geradoras preexistentes.

TABELA 20 - SUMÁRIO ESTATÍSTICO GERAL DAS CONCENTRAÇÕES DOS ELEMENTOS QUÍMICOS NAS AMOSTRAS DAS CROSTAS NA SERRA DOS CARAJAS - (N- 1)

ELEMENTO N = 178	X	G	S	DG	Vmin	Vmax	GRAU DE DETECÇÃO (%)
%peso							
SiO ₂	1,21	0,88	1,14	2,22	0,22	19,70	100
Al ₂ O ₃	12,53	7,12	17,91	2,90	0,42	30,90	100
Fe ₂ O ₃	77,19	75,89	14,39	1,20	46,40	98,60	100
TiO ₂	1,78	1,09	2,26	2,69	0,05	28,00	99
P ₂ O ₅	0,44	0,37	0,30	1,86	0,05	1,34	99
ppm							
Cu	42,0	34,0	30,0	1,9	10,0	600,0	100
Co	8,9	7,9	4,7	1,6	5,0	20,0	13
Ni	-	-	-	-	-	-	-
Mn	203,4	174,3	122,4	1,7	50,0	1125,0	99
Cr	141,0	102,0	133,0	2,2	10,0	380,0	99
V	388,0	256,0	438,4	2,5	20,0	1020,0	100
Sr	13,0	13,0	1,8	1,1	10,0	24,0	99
Ba	160,0	95,0	216,0	2,8	20,0	340,0	76
Y	13,0	12,5	3,5	1,3	10,0	34,0	27
Nb	14,0	14,0	4,4	1,3	6,0	40,0	84
Zr	140,0	96,0	149,0	2,4	10,0	560,0	87
Ga	16,0	15,0	4,7	1,3	10,0	29,0	45
Sc	27,0	24,0	13,5	1,6	10,0	69,0	84
As	11,4	8,0	11,8	2,4	1,0	52,0	99
ppb							
Pd	12,0	7,4	17,1	2,9	1,0	32,0	23
ppm							
La	13,0	10,4	9,7	1,9	2,3	87,2	100
Ce	20,7	17,3	13,6	1,8	3,8	152,7	100
Nd	8,4	6,7	6,3	1,9	1,0	44,0	100
Sm	1,5	1,2	1,0	1,9	0,2	8,1	100
Eu	0,4	0,3	0,2	1,6	0,1	1,9	100
Gd	1,1	1,0	0,7	1,7	0,2	5,9	100
Dy	1,3	1,1	0,8	1,8	0,2	4,2	100
Ho	0,3	0,2	0,2	1,8	0,1	0,8	100
Er	0,9	0,7	0,6	1,9	0,1	2,7	100
Yb	1,0	0,9	0,7	1,8	0,2	3,4	100
Lu	0,2	0,1	0,1	1,7	0,1	0,9	100
SETRL	43,8	36,1	30,0	1,9	7,7	243,2	100
SETRP	4,8	4,1	2,9	1,7	0,9	13,7	100
SETRT	48,6	40,5	31,8	1,8	8,6	256,2	100

X - MÉDIA ARITMÉTICA

G - MÉDIA GEOMÉTRICA

** - ELEMENTOS NÃO PROCESSADOS (quantidade de dados insuficientes)

SETRL - SOMATÓRIA DOS ELEMENTOS TERRAS RARAS LEVES

SETRP - SOMATÓRIA DOS ELEMENTOS TERRAS RARAS PESADOS

SETRT - SOMATÓRIA DOS ELEMENTOS TERRAS RARAS TOTAL

S - DESVIO PADRÃO ARITMÉTICO

DG - DESVIO PADRÃO GEOMÉTRICO

TABELA 21 - SUMÁRIO ESTATÍSTICO DAS CONCENTRAÇÕES DOS
ELEMENTOS QUÍMICOS DAS AMOSTRAS DA CROSTA
ESTRATIFICADA NA SERRA DOS CARAJAS - (N - 1)

ELEMENTO	X	G	S	DG	Vmin	Vmax	GRAU DE DETEÇÃO (%)
N = 68							
% peso							
SiO ₂	0,76	0,72	0,24	1,36	0,30	1,40	100
Al ₂ O ₃	7,66	3,98	12,05	3,18	0,56	30,00	100
Fe ₂ O ₃	82,79	81,66	13,91	1,18	50,90	97,70	100
TiO ₂	1,16	0,66	1,61	2,91	0,05	4,10	100
P ₂ O ₅	0,44	0,37	0,27	1,80	0,07	0,99	100
ppm							
Cu	35,5	30,0	23,6	1,8	30,0	300,0	100
Co*	-	-	-	-	-	-	-
Ni*	-	-	-	-	-	-	-
Mn	196,0	168,0	117,0	1,7	60,0	500,0	100
Cr	98,0	66,0	106,5	2,5	10,0	290,0	100
V	260,0	163,0	316,0	2,6	20,0	780,0	100
Sr	12,8	12,0	1,9	1,1	10,0	24,0	99
Ba	212,0	125,0	279,0	2,8	21,0	340,0	74
Y	15,9	14,6	6,8	1,5	10,0	34,0	16
Nb	13,8	13,3	3,8	1,3	10,0	24,0	70
Zr	108,9	68,0	133,1	2,7	10,0	330,0	74
Ga	15,2	15,0	2,6	1,2	11,0	23,0	27
Sc	22,2	20,0	10,9	1,6	10,0	47,0	70
As	8,6	5,0	9,8	2,5	1,0	34,0	90
ppb							
Pd	13,4	9,0	13,5	2,5	3,0	23,0	17
ppm							
La	12,9	9,0	11,3	2,1	2,3	87,1	100
Ce	21,7	17,0	17,0	2,0	3,8	152,7	100
Nd	8,6	6,4	7,6	2,2	1,0	44,0	100
Sm	1,4	1,1	1,1	2,0	0,2	8,1	100
Eu	0,4	0,3	0,2	1,8	0,1	1,9	100
Gd	1,1	0,9	0,7	1,9	0,2	5,9	100
Dy	1,2	1,0	0,9	1,9	0,2	3,7	100
Ho	0,3	0,2	0,2	1,9	0,1	0,8	100
Er	0,8	0,6	0,6	2,0	0,1	2,7	100
Yb	0,9	0,7	0,7	1,9	0,22	3,4	100
Lu	0,1	0,1	0,1	1,7	0,1	0,5	100
SETRL	45,8	35,5	37,0	2,0	7,7	243,2	100
SETRP	4,5	3,7	3,1	1,9	0,9	13,6	100
SETRT	50,3	39,4	38,3	1,9	9,2	256,3	100

X-MEDIA ARITMETICA

S - DESVIO PADRÃO ARITMETICO

G-MEDIA GEOMETRICA

DG - DESVIO PADRÃO GEOMETRICO

* - ELEMENTOS NÃO PROCESSADOS (quantidade de dados insuficientes)

amostra com valores qualificados de Au: PR - 1005 (0,03 ppm) amostras com
valores qualificados de Pt: SF -1005, SF - 1006 -SF- 1007 com 10 ppb em cada uma.

SETRL - SOMATÓRIA DOS ELEMENTOS TERRAS RARAS LEVES

SETRP - SOMATÓRIA DOS ELEMENTOS TERRAS RARAS PESADOS

SETRT - SOMATÓRIA DOS ELEMENTOS TERRAS RARAS TOTAL

TABELA 22 - SUMÁRIO ESTATÍSTICO DAS CONCENTRAÇÕES DOS
ELEMENTOS QUÍMICOS DAS AMOSTRAS DA CROSTA
PISOLÍTICA NA SERRA DOS CARAJAS - (N - 1)

ELEMENTO	X	G	S	DG	Vmin	Vmax	GRAU DE DETEÇÃO (%)
N = 17							
% Peso							
SiO ₂	1,97	1,18	2,41	2,85	0,33	13,20	100
Al ₂ O ₃	12,08	8,04	12,84	2,55	1,30	29,80	100
Fe ₂ O ₃	74,63	74,20	15,28	1,22	51,10	94,00	100
TiO ₂	1,50	1,15	1,24	2,13	0,21	3,30	100
P ₂ O ₅	0,47	0,38	0,32	1,91	0,12	1,34	100
ppm							
Cu	35,0	30,0	21,3	1,7	15,0	115,0	100
Co*	-	-	-	-	-	-	-
Ni*	-	-	-	-	-	-	-
Mn	200,0	164,0	139,0	1,9	50,0	760,0	94
Cr	152,0	119,0	118,0	2,0	20,0	380,0	100
V	372,0	278,0	322,0	2,2	40,0	660,0	100
Sr	12,5	12,0	1,0	1,0	11,0	15,0	100
Ba	216,0	134,0	247,0	2,8	26,0	320,0	61
Y*	-	-	-	-	-	-	-
Nb	14,0	13,0	3,8	1,3	10,0	23,0	89
Zr	119,0	86,0	110,0	2,3	26,0	280,0	94
Ga*	-	-	-	-	-	-	-
Sc	28,0	25,8	12,0	1,5	10,0	45,0	83
As	8,0	7,0	5,6	1,9	3,0	21,0	94
Pd*	-	-	-	-	-	-	-
ppm							
La	6,4	5,7	3,1	1,6	2,8	11,7	100
Ce	11,6	10,6	5,0	1,5	5,1	20,4	100
Nd	4,3	3,9	1,9	1,5	1,9	8,2	100
Sm	0,8	0,7	0,4	1,6	0,3	1,7	100
Eu	0,2	0,2	0,1	1,4	0,1	0,4	100
Gd	0,6	0,6	0,2	1,4	0,3	1,3	100
Dy	0,8	0,7	0,3	1,6	0,3	2,0	100
Ho	0,1	0,1	0,1	1,6	0,1	0,4	100
Er	0,5	0,4	0,3	1,8	0,2	1,5	100
Yb	0,6	0,5	0,3	1,6	0,3	1,6	100
Lu	0,1	0,1	0,1	1,9	0,1	0,9	100
SETRL	23,3	21,3	10,3	1,5	10,7	41,3	100
SETRP	2,9	2,6	1,3	1,6	1,3	7,2	100
SETRT	26,2	24,0	11,5	1,5	12,6	48,0	100

X-MEDIA ARITMETICA

S - DESVIO PADRÃO ARITMETICO

G-MEDIA GEOMETRICA

DG - DESVIO PADRÃO GEOMETRICO

*- ELEMENTOS NÃO PROCESSADOS (quantidade de dados insuficientes)

SETRL - SOMATÓRIA DOS ELEMENTOS TERRAS RARAS LEVES

SETRP - SOMATÓRIA DOS ELEMENTOS TERRAS RARAS PESADOS

SETRT - SOMATÓRIA DOS ELEMENTOS TERRAS RARAS TOTAL

TABELA 23 - SUMÁRIO ESTATÍSTICO DAS CONCENTRAÇÕES DOS
ELEMENTOS QUÍMICOS DAS AMOSTRAS DA CROSTA
CAVERNOSA NA SERRA DOS CARAJAS- (N - 1)

ELEMENTO	X	G	S	DG	Vmin	Vmax	GRAU DE DETEÇÃO (%)
N = 93							
SiO ₂	1,50	0,96	1,76	2,58	0,22	19,70	90
Al ₂ O ₃	14,70	10,18	15,80	2,38	0,42	30,90	90
Fe ₂ O ₃	73,60	72,43	13,37	1,20	46,40	98,60	90
TiO ₂	2,16	1,50	2,19	2,35	0,05	28,00	91
p ₂ O ₅	0,44	0,35	0,31	1,90	0,05	1,1	100
ppm							
Cu	48,4	38,6	36,5	1,9	10,0	600,0	100
Co	8,6	7,6	4,8	1,7	5,0	20,0	13
Ni*	-	-	-	-	-	-	-
Mn	209,0	181,0	121,0	1,7	70,0	1125,0	100
Cr	158,0	130,0	109,0	1,9	20,0	360,0	99
V	447,0	330,0	405,0	2,2	40,0	1020,0	100
Sr	13,4	13,0	1,9	1,1	10,0	19,0	100
Ba	131,0	80,0	165,0	2,7	20,0	330,0	78
Y	12,0	12,3	2,5	1,2	10,0	21,0	37
Nb	15,5	14,8	4,9	1,4	6,0	40,0	92
Zr	159,0	118,0	143,0	2,2	15,0	560,0	94
Ga	16,0	16,0	5,3	1,4	10,0	29,0	58
Sc	29,8	27,0	14,4	1,6	10,0	69,0	93
As	13,4	10,0	12,0	2,2	1,0	52,0	100
ppb							
Pd	12,6	6,8	18,2	3,1	1,0	32,0	29
ppm							
La	14,2	12,0	8,9	1,8	3,0	62,6	100
Ce	21,7	18,9	1,3	1,7	6,6	89,7	100
Nd	9,0	7,6	5,8	1,8	1,7	35,6	100
Sm	1,6	1,4	1,0	1,7	0,3	6,8	100
Eu	0,4	0,4	0,2	1,5	0,1	1,3	100
Gd	1,2	1,1	0,2	1,6	0,3	4,5	100
Dy	1,4	1,3	0,7	1,6	0,3	4,2	90
Ho	0,3	0,3	0,1	1,6	0,1	0,8	90
Er	1,0	0,9	0,5	1,6	0,2	2,5	90
Yb	1,2	1,0	0,6	1,6	0,2	2,6	90
Lu	0,2	0,2	0,1	1,6	0,1	0,4	100
SETRL	46,9	40,3	27,9	1,7	12,9	185,0	100
SETRP	5,3	4,7	2,7	1,6	1,1	13,8	100
SETRT	52,2	45,5	29,4	1,7	14,9	194,2	100

X-MEDIA ARITMETICA

S - DESVIO PADRÃO ARITMETICO

G-MEDIA GEOMETRICA

GD - DESVIO PADRÃO GEOMETRICO

*-ELEMENTOS NÃO PROCESSADOS (quantidade de dados insuficientes)

amostras com valores qualificados de Pt: PR-1010 (13 ppb) e SF -1001

SETRL - SOMATÓRIA DOS ELEMENTOS TERRAS RARAS LEVES

SETRP - SOMATÓRIA DOS ELEMENTOS TERRAS RARAS PESADOS

SETRT - SOMATORIA DOS ELEMENTOS TERRAS RARAS TOTAL

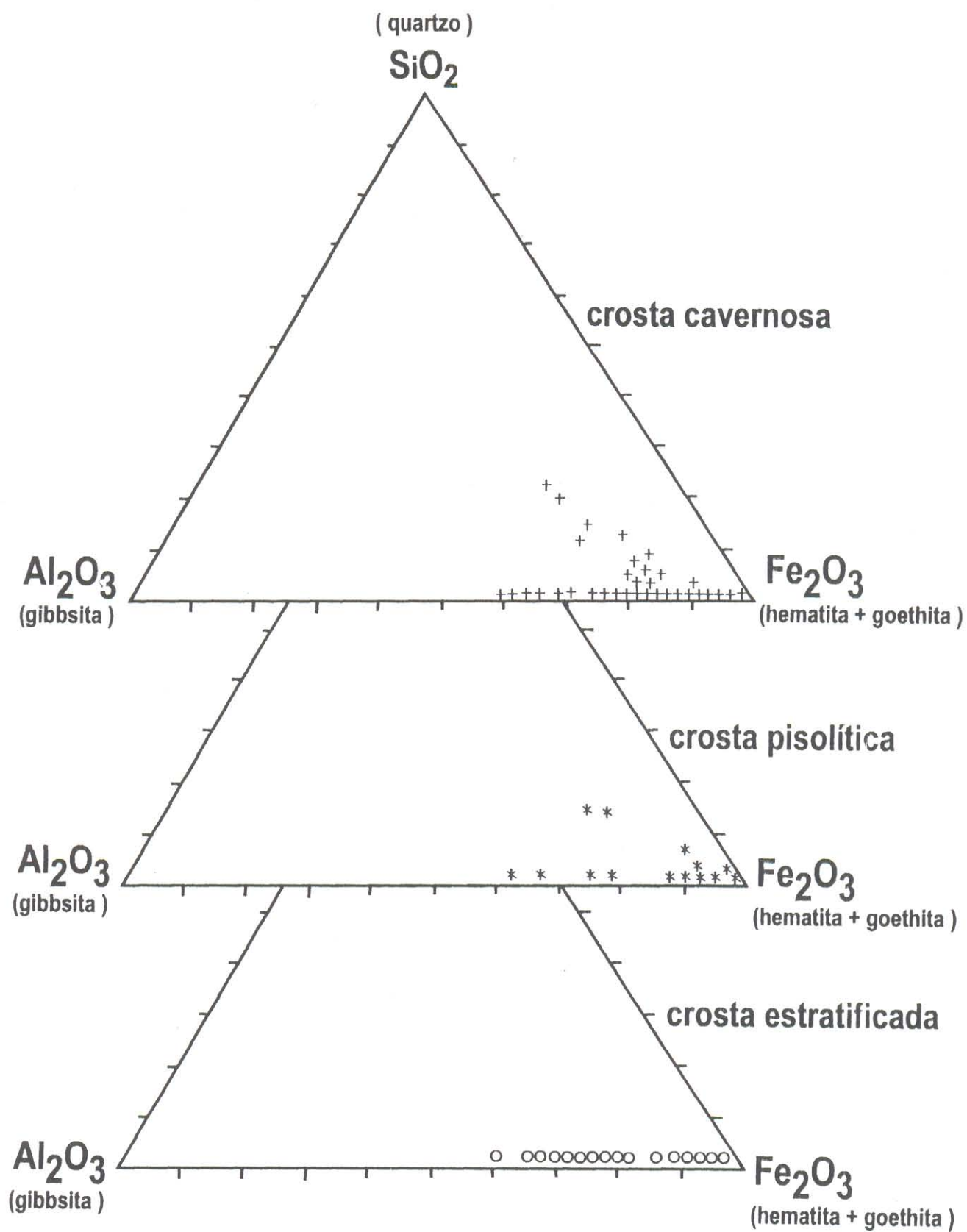


FIGURA 29 - DIAGRAMAS SiO₂-Al₂O₃-Fe₂O₃ PARA AS CROSTAS NA SERRA DOS CARAJÁS (N-1)

6.4.2 - Elementos Traços

A concentração média dos elementos traços, cuja concentração média encontra-se na Tabela 24, compara as crostas como um todo, com os diferentes tipos de crostas e com a média crustal. Quando comparadas entre si, elas apresentam o seguinte quadro para os elementos traços:

- concentrações similares para as três crostas:

- Mn (200 ppm), Sr (12ppm), Nb (15 ppm), Ga (15 ppm);

A Crosta cavernosa apresenta teores mais elevados em:

- Cu (48 ppm), Co (8 ppm), Cr (158 ppm), V (447 ppm), Zr (159 ppm)

Sc (29 ppm), As(13 ppm);

A Crosta estratificada apresenta as concentrações mais baixas

em : - Cr (98 ppm), V (260 ppm), Zr (108 ppm), Sc (22 ppm);

A Crosta cavernosa e pisolítica assemelham-se nos teores de:

- Cr (158 ppm) e Sc (28 ppm)

TABELA 24 - COMPARAÇÃO ENTRE A CONCENTRAÇÃO QUÍMICA MÉDIA DOS
ELEMENTOS PRINCIPAIS, TRAÇOS E ELEMENTOS TERRAS
RARAS NAS CROSTAS LATERÍTICAS NA SERRA DOS CARAJAS
-(N - 1)

ELEMENTO	X GERAL N = 178	ESTRATIFICADA N = 68	CAVERNOSA N = 93	PISOLÍTICA N = 17	MÉDIA CRUSTAL
% peso					
SiO ₂	1,21	0,76	1,50	1,97	55,20 %
Al ₂ O ₃	12,53	7,66	14,70	12,08	8,20 %
Fe ₂ O ₃	77,19	82,79	73,60	74,63	5,60 %
TiO ₂	1,78	1,16	2,16	1,50	1,04 %
P ₂ O ₅	0,44	0,44	0,44	0,47	0,25 %
ppm					
Cu	42,0	35,5	48,4	35,0	68,00
Co	9,0	-	8,6	-	29,00
Ni*	-	-	-	-	99,00
Mn	203,4	196,0	209,0	200,0	950,00 (2)
Cr	141,0	98,0	158,0	152,0	122,00
V	388,0	260,0	447,0	372,0	136,00
Sr	13,0	12,8	13,4	12,5	304,00
Ba	160,0	212,0	131,0	216,0	390,00
Y	13,0	15,9	12,0	-	31,00
Nb	14,0	13,8	15,5	14,0	20,00
Zr	140,0	108,9	159,0	119,0	162,00
Ga	16,0	15,2	16,0	-	19,00
Sc	27,0	22,2	29,8	28,0	25,00
As	11,4	8,6	13,4	8,0	1,80
ppb					
Pd	12,0	13,4	12,6	-	4,00 (3)
ppm					
La	13,0	12,9	14,2	6,4	34,00
Ce	20,7	21,7	21,7	11,5	66,00
Nd	8,4	8,6	9,0	4,3	40,00
Sm	1,4	1,4	1,6	0,8	7,00
Eu	0,4	0,4	0,4	0,4	2,00
Gd	1,1	1,1	1,2	0,6	6,00
Dy	1,3	1,2	1,4	0,8	3,00 (1)
Ho	0,3	0,2	0,3	0,2	1,00
Er	0,9	0,8	0,9	0,5	3,50
Yb	1,1	0,9	1,2	0,6	3,10
Lu	0,2	0,1	0,2	0,1	0,50 (1)
SETRL	43,8	45,8	46,9	23,3	
SETRP	4,8	4,5	5,3	2,9	
SETRT	48,4	49,8	52,2	26,1	

OBSEVAÇÃO: Os valores médios crustais de todos os elementos

são de FAIRBRIDGE (1972), com exceção de : Dy, Lu -

TAYLOR (1964); Mn - SAXBY (1969) e Pd - WEDEPOHL (1969)

*(elementos não processado (quantidade de dados insuficientes) Amostras com
valore qualificados de Au:PR-1074 (0,3 ppm) e PR- 1076 (0,06 ppm)

Os teores dos elementos traços Cu, Cr, Nb, Zr, Ga e Sc, estão dentro da faixa crustal, enquanto que Co, Mn, Sr, Ba, Y e ETR estão abaixo deste nível. Por sua vez, apenas os teores de V e As encontram-se em nível bem superior ao crustal.

A crosta cavernosa apresentou isoladamente teor expressivo de Pt, em 7 amostras, com resultados qualificados, variando entre 10 e 13 ppb. Outras três amostras apresentaram 0,3 a 0,6 ppm para ouro.

Os teores da grande maioria dos elementos traços aqui determinados, nas crostas lateríticas, refletem sua origem a partir de rochas-mãe, desprovidas de silicatos ferromagnesianos, provavelmente com influência sedimentar, e com muito pouca influência máfica-ultramáfica, mesmo considerando os valores isolados e significativos de Pt.

6.4.2.1 - Elementos Terras Raras

As concentrações obtidas para os ETR também estão indicadas na Tabela 6 para os três tipos de crostas.

As crostas estratificada e cavernosa são praticamente idênticas em termos de concentrações dos ETR, tanto na soma total, quanto nos elementos individualmente. Os ETRL são mais abundantes que os ETRP, destacando-se entre eles o Ce.

A crosta pisolítica apresenta teores equivalentes exatamente a metade da estratificada e/ou da cavernosa. Em todos os três casos, os teores encontram-se muito abaixo dos níveis crustais.

As concentrações dos ETR, são comparáveis aos de lateritos derivados de rochas sedimentares e de rochas ígneas ácidas, quando comparados com os dados de

WILDEMAN & HASKIN (1973) e BALASHOV & TUGARINOV(1976). As concentrações em que se encontram, devem representar principalmente o mineral zircão e em parte o anatásio.

Comparando com os outros alvos estudados observa-se que, os ETR encontram-se com as mais baixas concentrações.

Os campos definidos pelas curvas normalizadas aos condritos (Figura 30) evidenciam as similaridades entre as crostas estratificadas e cavernosa, com campo mais aberto e da pisolítica mais fechado. Constata-se que as curvas apresentam depleção pouco expressiva em relação aos ETRP. Curvas isoladas, representadas nas Figuras 32 e 33, delineiam anomalias positivas de Ce (Ce/Ce^*), muito freqüentes , e positivas de Eu (Eu/Eu^*). As anomalias de Eu são normalmente negativas, fato que contrasta com todos os outros alvos aqui estudados. A anomalia do Eu entretanto não é laterítica, mas herdada da rocha-mãe. Anomalias positivas de Eu são comuns nas formações ferríferas(FRYER,1977 ,1983;GRAFF,1977; APPEAL ,1987).

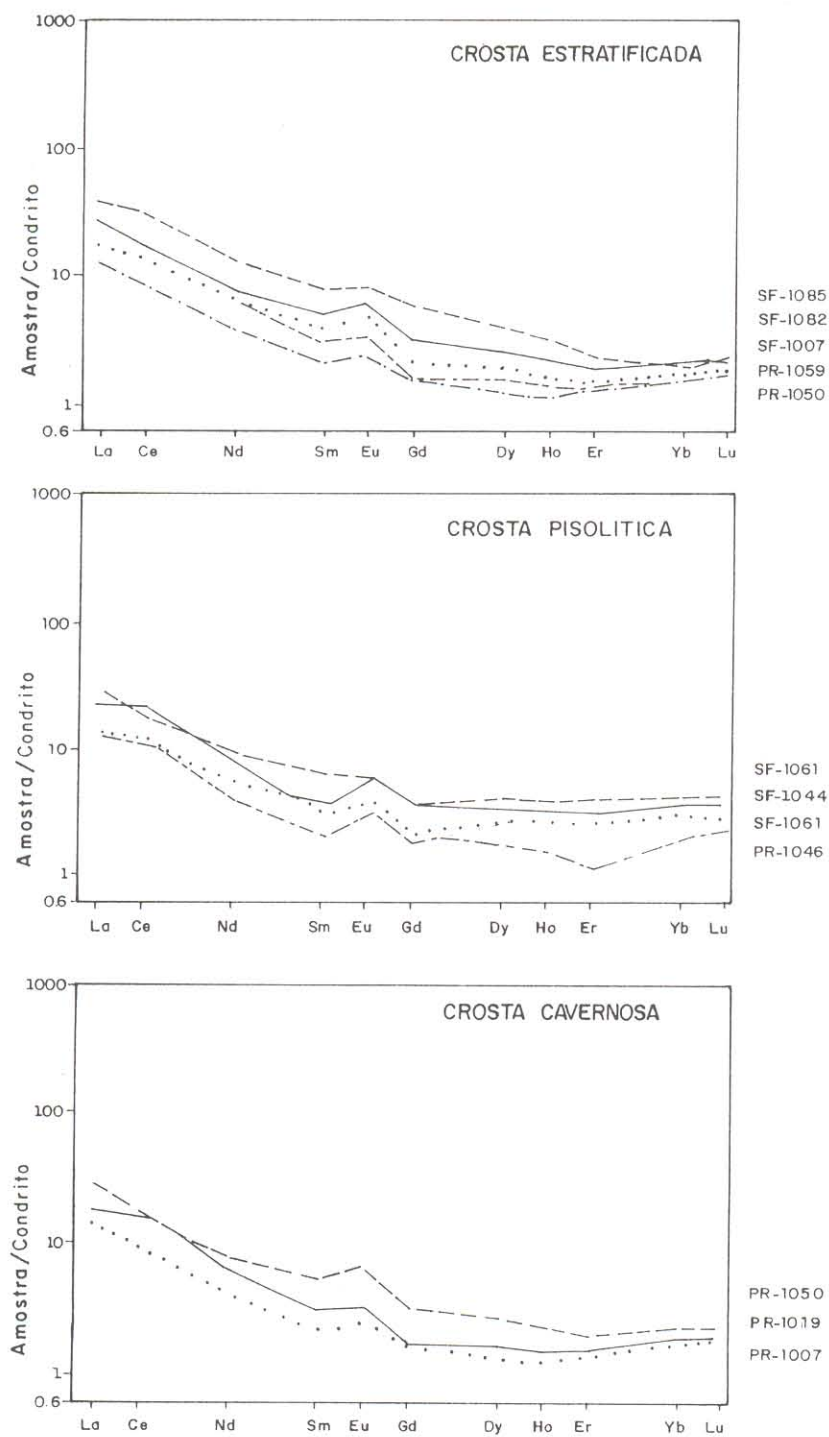


FIGURA 31 - AMOSTRAS RELACIONADAS COM EVIDENTES ANOMALIAS POSITIVAS DE Eu NA SERRA DOS CARAJÁS (N-1)

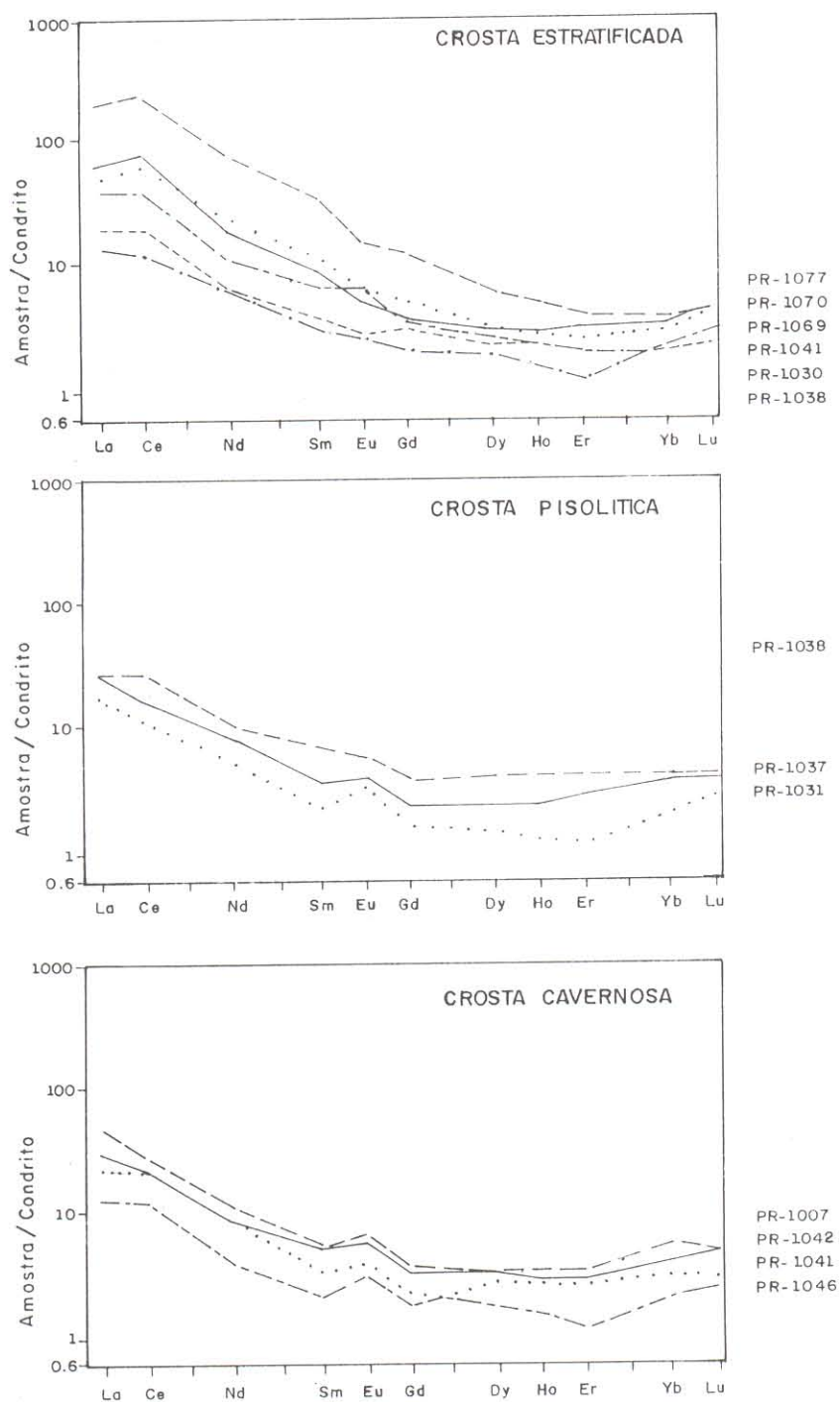


FIGURA 32 - AMOSTRAS COM EVIDENTES ANOMALIAS DE Ce
(Ce/Ce*) NA SERRA DOS CARAJÁS (N-1)

6.4.3 - Correlações e Associações Geoquímicas

As principais associações geoquímicas obtidas através das matrizes de correlação(ANEXOS XXII a XXIV) são indicadas na Tabela 25.

Tabela 25 - **PRINCIPAIS ASSOCIAÇÕES DE ELEMENTOS OBTIDAS A PARTIR DAS MATRIZES DE CORRELAÇÃO PARA AS TRÊS CROSTAS DE N - 1**

Crosta Estratificada	Crosta Pisolítica	Crosta Cavernosa
*Al ₂ O ₃ --(Cu)-(Co)-> Cr-V-(Sr)-Nb-Zr-(Ga)-> Sc-As *Fe ₂ O ₃ -(Y) *SiO ₂ -Y-(Ba) *ETR [-(Er)-(Yb)-(Lu)]-Co	*Al ₂ O ₃ -Cr-V-Sr-> Nb-Zr-Ga-Sc-(ETRL)-> ETRP(-Lu) *Fe ₂ O ₃ -(Mn) *SiO ₂ -Cu-(Sc)	*Al ₂ O ₃ -Cr-V-> (Sr)-(Nb)-Zr-Ga-> Sc-As *Fe ₂ O ₃ -Co-(Ba) *SiO ₂ -(Mn) *ETR

Em princípio pode-se concluir que os três tipos de crostas de N-1 apresentam apenas uma grande associação geoquímica, comum entre elas, da qual não participam nem o Fe₂O₃ nem SiO₂. Pode-se também concluir em termos genéricos que, Fe₂O₃ e SiO₂ não formam qualquer associação geoquímica entre si. A grande associação Al₂O₃-Cr-V-Sr-Nb-Zr-Ga-Sc-As, deve corresponder aos minerais não dominantes das crostas tais como a gibbsita, goethita aluminosa e o anatásio, sendo que este último deve ser o único mineral concentrador dos elementos traços que compõem a associação. Esse quadro é similar ao identificado neste trabalho nos solos ferralíticos de N-5. Os ETR, ao contrário dos demais alvos, formam um grupo homogêneo, ora isolado(crostas estratificada e cavernosa), ora ligados à grande associação do Al₂O₃ na crosta pisolítica, provavelmente como parte da estrutura do anatásio. Pelo exposto conclui-se então que em

N-1 os minerais de ferro (hematite, goethita e maghemita) não são os acumuladores dos elementos traços.

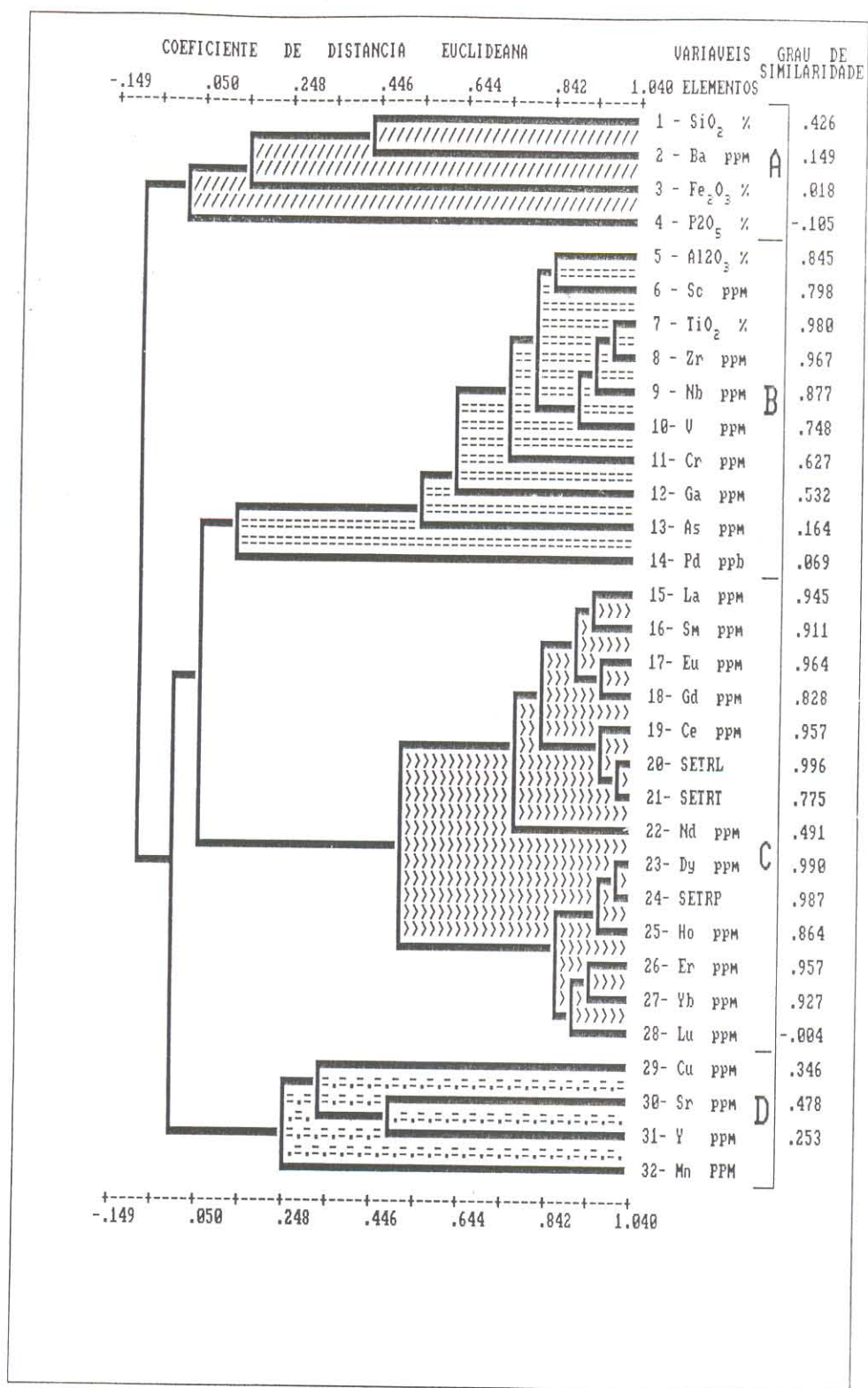
A análise de agrupamento, com utilização do Modo "R" apresentada nos dendrogramas das Figuras 33 a 35 ressaltam as associações geoquímicas da Tabela 26.

**Tabela 26- PRINCIPAIS ASSOCIAÇÕES GEOQUÍMICAS DE ELEMENTOS
OBTIDAS ATRAVÉS DA ANÁLISE DE AGRUPAMENTO
UTILIZANDO O MODO" R "NAS CROSTAS DE N - 1**

CROSTA ESTRATIFICADA	CROSTA PISOLÍTICA	CROSTA CAVERNOSA
*SiO ₂ -Ba-Fe ₂ O ₃ -P ₂ O ₅	*SiO ₂ -Cu-Fe ₂ O ₃ -Mn	*SiO ₂ -Cu-Mn-Pd
*Al ₂ O ₃ -Sc-Zr-> Nb-V-Cr-Ga-As-(Pd)	*Al ₂ O ₃ -Zr-Cr-Sr-> Nb-V-As-Sc P ₂ O ₅ -Cr-V-As	*Al ₂ O ₃ -Ga-Nb-Zr-> Sc-Sr-Y-Al ₂ O ₃ ->
*ETRL-ETRP	*ETRL-ETRP	*ETRL-ETRP
*Cu-Sr-Y-Mn	*P ₂ O ₅ -Ba	*Fe ₂ O ₃ -Co-Ba

Novamente ocorre apenas a grande associação do Al₂O₃, identificado através das matrizes de correlação, sendo que os ETR formam um único grupo em todas as crostas.

Os estudos estatísticos foram baseados nos resultados de análises químicas apresentados nos ANEXOS XXV, XXVI e XXVII.



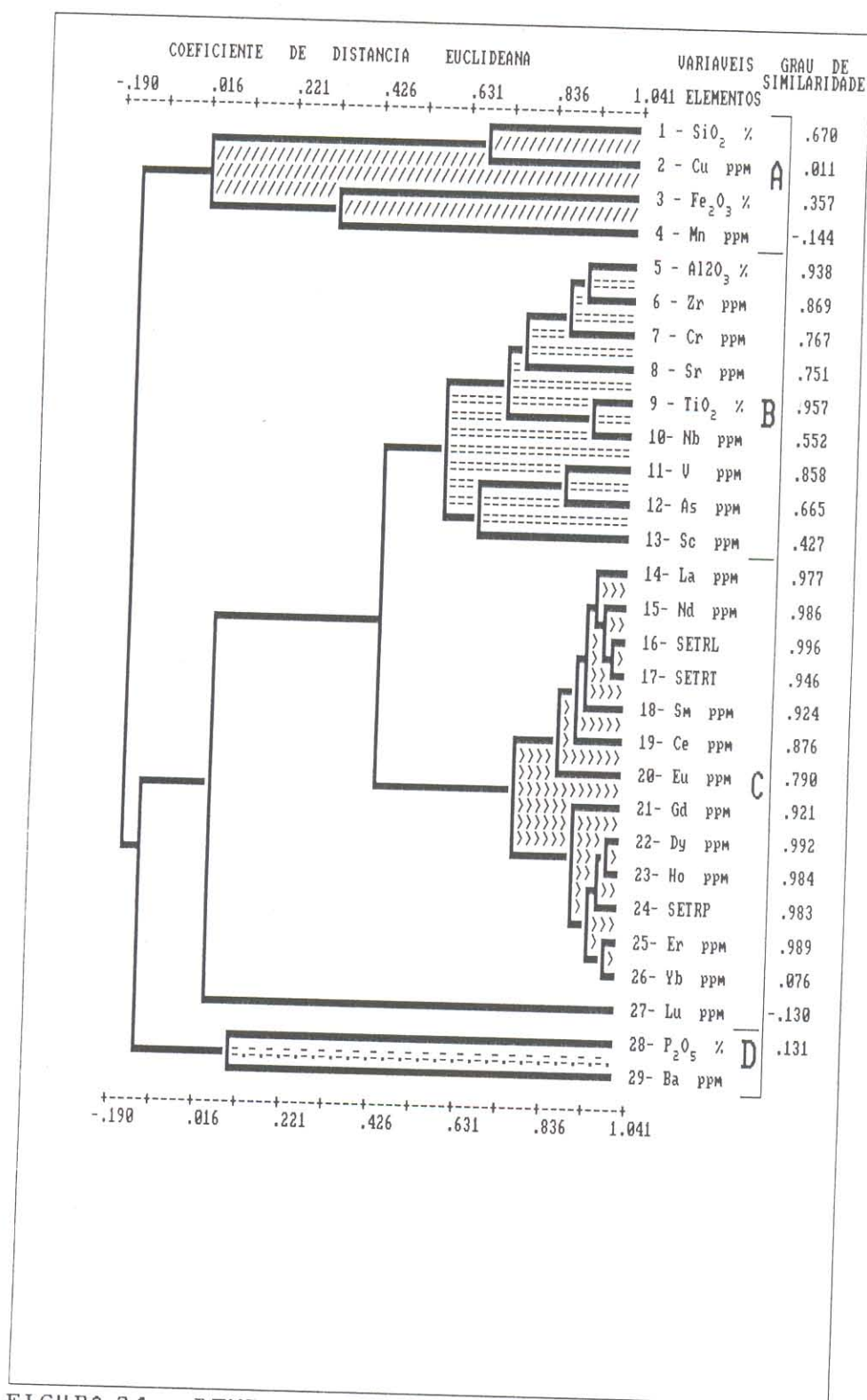


FIGURA 34 - DENDROGRAMA MODO "R" DA CROSTA PISOLITICA DE N-1 (SERRA DOS CARAJAS)



7 - AURIZONA - RESULTADOS E DISCUSSÕES

7.1 - SERRA DO PIROCAUA (PLATÔ : LATERITOS MATUROS)

7.1.1 - Aspectos Geológicos

A superfície do platô da serra do Pirocaua (Figura 36), é constituída por uma crosta laterítica ferro-aluminosa-fosfática, que aflora na parte central do platô, prolongando-se para sua extremidade noroeste. Nas demais partes a superfície do platô está recoberta com solos sobrepostos a crosta.

A crosta é constituída de esferólitos, pisólitos, nódulos e fragmentos vermelhos e amarronzados de hematita e goethita, cimentados por material branco amarelado, microcristalino de fosfatos de alumínio, conferindo ao conjunto um aspecto conglomerático, coeso e denso.

Os solos apresentam-se com uma coloração cinza claro a marrom algumas vezes apresentando fragmentos da crosta ferruginosa. A espessura dos solos é delgada, inferior a 1 metro.

Segundo COSTA & SÁ (1980) e COSTA et al., (1980), a crosta representa o tópo do perfil laterítico, o qual tem a seguinte constituição :

- **Crosta Ferruginosa (Topo)** - apresenta uma espessura média de 6,00 metros e as características já descritas acima.

- **Horizonte Fosfático** - de coloração branco amarelada, é constituído principalmente de fosfatos de alumínio, apresenta uma espessura média de 4 metros, e tem contato abrupto com a crosta ferruginosa.

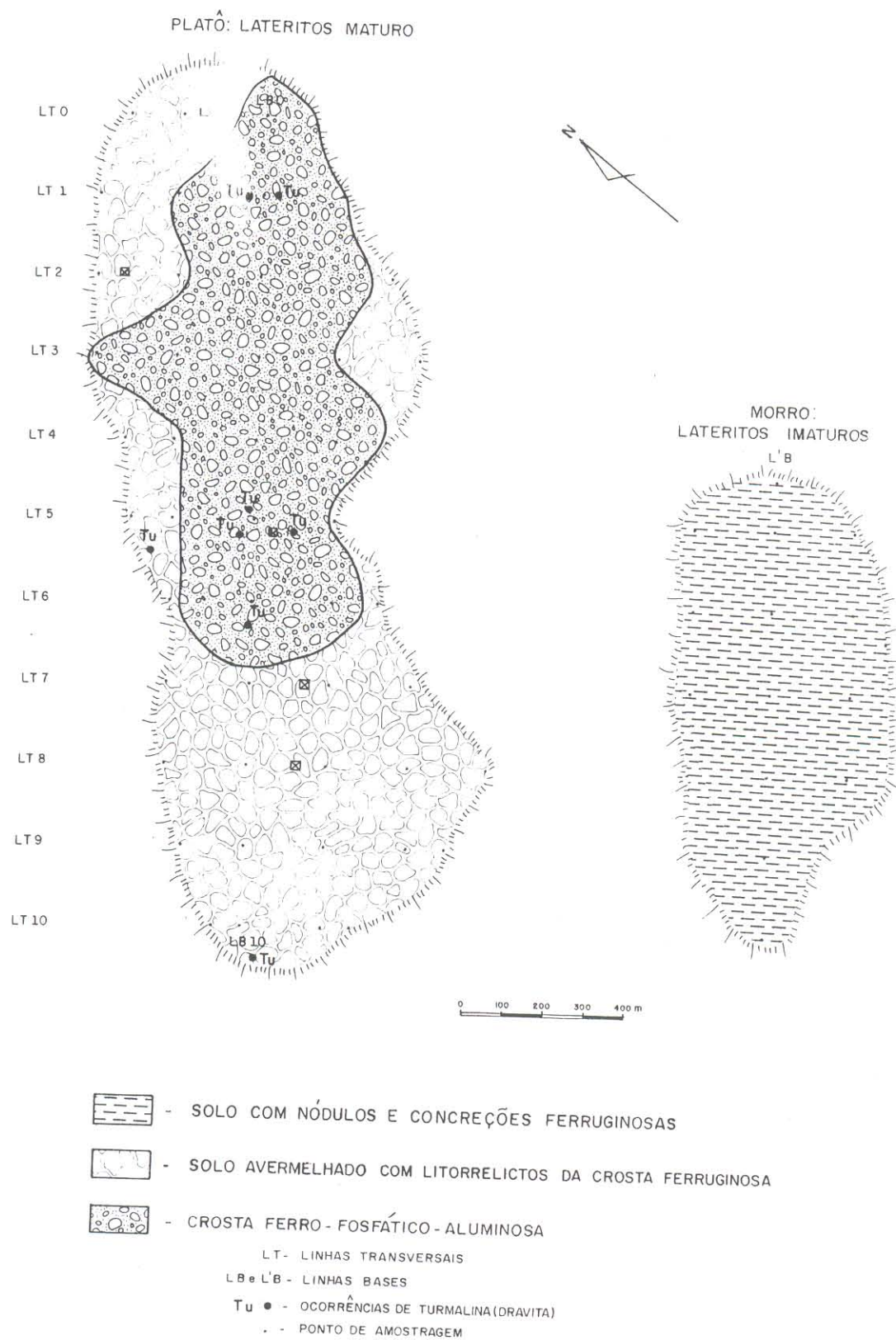


FIGURA. 36 - MAPA GEOLÓGICO DE SUPERFÍCIE DA SERRA DO PIROCAUA E MORRO ADJACENTE

- **Horizonte argiloso** - de cor marrom com predominância de argilominerais, óxidos e hidróxidos de ferro e quartzo, em contato gradacional com o horizonte fosfático acima, apresentando uma espessura da ordem de 30 metros e sobreposto diretamente a rocha mãe, em contato gradacional, a qual já se encontra ligeiramente intemperizada.

- **Rocha mãe** - está representada por filitos e xistos do Grupo Gurupi, com veios de quartzo turmaliníferos e auríferos que são sotopostos pelo horizonte argiloso.

Nas encostas da serra do Pirocaua, essas rochas ocorrem ligeiramente intemperizadas (saprólitos) e recobertas parcialmente por colúvios. Nesse conjunto distribuem-se os garimpos de ouro da região.

7.1.2 - Mineralogia

Nas amostras da crosta e dos solos da serra do Pirocaua foram identificados os seguintes minerais:

hematita - Fe_2O_3

goethita - $\text{FeO} \cdot \text{OH}$

anatásio - TiO_2

crandallita - goyazita $(\text{Ca}, \text{Sr})\text{Al}_3(\text{PO}_4)_2(\text{OH}) \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

augelita - $\text{Al}_2(\text{PO}_4/(\text{OH})_3)$

senegalita - $\text{Al}_2(\text{OH})_3/\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$

gibbsita - $\text{Al}(\text{OH})_3$

dravita - $\text{Na} \cdot \text{Mg}_3\text{Al}_6\text{B}_3 \cdot \text{Si}_6\text{O}_{18}(\text{OH}, \text{F})_4$

quartzo - SiO_2

variscita - $\text{AlPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

wardita - $\text{NaAl}_3(\text{PO})_2(\text{OH})_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

A hematita e goethita, correspondem aos fragmentos, nódulos esferólitos irregulares, e, crandalita-goyazita, augelita, variscita e wardita à massa criptocristalina, da crosta laterítica ferruginosa. Senegalita e augelita, estudadas por POLLMANN et al., (1987), também ocorrem em pequenas cavidades, formando drusas, com cristais milimétricos. A dravita, é encontrada com frequência em fragmentos centimétricos de agregados de cristais aciculares. Foram identificadas pelo menos 8 ocorrências de dravitas que afloram como manchas, localmente com tendência a orientação (Figura 37).

A composição mineralógica média das amostras está indicada a Tabela 27 enquanto a abundância dos minerais das amostras individuais da crosta e dos solos, obtida com base nas análises químicas, está indicada nos ANEXOS XXVIII e XXIX.

Os minerais dominantes são hematita, goethita e os fosfatos de alumínio, aqui denominados de fosfatos (crandalita, augelita e senegalita). Só o membro goyazita foi possível quantificar, já que não se dispunha da análise de CaO, mas apenas de SrO. A composição mineralógica dos solos é similar aquela da crosta ferruginosa.

Os solos são mais ricos em caulinita e fosfatos de alumínio.

Na Figura 38, esses aspectos ficam bem ilustrados.

Tabela 27- **Composição mineralógica média (% em peso) das amostras da crosta e dos solos sobre a crosta laterítica da Serra do Pirocaua (amostra total)**

N = 49		1	2(*)	3	4	5	6
CROSTA	X	61.1	29.8	4.2	2.9	0.7	0.4
	S	13.0	10.4	3.2	1.3	0.5	0.1
SOLOS	X	49.3	33.7	5.4	2.4	0.8	6.4
	S	17.3	13.9	3.4	0.9	0.5	1.3

X - Média aritmética

S - Desvio padrão aritmético

1-hematita+goethita 2-fosfatos 3- goyazita 4-anatásio 5-quartzo

6-caulinita(*)-corresponde a : augelita + senegalita + membro crandalita

Este último não foi calculado em virtude do CaO não ter sido analisado.

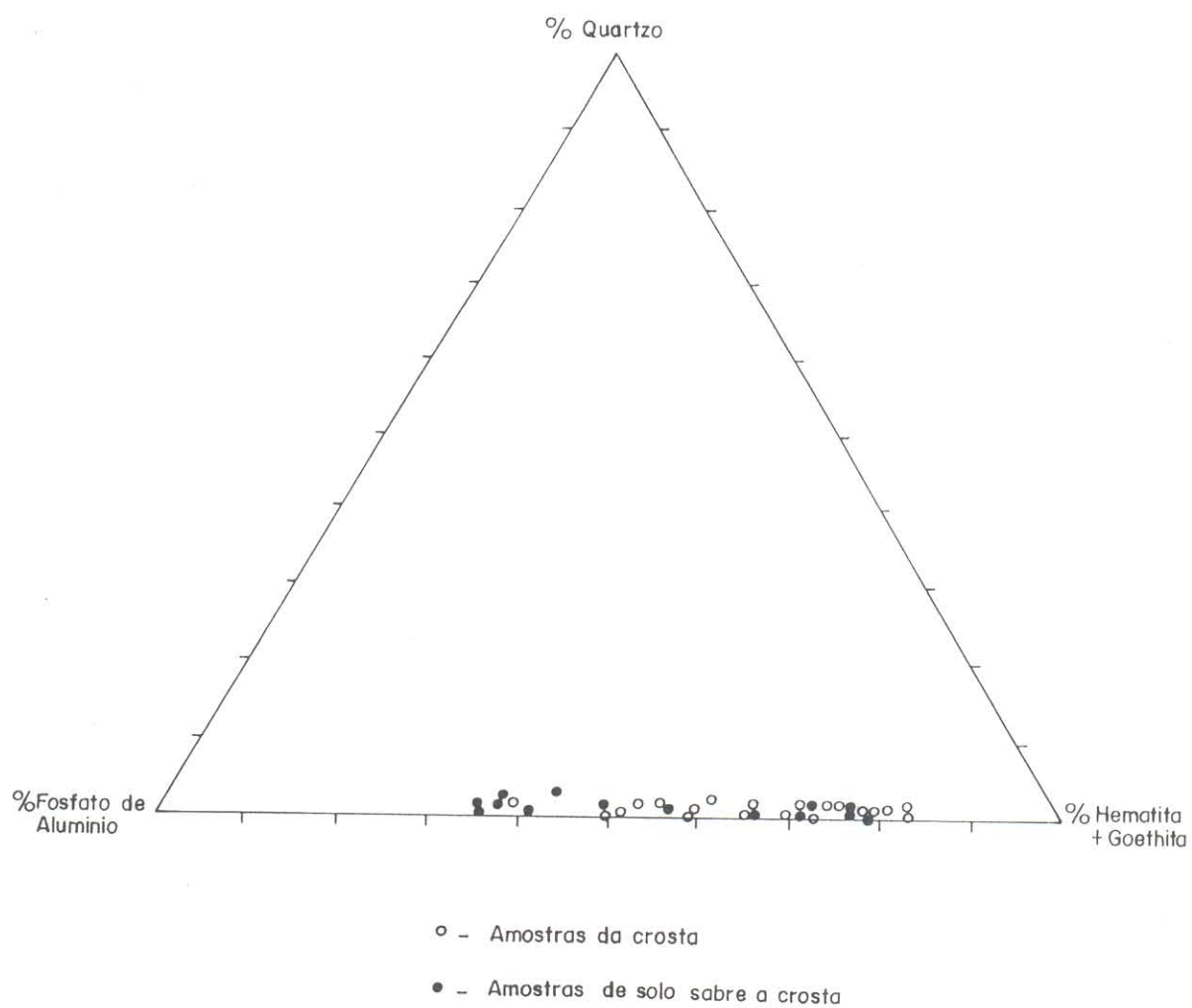


Figura . 37 - Diagrama quartzo- fosfato de Al- hematita + goethita das amostras de rochas e solos da serra do Pirocaua.

7.1.3 - Geoquímica

7.1.3.1 - Composição Química

Na Tabela 28, encontra-se o sumário das concentrações médias dos elementos químicos analisados nas amostras de rochas da serra do Pirocaua. Ressaltam-se os altos teores médios de Fe_2O_3 (48.96%), Al_2O_3 (19.47%) e baixos de SiO_2 (1.04%). A concentração média elevada de P_2O_5 (11,85%), não é comum em crostas lateríticas, e quando assim ocorre, deve estar relacionada com depósitos de fosfatos de alumínio (COSTA et al, 1980).

Os teores elevados de Fe_2O_3 representam a grande abundância de hematita e goethita e os de Al_2O_3 e P_2O_5 , refletem a presença da série crandalita-goyazita, augelita, senegalita e wardita. Os baixos teores de SiO_2 , refletem a quase ausência de quartzo e caulinita.

A concentração média de TiO_2 (2.96%), encontra-se na faixa normal de lateritos (SCHELLMANN, 1986,COSTA, 1990) e representa o mineral anatásio.

Os solos apresentam composição química (Tabela 29)em ordem de grandeza semelhante a da crosta ferruginosa, apresentando maiores concentrações médias de Al_2O_3 (22.84%), P_2O_5 (15.05%) e SiO_2 (1.93%), enquanto, Fe_2O_3 e TiO_2 encontram-se em níveis inferiores a mesma.

Isto mostra o ligeiro domínio dos fosfatos de alumínio e menor quantidade de óxido-hidróxidos de ferro, quando comparados com a crosta ferruginosa, como já foi detectado no item 7.1.2 (Mineralogia).

TABELA 28 - SUMÁRIO ESTATÍSTICO DAS CONCENTRAÇÕES DOS ELEMENTOS QUÍMICOS EM AMOSTRAS DE ROCHAS (CROSTA) ANALISADAS DO ALVO SERRA DO PIROCAUA (AMOSTRA TOTAL)

ELEMENTO N = 27	X	G	S	DG	Vmin	Vmax	GRAU DE DETECÇÃO %
% peso							
SiO ₂	1,04	0,96	0,45	1,53	0,48	2,10	100
Al ₂ O ₃	19,47	18,53	6,40	1,38	10,20	34,20	100
Fe ₂ O ₃	48,96	46,52	16,35	1,38	20,10	65,70	100
TiO ₂	2,96	2,74	1,19	1,48	0,96	7,30	100
P ₂ O ₅	11,85	11,03	4,74	1,47	5,90	21,50	100
ppm							
Cu	109,5	99,2	51,5	1,57	46,0	240,0	100
Co	10,3	9,3	4,7	1,6	6,0	22,0	100
Ni	76,0	71,6	27,6	1,4	34,0	134,0	100
Mn	657,7	557,0	412,2	1,8	166,0	1680,0	100
Cr	1235,6	947,0	1014,9	2,1	280,0	5000,0	100
V	1411,4	1176,0	932,7	1,9	128,0	2420,0	100
% peso							
SrO	0,8	0,6	0,7	0,2	0,1	2,7	100
ppm							
Ba	153,0	128,0	98,0	1,8	27,0	390,0	100
Y	51,0	50,5	8,2	1,1	35,0	82,0	100
Zr	346,0	328,0	119,5	1,4	166,0	810,0	100
Ga	77,0	76,0	14,0	1,2	51,0	108,0	100
Sc	117,0	110,0	42,9	1,4	62,0	230,0	100
As	188,0	157,0	123,7	1,8	52,0	890,0	100
La	11,6	10,6	5,3	1,5	5,4	31,8	100
Ce	27,8	25,8	11,1	1,5	11,4	70,2	100
Nd	15,9	14,7	6,4	1,5	6,5	35,7	100
Sm	2,4	2,2	0,8	1,4	1,5	6,5	100
Eu	0,6	0,5	0,2	1,4	0,4	1,6	100
Gd	2,1	2,0	0,5	1,3	1,4	3,1	100
Dy	3,3	3,0	1,5	1,5	1,5	9,4	100
Ho	0,7	0,7	0,3	1,5	0,3	2,0	100
Er	2,3	2,1	1,0	1,5	1,0	6,2	100
Yb	2,5	2,3	1,0	1,5	1,0	6,0	100
Lu	0,3	0,3	0,1	1,4	0,2	0,8	100
SETRL	58,2	54,2	23,0	1,5	25,3	146,0	100
SETRP	11,3	10,6	4,3	1,4	5,6	26,1	100
SETRT	69,5	65,8	23,8	1,4	40,6	172,1	100

X - MÉDIA ARITMÉTICA

G - MÉDIA GEOMÉTRICA

S - DESVIO ARITMÉTICO

GD - DESVIO GEOMÉTRICO

Au - amostras: 13 amostras com um teor médio de 0,20 ppm, variando de 0,03 ppm a 1,01 ppm.

Pt - amostras: EAL-002 (4 ppm), EAL-021 (04 ppm), EAL-22 (0,02 ppm), EAL-B06 (0,04 ppm) e EAL-061 (0,3 ppm).

SETRL - SOMATÓRIA DOS ELEMENTOS TERRAS RARAS LEVES

SETRP - SOMATÓRIA DOS ELEMENTOS TERRAS RARAS PESADOS

SETRT - SOMATÓRIA DOS ELEMENTOS TERRAS RARAS TOTAL

TABELA 29 - SUMÁRIO ESTATÍSTICO DAS CONCENTRAÇÕES DOS ELEMENTOS QUÍMICOS EM AMOSTRAS DE SOLO DA SERRA DO PIROCAUA (AMOSTRA TOTAL)

ELEMENTO N = 22	X	G	S	DG	Vmin	Vmax	GRAU DE DETECÇÃO (%)
% peso							
SiO ₂	1,93	1,21	2,28	2,71	0,37	70,80	100
Al ₂ O ₃	22,84	21,76	7,40	1,37	11,20	42,50	100
Fe ₂ O ₃	0,51	34,94	23,81	1,74	8,50	61,00	100
TiO ₂	2,54	2,35	1,07	1,50	1,30	7,90	100
P ₂ O ₅	15,05	10,43	15,12	2,41	0,22	21,60	100
ppm							
Cu	118,0	101,3	71,0	1,8	40,0	250,0	100
Co*	—	—	—	—	—	—	—
Ni	66,0	59,4	34,0	1,6	22,0	122,0	100
Mn	250,0	212,0	153,0	1,8	90,0	365,0	100
Cr	1542,0	1292,0	1000,0	1,8	470,0	4600,0	100
V	1125,0	948,0	718,0	1,8	148,0	1860,0	100
ppb							
SrO	1,3	0,8	1,5	2,6	0,1	2,9	100
ppm							
Ba	205,0	170,0	137,0	1,9	26,0	380,0	100
Y	36,0	52,0	23,0	1,5	35,0	220,0	100
Nb*	—	—	—	—	—	—	—
Zr	400,0	355,0	208,0	1,6	116,0	1140,0	100
Ga	69,0	67,0	18,0	1,3	22,0	86,0	100
Sc	111,0	101,0	50,0	1,5	34,0	200,0	100
As	273,0	218,0	205,0	2,0	36,0	630,0	100
La	14,4	13,1	6,7	1,6	5,3	28,2	100
Ce	34,6	32,2	13,9	1,5	13,8	74,3	100
Nd	19,7	18,4	7,5	1,4	6,9	35,1	100
Sm	2,8	2,6	1,2	1,5	1,0	6,2	100
Eu	0,6	0,6	0,3	1,6	0,2	1,4	100
Gd	2,6	2,3	1,2	1,5	0,8	5,5	100
Dy	3,4	3,0	1,7	1,6	1,0	7,5	100
Ho	0,7	0,7	0,4	1,6	0,2	1,6	100
Er	2,4	2,1	1,1	1,6	0,8	4,9	100
Yb	2,5	2,2	1,2	1,6	0,8	5,2	100
Lu	0,3	0,3	0,1	1,4	0,1	0,7	100
SETRL	72,3	67,5	28,0	1,4	29,4	45,3	100
SETRP	11,9	10,8	5,6	1,6	4,1	25,5	100
SETRT	84,2	78,3	31,4	1,4	36,7	165,3	100

X - MÉDIA ARITMÉTICA

G - MÉDIA GEOMÉTRICA

S - DESVIO PADRÃO ARITMÉTICO

GD - DESVIO PADRÃO GEOMÉTRICO

* - ELEMENTOS NÃO PROCESSADOS (quantidade de dados insuficientes).

SETRL - SOMATÓRIA DOS ELEMENTOS TERRAS RARAS LEVES

SETRP - SOMATÓRIA DOS ELEMENTOS TERRAS RARAS PESADOS

SETRT - SOMATÓRIA DOS ELEMENTOS TERRAS RARAS TOTAL

Essas diferenças pouco expressivas, indicam similaridade química composicional entre solos e crostas na serra do Pirocaua.

Os diagramas SiO_2 - Al_2O_3 - Fe_2O_3 e Fe_2O_3 - P_2O_5 - Al_2O_3 , (Figuras 38 e 39), mostram que as rochas e solos da serra do Pirocaua tem de fato composição química semelhante entre si. O diagrama SiO_2 - Al_2O_3 - Fe_2O_3 , indica o baixo teor de SiO_2 , tanto para os solos como para a crosta, onde, inclusive, se observa uma independência da sílica. A crosta apresenta um ligeiro domínio das amostras no campo do Fe_2O_3 .

O diagrama Fe_2O_3 - P_2O_5 - Al_2O_3 (Figura 39), que melhor expressa o inter-relacionamento entre a composição química e a mineralogia, indica que a crosta e os solos também se assemelham entre si, mostrando uma dispersão quase linear mas independente dos outros componentes. O padrão de variação, paralelo a linha isocomposicional da augelita/senegalita e em parte da crandalita-goyazita, ressaltando a mineralogia da crosta e dos solos dominada por esses fosfatos e hematita/goethita. O deslocamento das amostras para o campo de Fe_2O_3 é provocado pela abundância da hematita e goethita com tendência para Al_2O_3 pela presença em menor proporção da gibbsita e caulinita.

7.1.3.2 - Elementos-Traços

Entre os elementos traços analisados na crosta e solos da serra do Pirocaua, Sr, Ba, Y, Sc e As, mais especificamente Sr, Ba e Sc, apresentaram concentrações relativamente elevadas, se comparados com lateritos em geral (SCHELLMANN, 1986). O Sr inclusive atinge unidades percentuais.

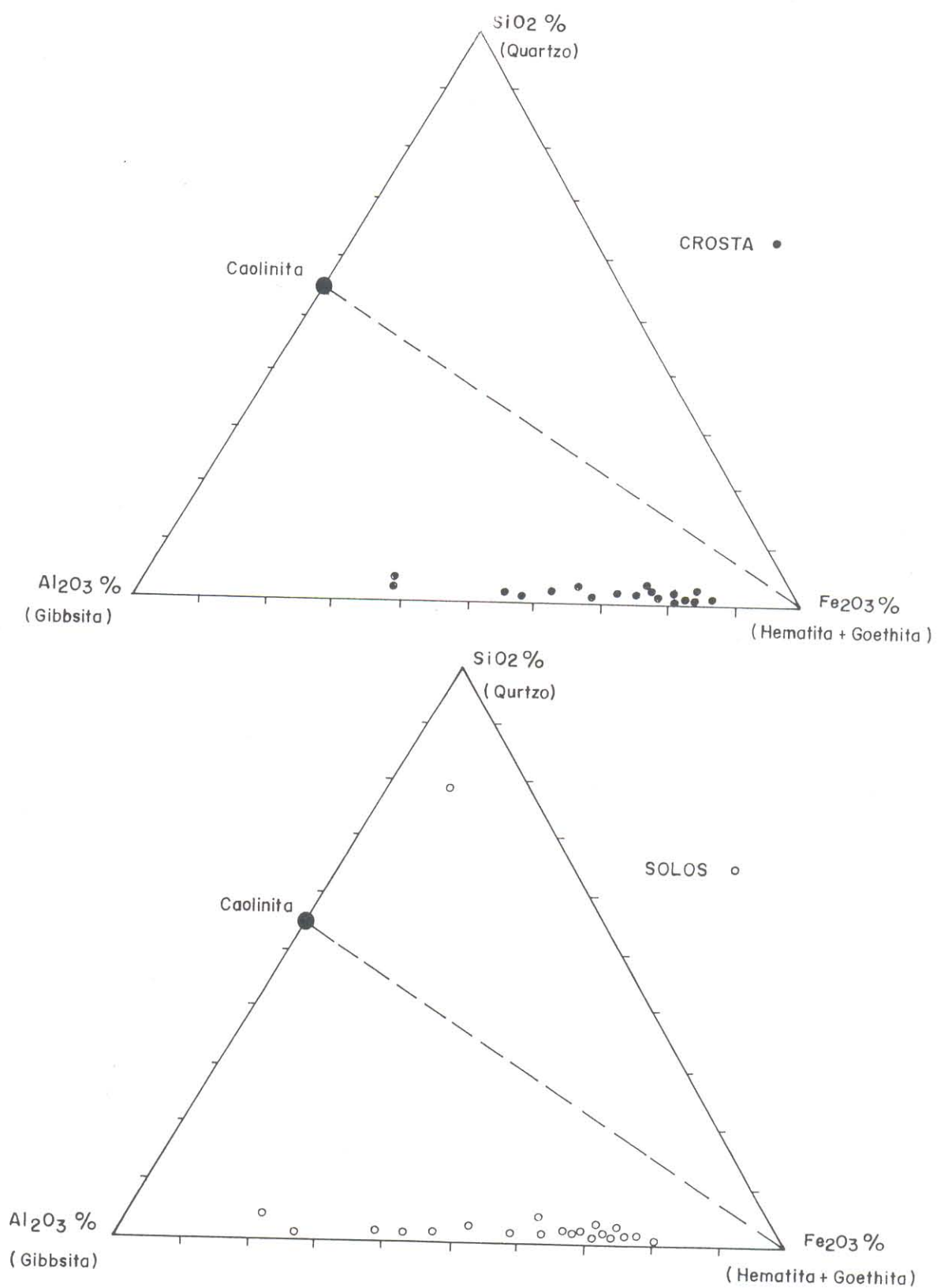


Figura. 38 - Diagramas triangulares SiO₂-Al₂O₃-Fe₂O₃ das amostras da serra do Pirocaua

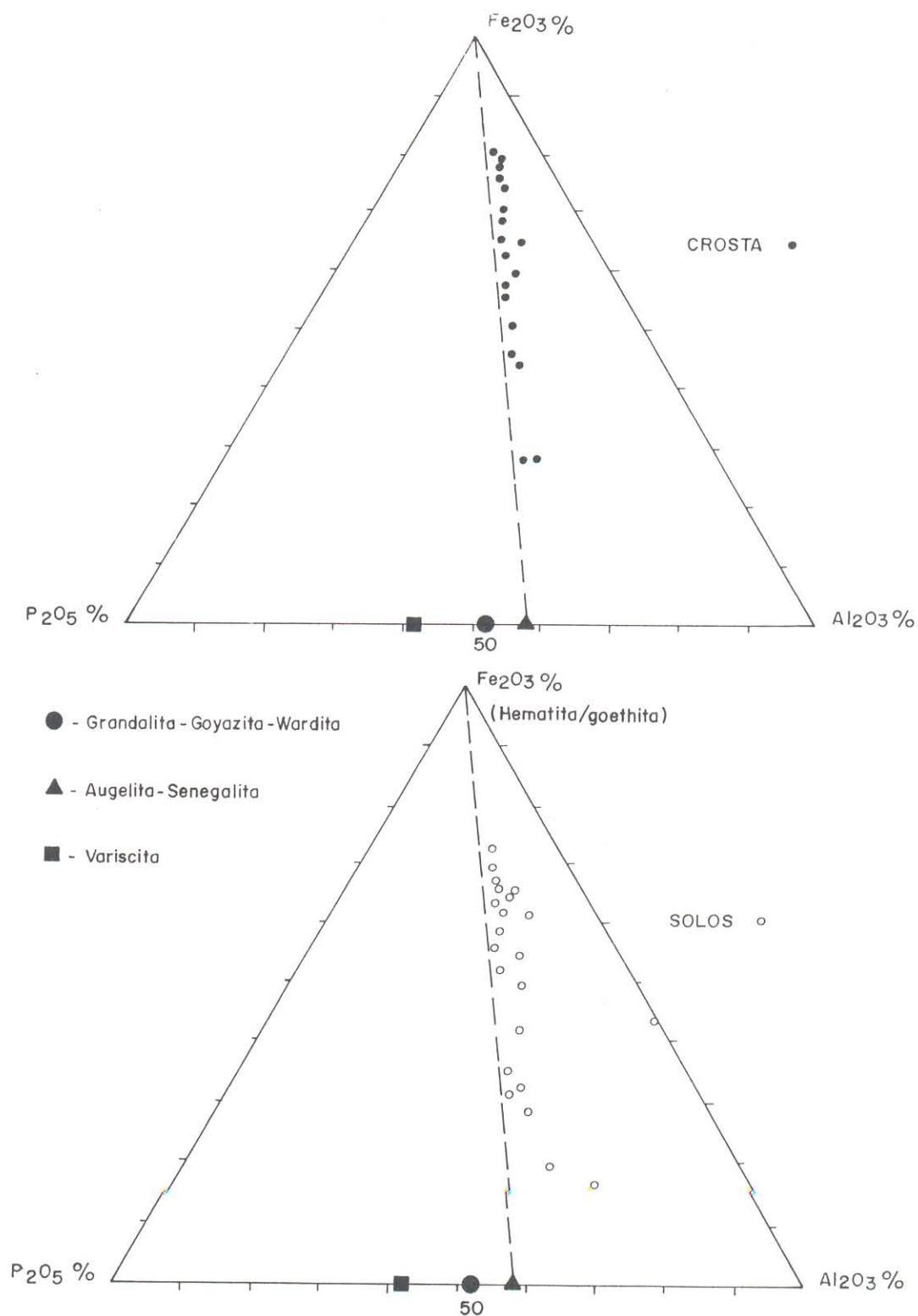


Figura. 39 - Diagramas triangulares Fe_2O_3 - P_2O_5 - Al_2O_3 das amostras da serra do Pirocaua.

Lateritos com concentrações elevadas desses elementos (Sr, Ba, Y e Sc), estão estritamente relacionados com fosfatos de alumínio, em regiões específicas como Gurupi (COSTA & SÁ, 1980; COSTA et al., 1980; OLIVEIRA & SCHWAB, 1980; SCHWAB et al., 1989); Maicuru (LEMO, 1990; ANGÉLICA, 1991); - Mabouni, (LOTTERMOSER, 1990); Senegal (FLICOTEAUX et al., 1977; VIEILLARD et al., 1979; BONNOT-COURTOIS & FLICOTEAUX, 1989). Esses elementos encontram-se na estrutura do grupo da crandalita, compondo a solução sólida crandalita-goyazita, como já foi identificado previamente.

Solos e crosta, também não apresentam diferenças marcantes entre si, em termos de elementos traços (Tabela 30), exceto nos teores de Mn, mais elevados na crosta, e Ba e As nos solos. Na crosta e nos solos lateríticos de Pirocaua, Cu, Ni, Cr e V, encontram-se com teores sugestivos de influência de rocha de natureza básica, confirmada pela concentração relativamente baixa de Zr (346 e 400 ppm para crosta e solos respectivamente), como se pode antever através dos dados de SIQUEIRA (1982); SCHELLMANN (1986); CARVALHO et al., (1988); FRIEDRICH et al., (1989); entre outros. O As na serra do Pirocaua, encontra-se com fator de 100 vezes ou mais, acima da média crustal (média de 188 ppm, chegando em algumas amostras acima de 400 ppm). Em Lateritos, embora ainda haja poucas informações, o As tende a se concentrar em ordem de grandeza elevada, chegando aos 41 ppm nas bauxitas da Amazônia (TRUCKENBRODT et al., 1991), e até 15 ppm em bauxitas da Venezuela (SCHORIN & PRUDELET, 1987).

TABELA 30 – COMPARAÇÃO ENTRE AS CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DOS ELEMENTOS DA SERRA DO PIROCAUA (PLATÔ), ROCHAS E SOLOS COM A MÉDIA CRUSTAL (AMOSTRA TOTAL).

ELEMENTO	ROCHA N = 27	SOLOS N = 22	ROCHAS + SOLOS N = 49	MÉDIA CRUSTAL
% peso				
SiO ₂	1,04	1,93	1,50	55,20 %
Al ₂ O ₃	19,47	22,84	21,30	8,20 %
Fe ₂ O ₃	48,96	40,51	44,90	5,60 %
TiO ₂	2,96	2,54	2,70	1,04 %
P ₂ O ₅	11,85	15,05	13,50	0,25 %
ppm				
Cu	109,5	118,0	114,0	68,00
Co	10,3	—	9,6	29,00
Ni	76,0	66,0	71,4	99,00
Mn	657,7	250,0	445,4	950,00 (2)
Cr	1235,6	1542,0	1405,0	122,00
V	1411,4	1125,0	1262,0	136,00
SrO	0,8	1,3	2,0	384,00
Ba	153,0	205,0	180,0	390,00
Y	51,0	36,0	54,0	31,00
Zr	346,0	400,0	374,0	162,00
Ga	77,0	69,0	73,4	19,00
Sc	117,0	111,0	114,4	25,00
As	188,0	273,0	232,0	1,80
La	11,6	14,4	13,0	34,00
Ce	27,8	34,6	31,3	66,00
Nd	15,8	19,7	17,8	40,00
Sm	2,4	2,8	2,6	7,00
Eu	0,6	0,6	0,6	2,00
Gd	2,1	2,6	2,3	6,00
Dy	3,3	3,4	3,3	3,00 (1)
Ho	0,7	0,7	0,7	1,00
Er	2,3	2,4	2,3	3,50
Yb	2,5	2,5	2,5	3,10
Lu	0,3	0,3	0,3	0,50 (1)
SETRL	58,2	72,3	65,6	
SETRP	11,3	11,9	11,6	
SETRT	69,5	84,2	77,1	

OBSERVAÇÃO: Os valores médios crustais de todos os elementos são de FAIRBRIDGE (1972), com exceção de :
(1) Dy, Lu – TAYLOR (1964) e (2) Mn – SAXBY (1969).

SETRL - SOMATÓRIA DOS ELEMENTOS TERRAS RARAS LEVES
SETRP - SOMATÓRIA DOS ELEMENTOS TERRAS RARAS PESADOS
SETRT - SOMATÓRIA DOS ELEMENTOS TERRAS RARAS TOTAL

É possível que essas concentrações médias extremamente anômalas de As(188 ppm nas rochas e 273 ppm nos solos), na serra do Pirocaua, estejam relacionadas com as manifestações auríferas e turmaliníferas encontradas sobre o platô e às mineralizações auríferas, nos arredores do mesmo. Na crosta, foi detectado Au em 8 amostras, com uma concentração média de 0.2 ppm destacando-se a amostra EAL-031, com 1.01 ppm para ouro. Ressaltam-se também as amostras EAL-002, EAL-021 e EAL-022, nas quais foram detectados até 0.4 ppm de Pt associados a altas concentrações de Cr, com registros de até 4600 ppm.

Uma comparação dos resultados analíticos da serra do Pirocaua com os demais alvos apresentados (serra do Tiracambu, N-5 e N-1), mostra que neste, as concentrações médias são mais elevadas para Cu, Ni, Cr, V, Ga, Sc, As, Sr e Ba.

7.1.3.3 - Elementos Terras Raras

As concentrações elevadas de ETR em lateritos, são encontradas quando estes contêm fosfatos de alumínio, principalmente do grupo da crandalita, formadas a partir do complexo ultramáfico-alcalino-carbonatítico (LEMOS,1991; COSTA et al., 1991; ANGÉLICA, 1991). Na serra do Pirocaua, embora os teores de ETR sejam superiores aqueles dos lateritos bauxíticos e ferruginosos, estão abaixo dos lateritos fosfáticos em geral(COSTA,1990), o que vem corroborar que sua origem não deriva dos tipos de complexos acima referidos.

A concentração dos ETR nos solos, é ligeiramente maior que na crosta, principalmente em relação ao Ce e Nd. O aumento da concentração do Ce nos solos do alvo serra do Pirocaua, deve ser uma decorrência da maior abundância de fosfatos e também pode ser explicado através dos estudos de MARSH (1991), onde o mesmo conclui que em perfis lateríticos, as anomalias positivas de Ce, são desenvolvidas em produtos oxidados durante o intemperismo,

pela depleção relativa dos demais ETR pelas águas de percolação. O Ce^{3+} , se oxida para Ce^{4+} , onde é menos móvel que os outros ETR, juntamente com o Y, formando anomalias. Este processo provavelmente também ocorre para anomalias de Ce em bauxitas ferruginosas e provavelmente em lateritos.

Comparando as concentrações dos ETR do alvo Aurizona com os outros alvos aqui estudados, observa-se na Tabela 31 que os valores para La e Ce são menores que no TN-6 e maior para os demais elementos. Em relação ao N-5 a concentração para todos os ETR. são mais elevadas, com exceção do La. Comparado com o N-1 as concentrações são relativamente mais elevadas para todo grupo de ETR.

As curvas normalizadas aos condritos para crosta e solos da serra do Pirocaua são semelhantes entre si. Observa-se um ligeiro enriquecimento em ETRP e a tendência à apresentação de anomalia negativa de Eu e positivas de Ce (Figura 40). A primeira comum em rochas não lateríticas ou mesmo em rochas lateríticas, na qual deve ter sido herdada, enquanto a segunda, classicamente encontrada em lateritos (BRAUN et al, 1980; COSTA et al. 1991).

TABELA 31 – COMPARAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DOS ELEMENTOS QUÍMICOS NOS ALVOS ESTUDADOS (AMOSTRA TOTAL).

	TIRACAMBU	CARAJÁS		AURIZONA			MÉDIA CRUSTAL
	TN-6 N = 43	N-5 N = 56	N-1 N = 178	CROSTA N = 22	SOLO N = 24	M. ADJACENTE N = 17	
La	19.2	17.4	12.9	11.6	14.4	21.2	34,00
Ce	41.5	30.9	20.7	27.7	34.6	37.6	36,00
Nd	13.0	13.2	8.4	15.9	19.7	14.9	40,00
Sm	2.0	2.4	1.5	2.4	2.8	2.9	7,00
Eu	0.1	0.6	0.4	0.6	0.6	0.7	2,0
Gd	1.7	2.2	1.1	2.1	2.6	2.7	6,00
Dy	3.0	3.6	1.3	3.3	3.4	3.8	3,00 (1)
Ho	0.1	0.8	0.3	0.7	0.7	0.8	1,00
Er	2.1	2.5	0.9	2.3	2.4	2.8	3,50
Yb	2.9	2.9	1.1	2.5	2.5	3.1	3,10
Lu	0.4	0.4	0.2	0.3	0.3	0.5	0,50 (1)
SETRL	74.6	3.9	43.8	58.2	72.3	72.0	–
SETRP	10.2	12.6	4.8	11.3	11.9	13.7	–
SETRP	84.9	72.7	48.5	69.5	84.2	91.4	–
Ce/Ce*					1.0	1.0	
Eu/Eu*					0.7	0.7	

OBSERVAÇÃO: Os valores médios crustais de todos os elementos são de FAIRBRIDGE (1972), com exceção de : (1) Dy, Lu – TAYLOR (1964) N = número de amostras coletadas em cada alvo

A Figura 41 identifica amostras selecionadas com anomalias positivas de Ce (Ce/Ce^*). O comportamento dos ETR é praticamente idêntico, tanto na crosta propriamente dita como no solo dela derivado.

As curvas de distribuição dos ETR na serra do Pirocaua são similares aquelas dos solos de Tiracambu e de N-5, divergindo porém daquelas da crosta ferruginosa de N-1.

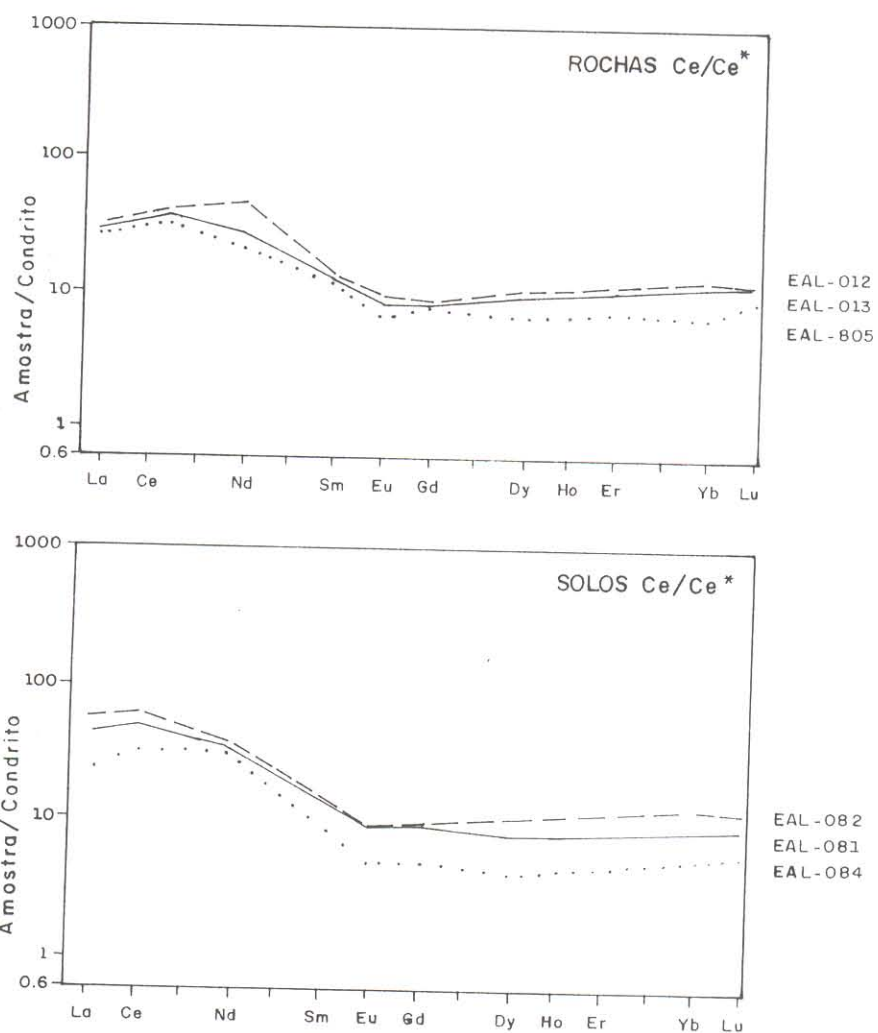


FIGURA. 41 - ANOMALIAS POSITIVAS DE Ce (Ce/Ce^*) EM AMOSTRAS DE CROSTA E DOS SOLOS DO ALVÔ SERRA DO PIROCAUA.

7.1.3.4 - Correlações e associações geoquímicas

Com base na matriz de correlação do conjunto das amostras da crosta e dos solos da serra do Pirocaua (ANEXO XXX),

foram identificadas as associações geoquímicas da Tabela 32:

Tabela - 32 - ASSOCIAÇÕES GEOQUÍMICAS DO CONJUNTO DE AMOSTRAS DA SERRA DO PIROCAUA (CROSTA + SOLOS) (AMOSTRA TOTAL)

* P_2O_5 - Al_2O_3 - Nb - (Ba) - (Nd) - Sr,
* Fe_2O_3 - (Cu) - (Ni) - (V) - Ga - (Sc)
* TiO_2 - (Y) - Nb - Zr - ETRL - ETRP (-Gd)

A primeira deve representar principalmente os fosfatos de alumínio (crandallita-goyazita, augelita e senegalita). A segunda reflete a hematita e a goethita; a terceira, corresponde a presença do anatásio. Quando se analisa crosta e solos em conjuntos distintos (ANEXOS XXXI e XXXII) as associações obtidas (Tabela 33) são praticamente idênticas entre si e, obviamente ao conjunto total, especialmente as três primeiras. Essas similaridades de associações reforçam o que se vinha constatando em termos mineralógicos e químicos, comprovando a similaridade entre crosta e solos.

Tabela 33 -PRINCIPAIS ASSOCIAÇÕES GEOQUÍMICAS A PARTIR DAS MATRIZES DE CORRELAÇÃO DAS AMOSTRAS DA CROSTA E DOS SOLOS DO ALVO SERRA DO PIROCAUA

CROSTA	SOLOS
* P_2O_5 - Al_2O_3 -Nb-Sr-> (Ba)-(Nd)	* P_2O_5 - Al_2O_3 - TiO_2 -ETRL(-Sm)-> Ga-Y-Ba
* Fe_2O_3 -Ga-(Cu)-V-Mn	* Fe_2O_3 -(As)-Sc-(Ga)-V-Ni-Cu
* TiO_2 -ETRP(-Gd)-ETRL-Zr-Y	* TiO_2 -ETRP(-Eu)-ETRL-Zr-(Y)-Mn
* Al_2O_3 - P_2O_5 -Sr-Ba-As	* (Sr)-(Ba)-(As)

A significativa correlação Ba-Sr, aliada aos altos teores de Sr, refletem a abundância do membro goyazita da série isomórfica crandalita-goyazita. A correlação P_2O_5 -Ba, com teores médios de 150 a 200 ppm de Ba, reflete a presença deste elemento no grupo da crandalita.

A associação Ga-As-V-Ni-Cu, deve estar associada a goethita-hematita, em função da alta correlação destes elementos com o ferro(ANEXO XXXII). No caso do gálio a correlação , significativa com o Fe ($r = 0.5$ $N = 17$), sugerindo que o mesmo pode ser encontrado na estrutura da goethita e/ou da goethita aluminosa de acordo com COSTA (1989); HIERONYMUS et al.(1990). Os outros elementos, principalmente o Ni e o Cu, podem ser encontrados na estrutura dos argilos - minerais complexos e nos oxi-hidróxidos de Fe e Mn.

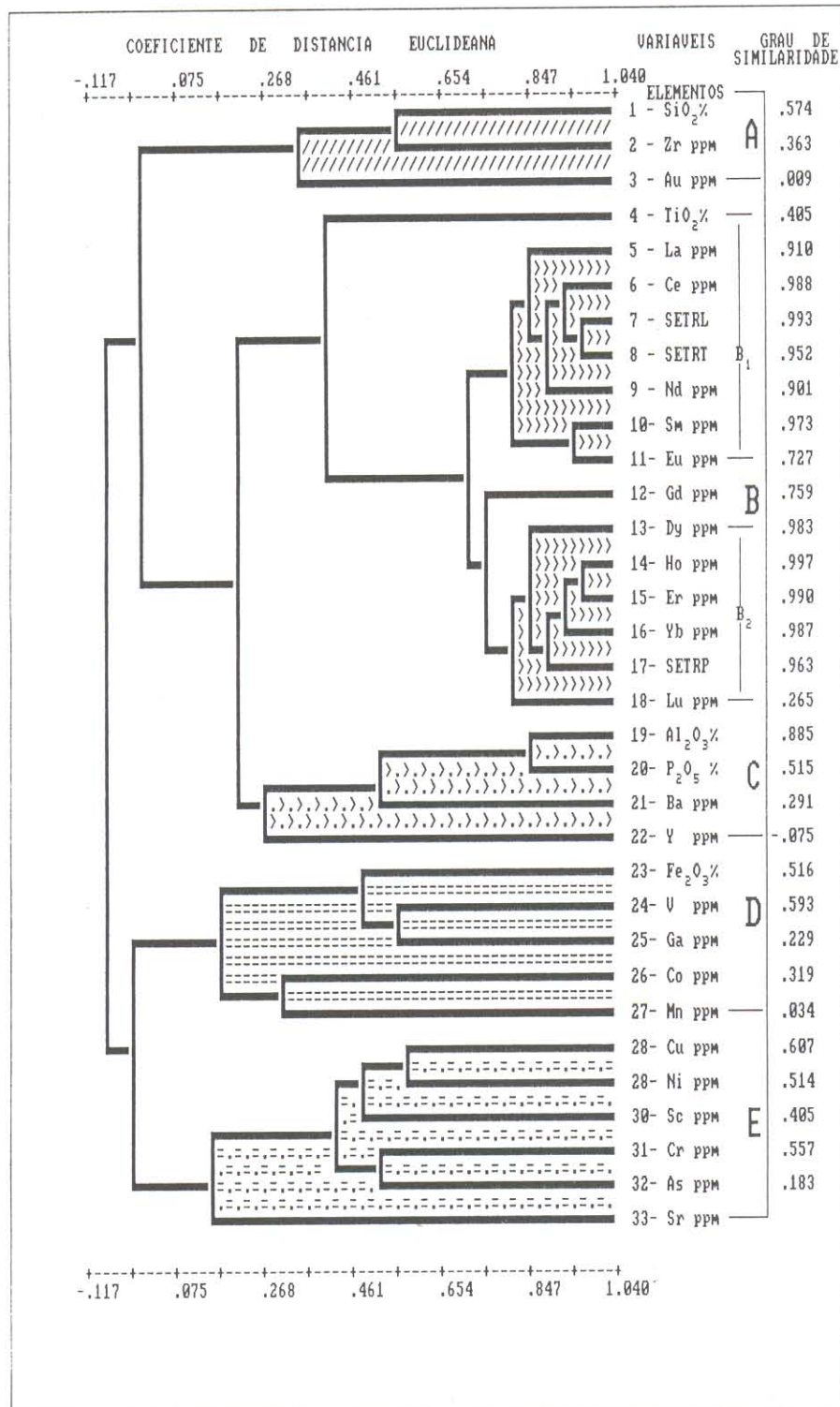
Os ETR tendem a formar um grupo geoquímicamente homogêneo, com exceção do Gd, sendo que a homogeneidade é maior entre os ETRL e entre os ETRP. Enquanto os ETRL se correlacionam mais significativamente com P_2O_5 (fosfatos), os ETRP se correlacionam com o TiO_2 (anatásio) e Zr e Y (provavelmente o zircão), como pode ser observado na Tabela 32. A correlação dos ETRL com fosfatos de alumínio é comum em depósitos lateríticos (STEINBERG. & COURTOIS, 1976; FORMOSO et al. 1986; LOTTERMOSER, 1990; LEMOS, 1991).

Pelo exposto, crostas e solos da serra do Pirocaua, em termos de associações geoquímicas obtidas através das matrizes de correlação, não apresentam diferenças geoquímicas, entre si, o que já havia sido detectado através dos resultados mineralógicos e químicos.

Por outro lado, as associações geoquímicas obtidas através dos dendrogramas, modo "R" (Figura 42) mostram que crosta e solos apresentam um número maior de associações menores; que se parcialmente reagrupadas assumem o padrão anterior.

Enquanto na crosta ocorre a associação típica dos fosfatos do grupo da crandalita ($\text{Al}_2\text{O}_3\text{-P}_2\text{O}_5\text{-Sr}$), nos solos se restringe a ($\text{Al}_2\text{O}_3\text{-P}_2\text{O}_5\text{-TiO}_2$), englobando os fosfatos de alumínio, junto com o anatásio. Por sua vez a associação do Fe_2O_3 (V-Cu-Sc-Ni-Ga), é bem representada nos solos, subdividindo-se na crosta, possivelmente em função da natureza mineralógica, na qual é maior a proporção de hematita + goethita. Os ETR, em conjunto com o Y, formam uma associação típica, classificando os fosfatos do grupo da crandalita e ao mesmo tempo, expondo o menor domínio do anatásio nos solos. Na crosta, de acordo com a Figura 46, a associação $\text{TiO}_2\text{-Y-ETRP}$, confirma-se, refletindo o mineral anatásio ou seja, enquanto as associações geoquímicas obtidas através das matrizes de correlação (Tabela 33) são em menor número e consequentemente mais amplas, aquelas obtidas com o Modo "R" (Tabela 33), são mais específicas, indicando casos mais particulares. O Modo "R" então, foi capaz de obter algumas diferenças geoquímicas sutis, entre a crosta e os solos.

O ouro e a platina, embora não tenham sido discriminados no dendrograma, ocorrem na associação típica dos óxidos e hidróxidos de ferro.



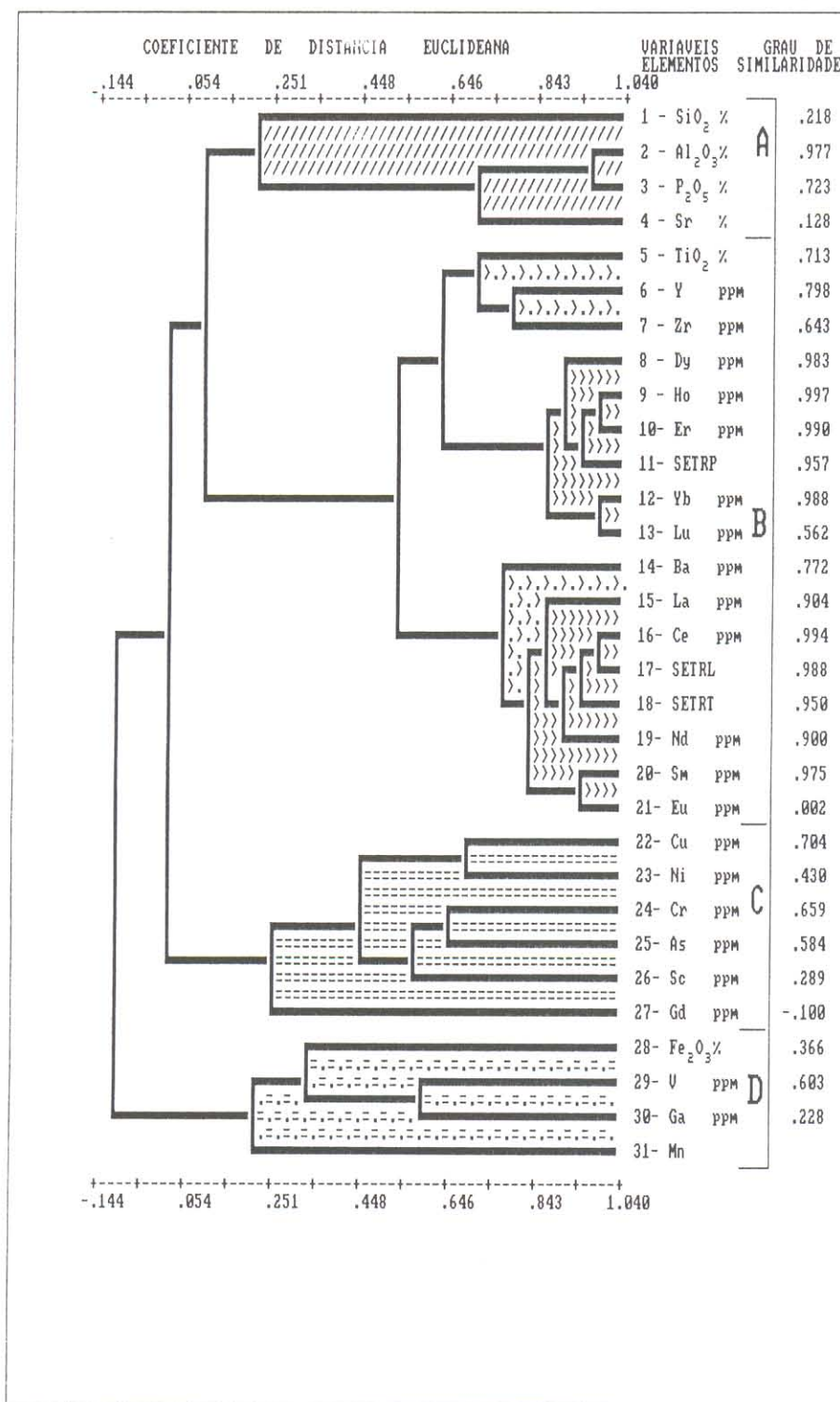


FIGURA 43- DENDROGRAMA MODO "R" DAS AMOSTRAS DE
ROCHA DA CROSTA DA SERRA DO PIROCAUA
(AMOSTRA TOTAL)

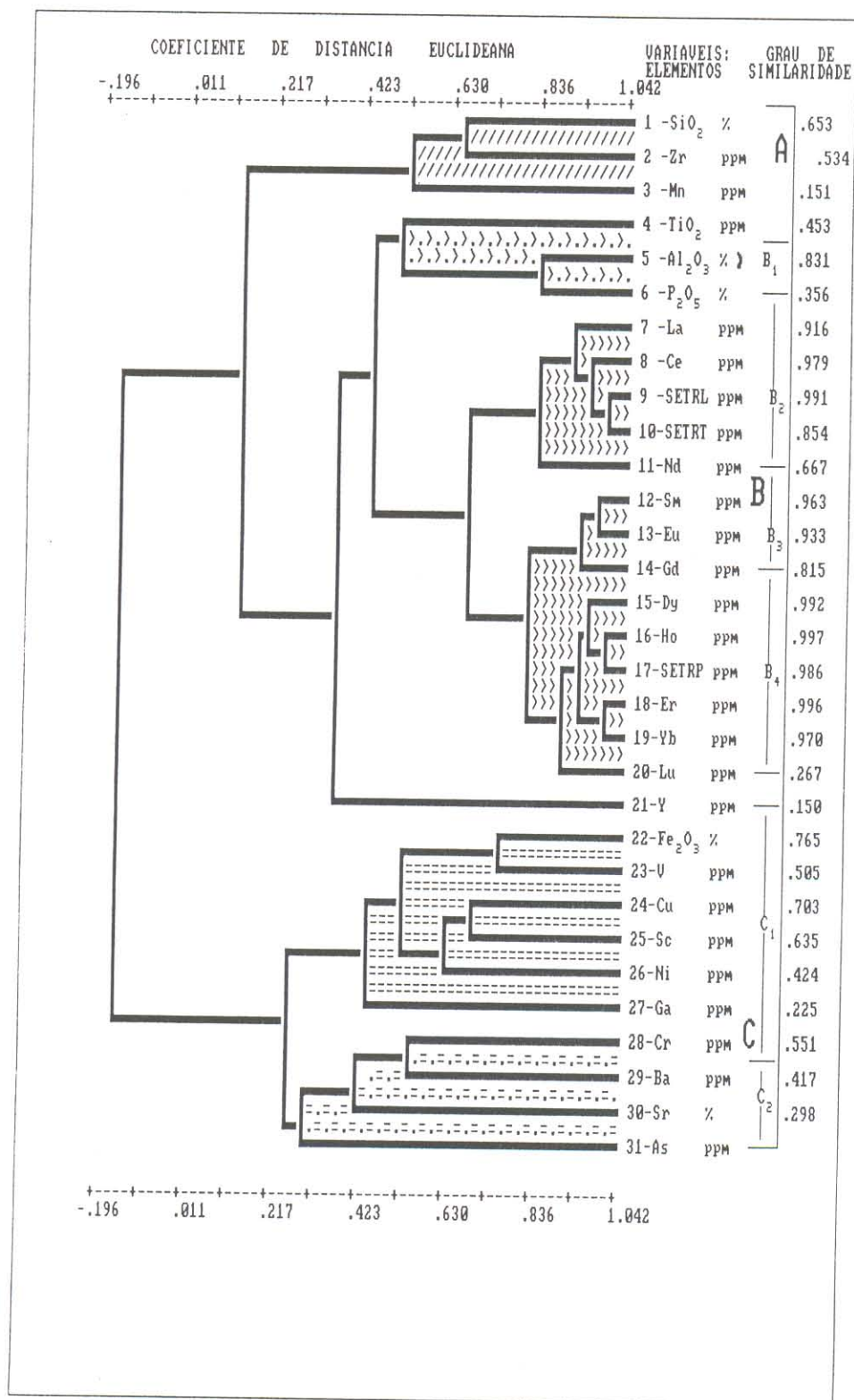


FIGURA 44- DENDROGRAMA MODO "R" DAS AMOSTRAS DE SOLO DA CROSTA DA SERRA DO PIROCAUA (AMOSTRA TOTAL)

**Tabela 34-PRINCIPAIS ASSOCIAÇÕES GEOQUÍMICAS A PARTIR DA ANÁLISE
DOS DENDROGRAMAS MODO "R" DAS AMOSTRAS DA CROSTA
E DOS SOLOS DA SERRA DO PIROCAUA.**

CROSTA	SOLOS
* $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-P}_2\text{O}_5\text{-Sr}$	* $\text{SiO}_2\text{-Zr-Mn}$
* $\text{TiO}_2\text{-Y-Zr-ETRP-Ba-}>$ ETRL	* $\text{TiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-P}_2\text{O}_5\text{-}>$ Y-ETRL-ETRP
* $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-V-Ga-Mn}$	* $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-V-Cu-Sc-Ni-Ga}$
* Cu-Ni-Cr-Sc-Gd-As	* Cr-Ba-Sr-As

Comparando o comportamento químico das amostras da crosta e dos solos, observa-se que são semelhantes entre si, mostrando que não houve praticamente nenhuma modificação químico-mineralógica durante a formação desses solos. Conclui-se portanto, que, na serra do Pirocaua, os solos sejam conseqüentes de um processo físico de dismantelamento da crosta laterítica.

7.2 - O MORRO ADJACENTE: LATERITOS IMATUROS

7.2.1- Aspectos Geológicos

O denominado Morro Adjacente, é constituído em sua superfície mais elevada por um solo avermelhado, de aspecto argilo-arenoso, contendo concreções e nódulos marrons e vermelhos de oxi-hidróxidos de ferro (Figura 37), podendo ser denominado de solo concrecionário ferruginoso, correspondente àqueles que regionalmente se encontram nos topos dos perfis lateríticos mais jovens e menos evoluídos, descritos por SOMBROEK & CAMARGO (1983); COSTA et al., (1991b), como imaturos, entre outros. Com estas características, distingue-se de forma bem clara, dos Lateritos superficiais da serra do Pirocaua, que inclusive encontram-se numa posição topográfica superior.

7.2.2 - Mineralogia

Os principais minerais constituintes destes solos, identificados por DRX são : quartzo, caulinita, goethita, hematita e em menor quantidade o anatásio (ANEXOS XXXV e XXXVI).

Como acessórios, foram identificados através de microscópio petrográfico a turmalina, zircão e rutilo. Rutilo e turmalina em algumas amostras foram detectados por DRX.

Quartzo, hematita e goethita são os minerais mais abundantes, seguidos por caulinita (Tabela 35). A gibbsita e os fosfatos de alumínio não foram identificados nestes solos lateríticos, ao contrário do que ocorre na serra do Pirocaua. A composição mineralógica média da rocha total se comparada com a da fração -80 + 200 mesh na Tabela 35 caracteriza-se pelos teores de quartzo e caulinita menos elevados, e os de hematite e goethita

mais concentrados. A matriz dos solos é constituída predominantemente por caulinita, seguida de hematita e goethita.

Hematita e goethita formam as concreções, que entretanto são pouco abundantes, não se ressaltando na fração -80 + 200 mesh.

Tabela 35 - COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA MÉDIA (% EM PESO) DA AMOSTRA TOTAL E DA FRAÇÃO -80+200# DOS LATERITOS IMATUROS NO MORRO ADJACENTE A SERRA DO PIROCAUA.

		quartzo	caulinita	hematita +goethita	anatásio
AMOSTRA TOTAL	X	44.7	29.0	24.8	1.5
	S	11.4	4.1	10.3	0.3
FRAÇÃO -80+200#	X	67.3	23.5	7.2	1.6
	S	5.5	4.1	1.3	0.2
X - Média aritmética		S - Desvio padrão aritmético			

O diagrama da Figura 45 , mostra nitidamente as diferenças mineralógicas entre rocha total e a fração -80 + 200, embora se situem no mesmo trend, os resultados da amostra total tendem para o vértice hematita+ goethita.

Embora adjacentes, morro e serra, ambos com lateritos, são do ponto de vista mineralógico (Figura 46), também completamente diferentes entre si, mesmo pertencendo a um ambiente idêntico em termos de mineralização aurífera.

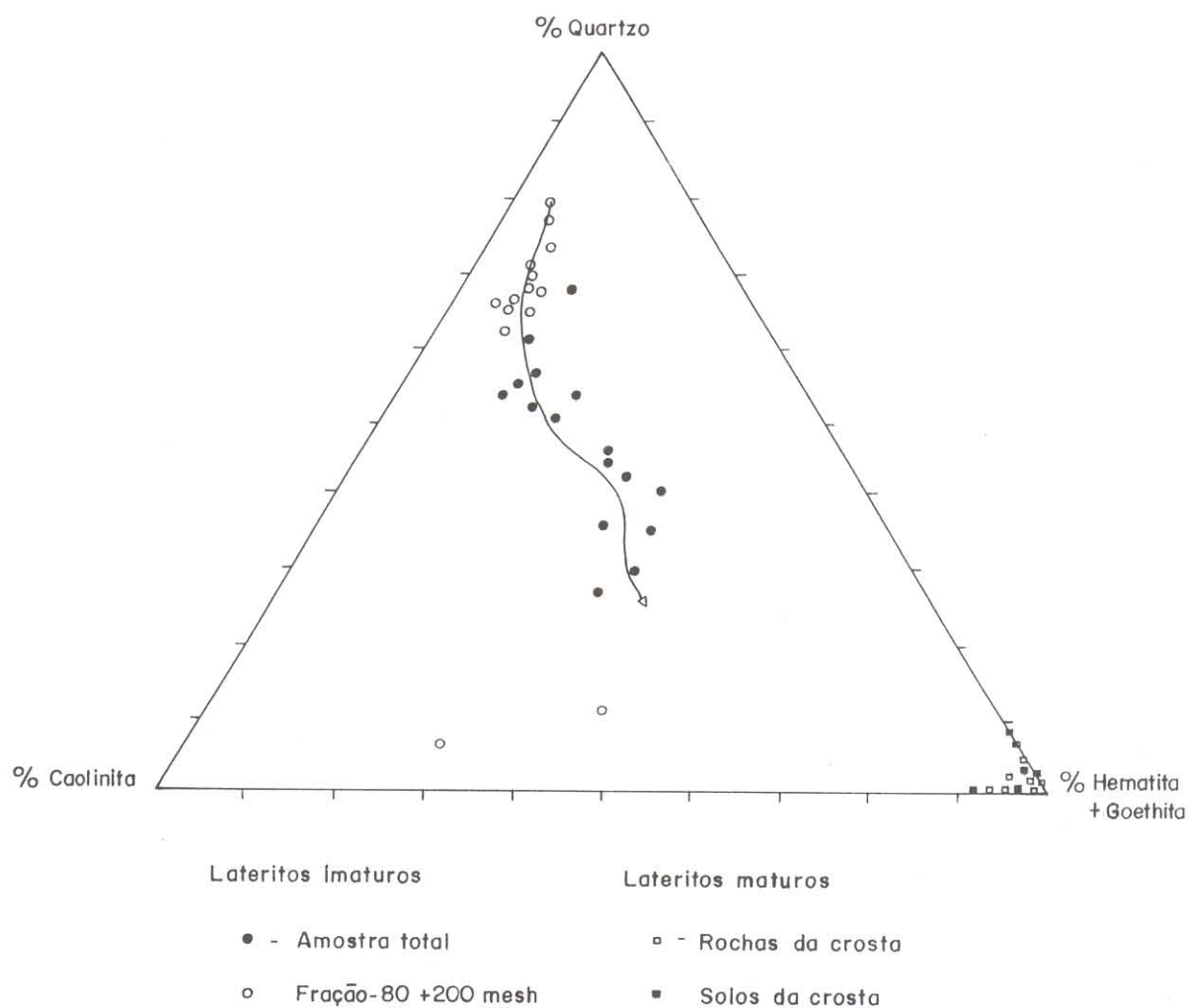


Figura. 45 - Diagrama quartzo-caulinita-(hematita + goethita) das amostras dos lateritos maduros e imaturos (morro adjacente) do alvo serra do Pirocaua.

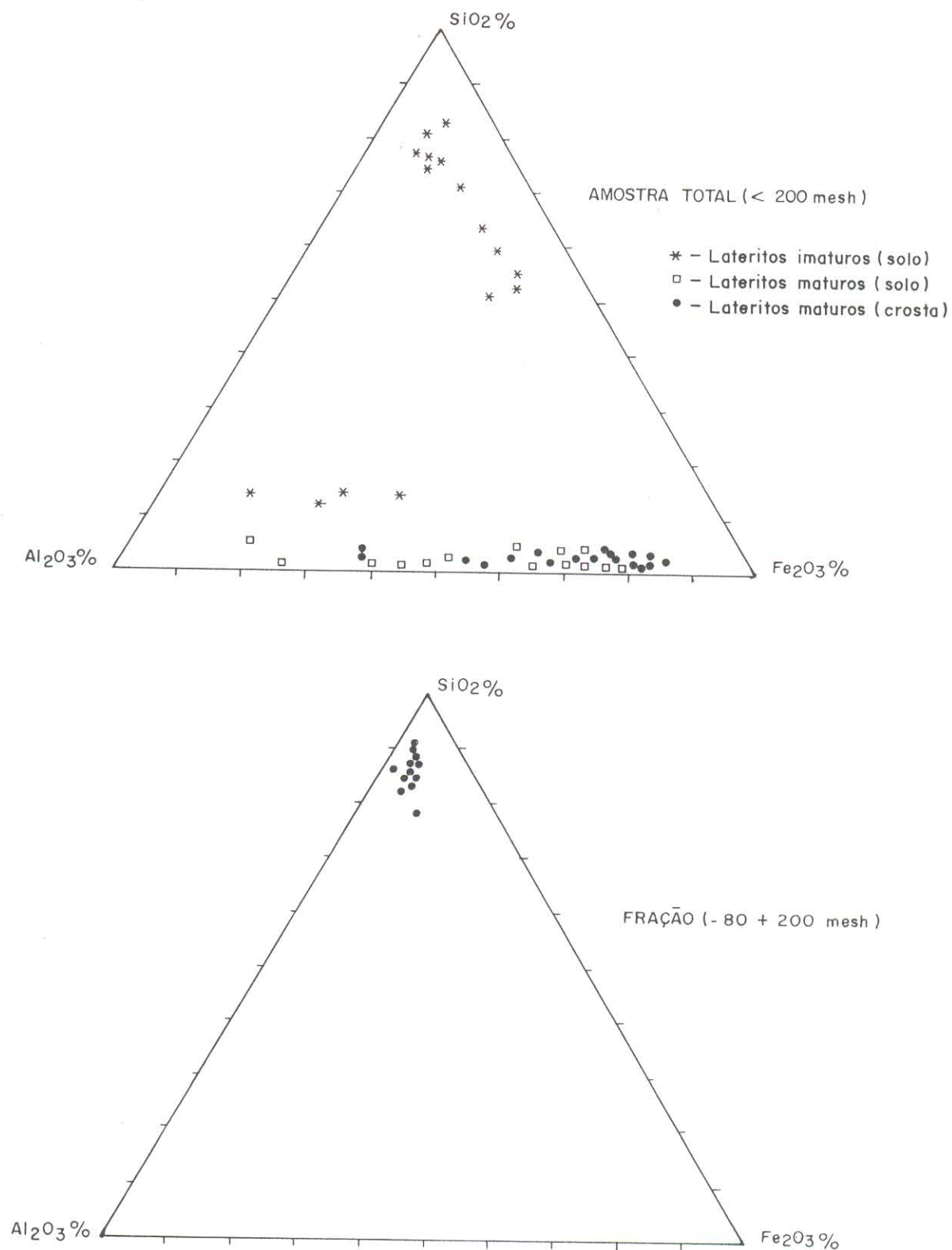


Figura. 46 - Diagrama triangular $SiO_2 - Al_2O_3 - Fe_2O_3$ para as amostras de solo do morro adjacente à serra do Pirocaua

7.2.3 - Geoquímica

7.2.3.1 - Composição Química

O sumário estatístico das concentrações dos elementos analisados no morro adjacente à serra do Pirocaua, tanto na fração -80 + 200 mesh, como na amostra total, pode ser visualizado nas Tabelas 36 e 37. Na amostra total destacam-se os altos teores médios de SiO_2 (49,49%), Al_2O_3 (22,15%) e Fe_2O_3 (20,04%) e os baixos teores médios de TiO_2 (1,54%) e P_2O_5 (0,37%).

Na fração -80 + 200 mesh, o teor médio de SiO_2 é ainda mais elevado, enquanto os teores médios de Al_2O_3 , Fe_2O_3 e P_2O_5 se tornam relativamente baixos. Esses teores refletem o domínio do quartzo, seguido pela caulinita, hematita e goethita. O TiO_2 , representa o anatásio e o rutilo. Esse quadro confirma a predominância do quartzo na fração grosseira. A concentração média mais baixa para Fe_2O_3 nesta fração, reflete a presença pouco significativa das concreções.

Os dados químicos obtidos, com base na rocha total, mostram que os solos concrecionários do morro adjacente não são, do ponto de vista geoquímico, correlacionáveis com a crosta ou solos da serra do Pirocaua, conforme mostram os diagramas da Figura 49.

A sua composição química pode ser comparada com o topo dos perfis lateríticos imaturos da Amazônia, descritos por KRONBERG et al. 1979 ; em Rondônia COSTA(1984); em Outeiro/Mosqueiro COSTA et al. 1991, entre outros, podendo desenvolver-se sobre rochas sedimentares , metasedimentares e granitóides.

Tabela 36 - SUMÁRIO ESTATÍSTICO DAS CONCENTRAÇÕES DOS ELEMENTOS ANALISADOS NAS AMOSTRAS DE SOLO NO MORRO ADJACENTE A SERRA DO PIROCAUA (FRAÇÃO -80 + 200 mesh).

ELEMENTO N = 17	X	G	S	DG	Vmin	Vmax	GRAU DE DETEÇÃO(%)
% peso							
SiO ₂	78,21	78,11	4,09	1,05	67,20	84,90	100
Al ₂ O ₃	7,28	9,13	1,72	1,20	6,50	11,90	100
Fe ₂ O ₃	4,21	4,00	1,50	1,41	1,70	8,10	100
TiO ₂	1,55	1,54	0,18	1,12	1,20	1,90	100
P ₂ O ₅	0,10	0,09	0,04	1,55	0,05	0,23	100
ppm							
Cu	28,0	19,0	5,3	1,3	10,0	30,0	100
Co*	-	-	-	-	-	-	-
Ni	19,5	18,0	7,0	1,4	10,0	30,0	100
Mn	177,0	157,0	94,2	1,7	70,0	620,0	100
Cr	199,0	185,0	81,2	1,5	100,0	425,0	100
V	73,0	67,0	33,0	1,5	40,0	200,0	100
Sr	215,0	174,0	153,0	1,9	85,0	650,0	100
Ba	123,0	121,0	26,6	1,2	91,0	230,0	100
Y	32,0	32,0	5,8	1,2	25,0	45,0	100
Nb	24,0	23,0	5,5	1,2	20,0	48,0	94
Zr	1083,0	1058,0	242,0	1,2	600,0	1300,0	100
Ga	6,0	6,0	1,6	1,3	5,0	9,0	70
Sc	10,0	9,0	2,3	1,3	6,0	18,0	100
As	19,0	16,0	11,4	1,7	4,0	44,0	100
ppb							
Pd	3,0	2,0	2,5	1,9	1,0	7,0	70
ppm							
La	14,3	12,9	7,0	1,6	8,0	60,3	100
Ce	23,6	22,4	7,7	1,4	14,9	37,0	100
Nd	8,9	8,5	2,9	1,4	5,5	14,1	100
Sm	1,7	1,6	0,5	1,3	0,9	2,5	100
Eu	0,5	0,5	0,1	1,2	0,3	0,7	100
Gd	1,8	1,8	0,3	1,2	1,2	2,4	100
Dy	3,2	3,1	0,6	1,2	2,2	3,9	100
Ho	0,7	0,7	0,1	1,1	0,5	0,7	100
Er	2,4	2,3	0,4	1,2	1,5	2,9	100
Yb	2,7	2,7	0,5	1,2	1,6	3,3	100
Lu	0,5	0,4	0,3	1,8	0,2	4,0	100
SETRL	49,6	47,3	16,0	1,4	30,8	81,5	100
SETRP	11,2	11,1	1,8	1,2	7,2	13,3	100
SETRT	60,8	59,0	15,9	1,3	40,4	88,7	100

X - MÉDIA ARITMÉTICA

S - DESVIO PADRÃO ARITMÉTICO

G - MÉDIA GEOMÉTRICA

DG - DESVIO PADRÃO GEOMÉTRICO

* - ELEMENTOS NÃO PROCESSADOS (quantidade de dados insuficientes) Au: 3 AMOSTRAS - EA-65A (0,05 ppm), EA-35A (0,09 ppm), EA-46A (0,07 ppm).

SETRL - SOMATÓRIA DOS ELEMENTOS TERRAS RARAS LEVES

SETRP - SOMATÓRIA DOS ELEMENTOS TERRAS RARAS PESADOS

SETRT - SOMATÓRIA DOS ELEMENTOS TERRAS RARAS TOTAL

Tabela 37 - SUMÁRIO ESTATÍSTICO DAS CONCENTRAÇÕES DOS ELEMENTOS ANALISADOS NAS AMOSTRAS DE SOLO DO MORRO ADJACENTE A SERRA DO PIROCAUA -LATERITOS IMATUROS (AMOSTRA TOTAL)

ELEMENTO N = 17	X	G	S	DG	Vmin	Vmax	GRAU DE DETEÇÃO (%)
% peso							
SiO ₂	49,49	37,60	41,38	2,16	10,80	75,70	100
Al ₂ O ₃	22,15	17,26	17,51	2,08	7,70	63,50	100
Fe ₂ O ₃	20,04	17,09	12,28	1,79	7,20	33,35	100
TiO ₂	1,54	1,51	0,31	1,22	1,10	2,10	100
P ₂ O ₅	0,37	0,31	0,22	1,78	0,18	1,50	100
ppm							
Au*	-	-	-	-	-	-	-
Cu	21,0	20,0	6,4	1,3	10,0	35,0	94
Co	5,0	5,0	1,2	1,2	5,0	10,0	60
Ni	25,0	24,0	6,6	1,3	15,0	35,0	94
Mn	192,0	175,0	86,5	1,5	70,0	420,0	94
Cr	271,0	190,0	262,0	2,4	10,0	510,0	100
V	154,0	124,0	110,0	2,0	10,0	260,0	100
Sr	632,0	463,0	566,0	2,3	110,0	2650,0	100
Ba	137,0	129,0	47,5	1,4	74,0	260,0	100
Y	28,8	27,0	10,1	1,4	14,0	50,0	100
Nb	-	-	-	-	-	-	-
Zr	915,0	828,0	437,0	1,6	380,0	1530,0	100
Ga	15,0	14,0	5,8	1,5	8,0	27,0	100
Sc	30,3	28,0	11,9	1,5	15,0	54,0	100
As	90,3	71,0	69,0	2,0	18,0	185,0	100
Pd	4,5	4,0	2,2	1,6	2,0	9,0	100
La	21,2	18,3	12,5	1,7	10,0	106,4	100
Ce	37,0	34,5	14,4	1,5	19,0	63,0	100
Nd	14,9	13,8	6,4	1,5	7,4	33,7	100
Sm	2,9	2,7	1,1	1,4	1,3	6,1	100
Eu	0,7	0,7	0,2	1,4	0,4	1,5	100
Gd	2,7	2,6	0,9	1,4	1,2	4,8	100
Dy	3,8	3,6	1,1	1,3	2,3	6,0	100
Ho	0,9	0,8	0,2	1,3	0,5	1,3	100
Er	2,8	2,7	0,8	1,3	1,8	4,4	100
Yb	3,0	2,9	1,6	1,4	1,4	4,6	100
Lu	0,5	0,4	0,4	2,1	0,3	0,7	100
SETRL	77,6	71,0	34,8	1,5	38,3	210,7	100
SETRP	13,7	13,2	3,9	1,3	7,9	21,1	100
SETRT	91,4	84,8	37,5	1,5	46,3	230,4	100

X - MEDIA ARITMÉTICA

S - DESVIO PADRÃO ARITMÉTICO

G - MEDIA GEOMÉTRICA

DG - DESVIO PADRÃO GEOMÉTRICO

* - ELEMENTOS NÃO PROCESSADOS (quantidade de dados insuficientes) Au: 02 Amostras - EA-65B (0.05 ppm), EA-66B (0.05 ppm).

SETRL - SOMATÓRIA DOS ELEMENTOS TERRAS RARAS LEVES ..

SETRP - SOMATÓRIA DOS ELEMENTOS TERRAS RARAS PESADOS

SETRT - SOMATÓRIA DOS ELEMENTOS TERRAS RARAS TOTAL

7.2.3.2 - Elementos-Traços

As concentrações dos elementos traços, obtidas para a amostra total, bem como para a fração -80 + 200#, se equivalem entre si, exceto para Cr, V, Sr, Ga, Sc, As, mais elevadas na amostra total. A fração grosseira caracteriza-se assim, por apresentar concentrações mais baixas dos elementos traços. Esse fato deve estar relacionado, a menor abundância de argilominerais e oxi-hidróxidos de ferro nessa fração, onde predomina o quartzo. As concentrações, quando comparadas com a média crustal encontram-se tanto abaixo como acima dela:

abaixo : Cu, Co, Ni, Mn, Ba

acima : Cr, Sr, Zr, As

equivalente: V, Y, Ga, Sc.

Esses valores, em parte, são encontrados em Lateritos imaturos derivados de rochas sedimentares e de granitóides em Rondônia, de rochas sedimentares no Acre e no Nordeste do Pará, (COSTA, 1984; COSTA et al. 1991).

Comparando as concentrações dos elementos traços do morro com os da crosta ferruginosa e os solos da serra do Pirocaua (Tabela 38), no morro eles estão em níveis muito inferiores aos da serra. A exceção se faz ao Zr e aos ETR, onde o zircão é mais abundante. Desta forma, do ponto de vista de concentrações de elementos traços, morro e serra são lateritos também completamente diferentes entre si.

TABELA 38 - COMPARAÇÃO ENTRE OS TEORES MÉDIOS DAS FRAÇÕES ANALISADAS NO MORRO ADJACENTE À SERRA DO PIROCAUA E AS CONCENTRAÇÕES DA CROSTA E DOS SOLOS DA SERRA DO PIROCAUA.

	Morro Adjacente		Serra do	Pirocaua		M. CRUSTAL
ELEMENTO	I N = 17	II N = 17	Crosta N = 27	solos N = 22		
% peso						
SiO ₂		49,49	78,21	1,04	1,93	55,20 %
Al ₂ O ₃		22,15	7,28	19,47	22,84	8,20 %
Fe ₂ O ₃		20,04	4,21	48,96	40,51	5,60 %
TiO ₂		1,54	1,55	2,96	2,54	1,04 %
P ₂ O ₅		0,37	0,10	11,85	15,05	0,25 %
ppm						
Au		-	-	-	-	0,004 (1)
Cu		21,0	28,0	109,5	18,0	68,00
Co		5,0	-	10,3	-	29,00
Ni		25,0	19,5	76,1	66,0	99,00
Mn		192,0	177,0	657,7	250,0	950,00 (2)
Cr		271,0	199,0	1235,6	1542,0	122,00
V		154,0	73,0	1411,4	1125,0	136,00
Sr		632,0	215,0	0,9*	4,2*	384,00
Ba		137,0	123,0	153,0	205,0	390,00
Y		28,8	32,0	51,0	36,0	31,00
Nb		-	24,0	-	-	20,00
Zr		915,0	1083,0	346,0	400,0	162,00
Ga		15,0	6,0	77,0	69,0	19,00
Sc		30,3	10,0	117,0	111,0	25,00
As		90,3	19,0	188,0	273,0	1,80
ppb						
Pd		4,5	3,0	-	-	4,0 (3)
ppm						
La		21,2	14,3	14,6	14,4	34,00
Ce		37,0	23,6	27,8	34,6	66,00
Nd		14,9	8,9	15,9	19,7	40,00
Sm		2,9	1,7	2,4	2,8	7,00
Eu		0,7	0,5	0,6	0,6	2,00
Gd		2,7	1,8	2,0	2,6	6,00
Dy		3,8	3,2	3,3	3,4	3,00(1)
Ho		0,9	0,7	0,7	0,7	1,00
Er		2,8	2,4	2,3	2,4	3,50
Yb		3,0	2,7	2,5	2,5	3,10
Lu		0,5	0,5	0,3	0,3	0,50 (1)
SETRL		77,6	49,6	58,2	72,3	
SETRP		13,7	11,2	11,3	11,9	
SETRT		91,4	60,8	69,5	84,1	

OBS. : I - Amostra total II - Fração -80+200 mesh Os valores médios crustais de todos os elementos são de FAIRBRIDGE (1972), com exceção de : (1) Au , Dy , Lu - TAYLOR (1964); (2) Mn - SAXBY (1969) e (3) Pd - WEDEPOHL (1969) * - valor em % peso para Sr.

SETRL - SOMATÓRIA DOS ELEMENTOS TERRAS RARAS LEVES

SETRP - SOMATÓRIA DOS ELEMENTOS TERRAS RARAS PESADOS

SETRT - SOMATÓRIA DOS ELEMENTOS TERRAS RARAS TOTAL

7.2.3.3 - Elementos Terras Raras

As concentrações dos ETR, encontram-se abaixo da média crustal, com exceção do Dy, que está ligeiramente acima, tanto para a rocha total como para a fração -80 + 200 #. Comparando a rocha total com a fração -80 + 200 # (Tabela 38), observa-se que as concentrações são ligeiramente mais elevadas na rocha total, que é mais rica em óxido-hidróxidos de ferro e argilo-minerais. Essas concentrações se comparadas com as dos outros alvos estudados (Tabela 31), são aqui mais elevadas.

A Figura 47 apresenta o campo das curvas de distribuição dos ETR normalizadas aos condritos nos dois agrupamentos. A mostra total mostra enriquecimento dos ETRL, em relação a fração -80 + 200 #, ligeira anomalia positiva de Sm e negativa de Ho e Yb. A fração -80 + 200 mesh delineia anomalia negativa de Eu.

Algumas amostras (Figura 48) apresentam anomalias de Ce (Ce/Ce^*) que variam entre 0.70 (EALB-13) e 1.12 (EAL-85B).

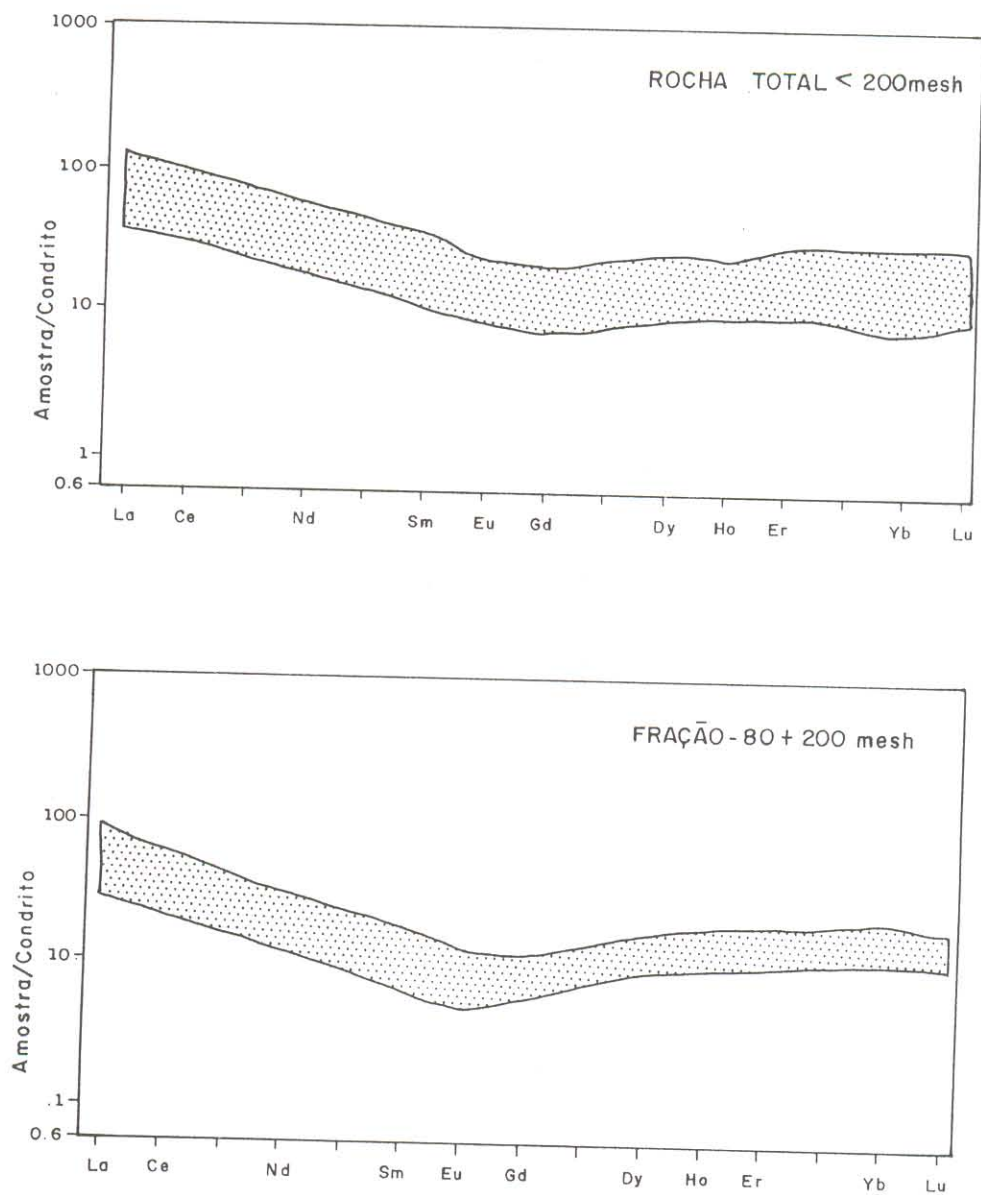


FIGURA . 47 - CURVAS DE DISTRIBUIÇÃO DOS ETR NORMALIZADOS PELO PADRÃO CONDITO (EVENSEN et al., 1978) DAS AMOSTRAS DE SOLOS DO MORRO ADJACENTE À SERRA DO PIROCAUA (Lateritos imaturos)

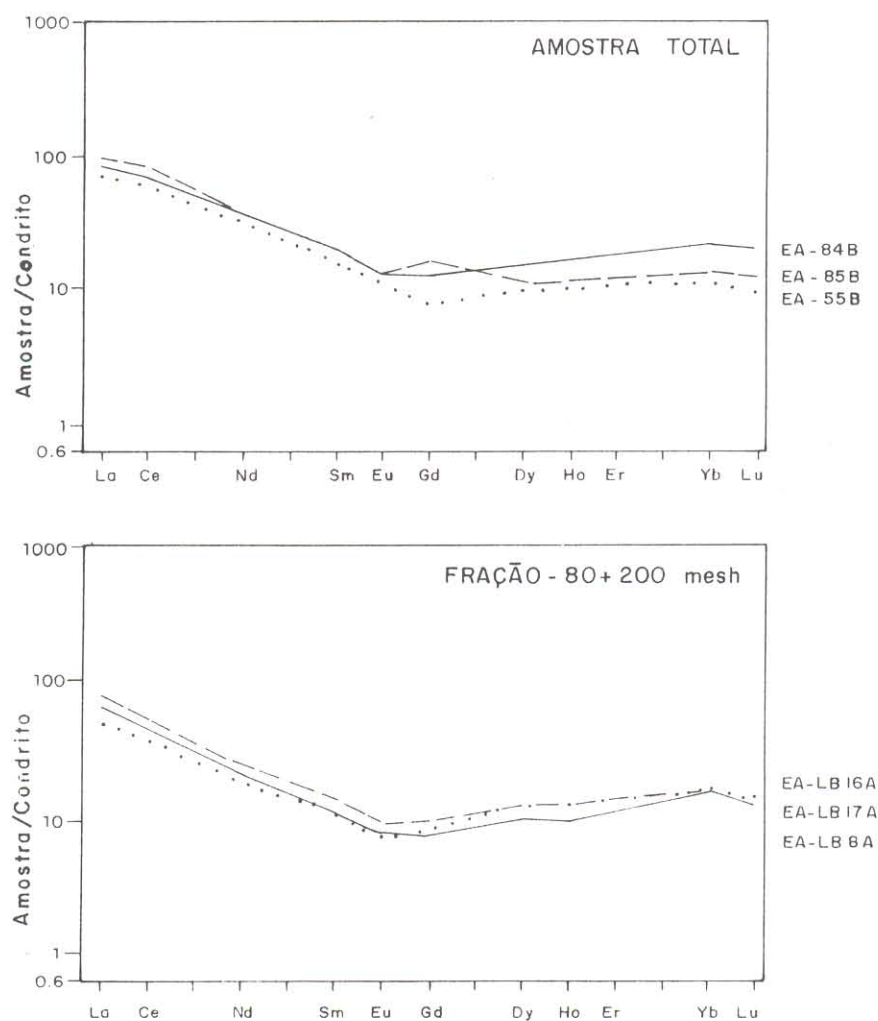


FIGURA. 48 - Exemplos de curvas distribuição normalizadas aos condritos para algumas amostras do morro adjacente.

7.2.4.3 - Correlações e Associações Geoquímicas

As principais associações geoquímicas no morro adjacente à serra do Pirocaua obtidas através de matrizes de correlação (ANEXOS XXXVII e XXXVIII) encontram-se na Tabela 39.

Tabela 39 - ASSOCIAÇÕES GEOQUÍMICAS DAS AMOSTRAS DE SOLO DO MORRO ADJACENTE A SERRA DO PIROCAUA A PARTIR DAS MATRIZES DE CORRELAÇÃO.

AMOSTRA TOTAL	FRAÇÃO -80 + 200 mesh
* SiO ₂ -TiO ₂ -Y-Zr-ETRP	* SiO ₂ - (Y) - (Zr) -ETRP
* Al ₂ O ₃ -P ₂ O ₅ -Sr-Zr-Ba-> (Nb)-Ga-La-Nd	* Al ₂ O ₃ -(Fe ₂ O ₃)-(Cu)-(Mn)-> (V)-(Ba)-(Nb)-Sc-(La)-(Ce)
* Fe ₂ O ₃ -(P ₂ O ₅)-Cu-Ni-Cr-> Ga-Sc-As	* Fe ₂ O ₃ -(Cu)-(Ni)-(V)-(Sr)-> (As)

Sobressaem três grandes associações, representativas dos óxidos dominantes (SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, TiO₂ e P₂O₅), cada um Figurando como um mineral específico, respectivamente: quartzo, caulinita, goethita + hematita, anatásio+rutilo e provavelmente, fosfatos de alumínio.

Em termos gerais as associações na amostra total e na fração -80 + 200, se equivalem entre si.

A associação comum SiO₂-TiO₂-Y-Zr-ETRP na amostra total e na fração -80 + 200 mesh, reflete provavelmente o acúmulo residual paralelo entre quartzo, zircão e mesmo anatásio + rutilo. A associação do Al₂O₃, que inclui P₂O₅, Sr, Ba e ETRL na amostra total, reflete a influência dos fosfatos de alumínio, embora a concentração média de P₂O₅ seja de 0,37%, e não tenha sido detectado por DRX. Na fração -80 + 200, onde a concentração de P₂O₅ é ainda menor (< 0,1%), tal associação não inclui o fósforo.

A associação do Fe_2O_3 , forma o agrupamento típico, semelhante nas duas populações de amostras(amostra total, e fração -80+200 mesh),correspondendo aos óxidos de ferro. Convém mencionar a correlação positiva e significativa de Fe_2O_3 -Ga-As-Sc na amostra total, que também foi observada nos solos da serra do Pirocaua. O Pd, embora não apareça na matriz de correlação(ANEXO XXXVII),em 06 amostras, apresenta correlação positiva ($r = 0,517-0,643$) com Fe, associando-se também ao As, Ga e Ni. É possível que o metal (mineral) esteja associado com as concreções ferruginosas (hematita e goethita), de acordo com COSTA(1990 b).

Por sua vez a análise de agrupamento através do Modo "R" na amostra total e na fração -80 + 200 mesh (Figuras 49 e 50), apresentam as associações geoquímicas indicadas na Tabela 40 que ao contrário das matrizes de correlação, delineou um número menor de associações, porém mais abrangentes.

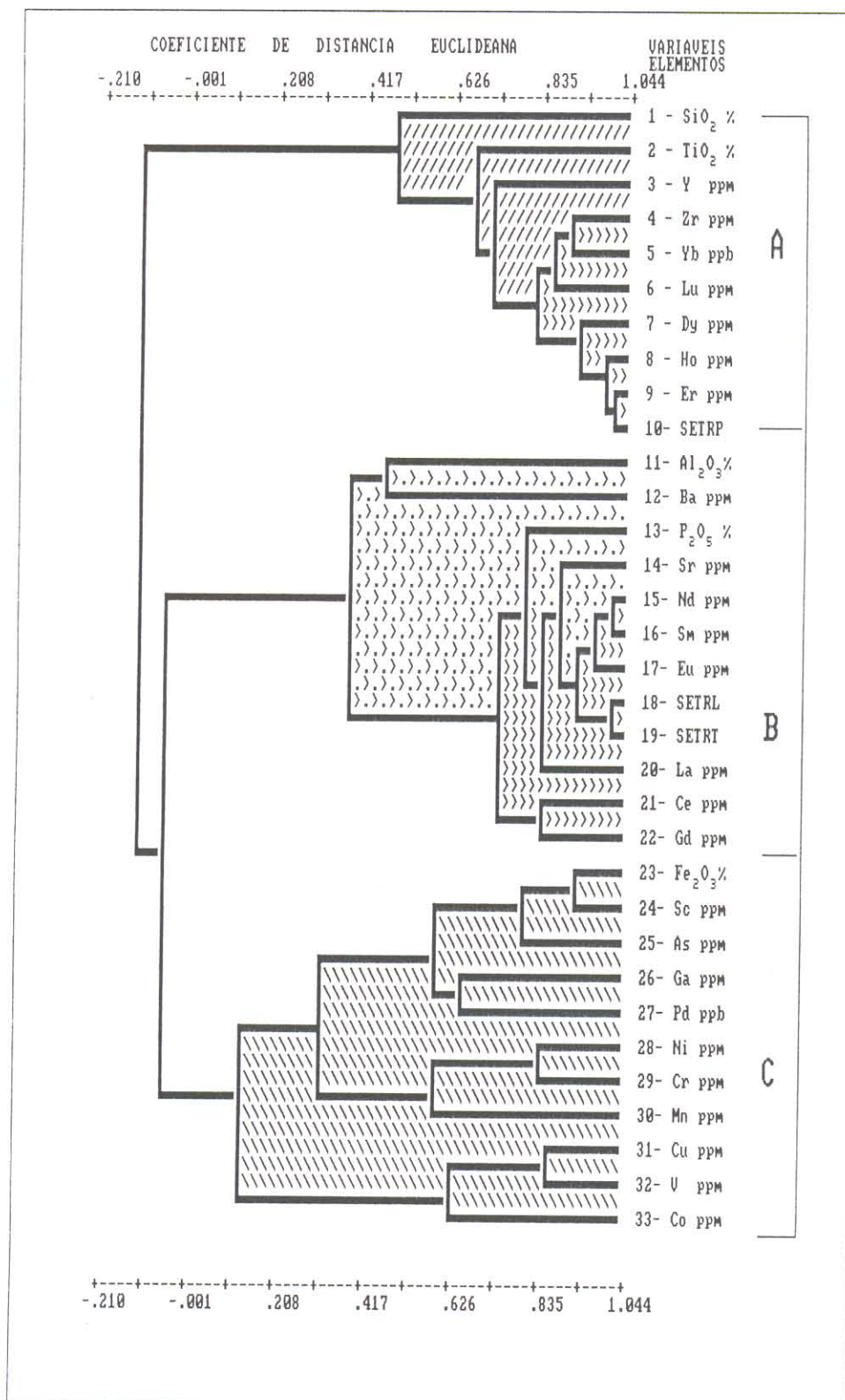


FIGURA 49 - DENDROGRAMA MODO "R" DAS AMOSTRAS DE SOLO DO MORRO ADJACENTE
(AMOSTRA TOTAL)

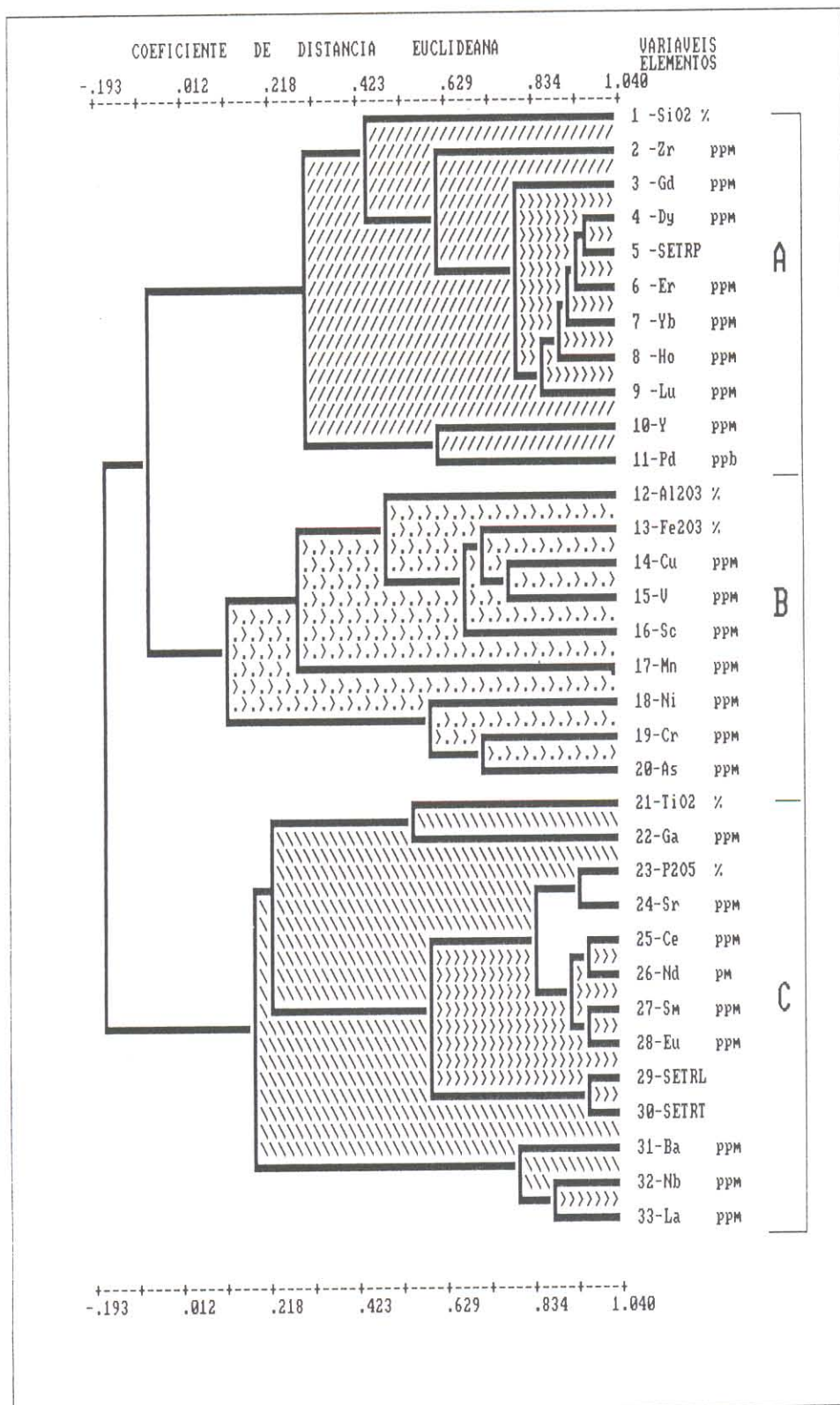


FIGURA 50 - DENDROGRAMA MODO "R" DAS AMOSTRAS DE SOLO DO MORRO ADJACENTE (FRACAO -80 + 200 mesh)

A primeira associação é comum às duas populações e equivalente aquelas obtidas através das matrizes de correlação, refletindo, provavelmente os minerais zircão, turmalina, anatásio+ rutilo e quartzo (resistatos). Já a segunda, na amostra total, reflete a presença dos fosfatos e na fração -80 + 200 mesh, os argilominerais, como também os oxihidróxidos de ferro. Na amostra total, o ferro forma uma associação isolada, como foi observado nas matrizes de correlação.

Tabela 40 - ASSOCIAÇÕES GEOQUÍMICAS DAS AMOSTRAS DE SOLO DO MORRO ADJACENTE A SERRA DO PIROCAUA A PARTIR DOS DENDROGRAMAS COM APLICAÇÃO DA ANÁLISE DE AGRUPAMENTO (MODO R).

AMOSTRA TOTAL	FRAÇÃO (-80 + 200 mesh)
* SiO ₂ -TiO ₂ -Y-Zr-ETRP	* SiO ₂ -Ba-TiO ₂ -Zr-Y-ETRP
* Al ₂ O ₃ -P ₂ O ₅ -Ba-Sr-SETRL	* Al ₂ O ₃ -Sr-ETRL
* Fe ₂ O ₃ -Sc-As-Ga-Pd-Ni-> Cr-Mn-Cu-V-Co	* Fe ₂ O ₃ -Ga-P ₂ O ₅ -Cu-Ni-As-> Mn-Cr-V-Sc

A fração -80 + 200 mesh, é compatível com a amostra total, mostrando associações geoquímicas semelhantes, principalmente com o Fe₂O₃, caracterizando a presença dos oxihidróxidos de ferro e a do TiO₂, refletindo os argilos-minerais.

8-DOMÍNIOS DAS ASSOCIAÇÕES GEOQUÍMICAS

Os mapas de domínio geoquímico das associações geoquímicas com base em todos os elementos químicos analisados (Si, Al, Fe, Ti, P, Cu, Ni, Mn, Cr, V, Sr, Ba, Nb, Zr, Ga, Sc, As, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Gd, Dy, Ho, Er, Yb e Lu), foram obtidos através da aplicação da análise de agrupamento "Modo Q", que forneceu os dendrogramas apresentados nos ANEXOS XLI a XLIII, L a LII, LXIII, LXV e LXVII. Os mapas de distribuição areal das anomalias geoquímicas por sua vez, foram confeccionados a partir da aplicação do programa "Topo", utilizando o método baseado no inverso do quadrado das distâncias, cujos valores foram alinhados segundo as anomalias de 1ª e 2ª ordem e, quando não disponíveis de 3ª ordens (ANEXOS LXIV, LXV, LXVI e LXVIII). Os mapas de distribuição areal das anomalias geoquímicas foram orientados segundo as associações geoquímicas discutidas em capítulos anteriores (4.3.3, 5.3.3, 6.4.3, 7.1.4 e 7.2.4.3).

8.1-DOS LATOSSOLOS

8.1.1-Alvo Serra do Tiracambu-(TN-6)

8.1.1.1-Principais domínios químicos e mineralógicos:

Os dendrogramas de "ModoQ" (ANEXOS XLI a XLIII) e o mapa da Figura 51 indicam que os solos do TN-6 tanto na amostra total como nas duas frações se dividem em 2 domínios principais "A e B". Nas frações o domínio "A" ocupa maior área e está envolvido pelo domínio "B"; acontecendo praticamente o mesmo com a amostra total.

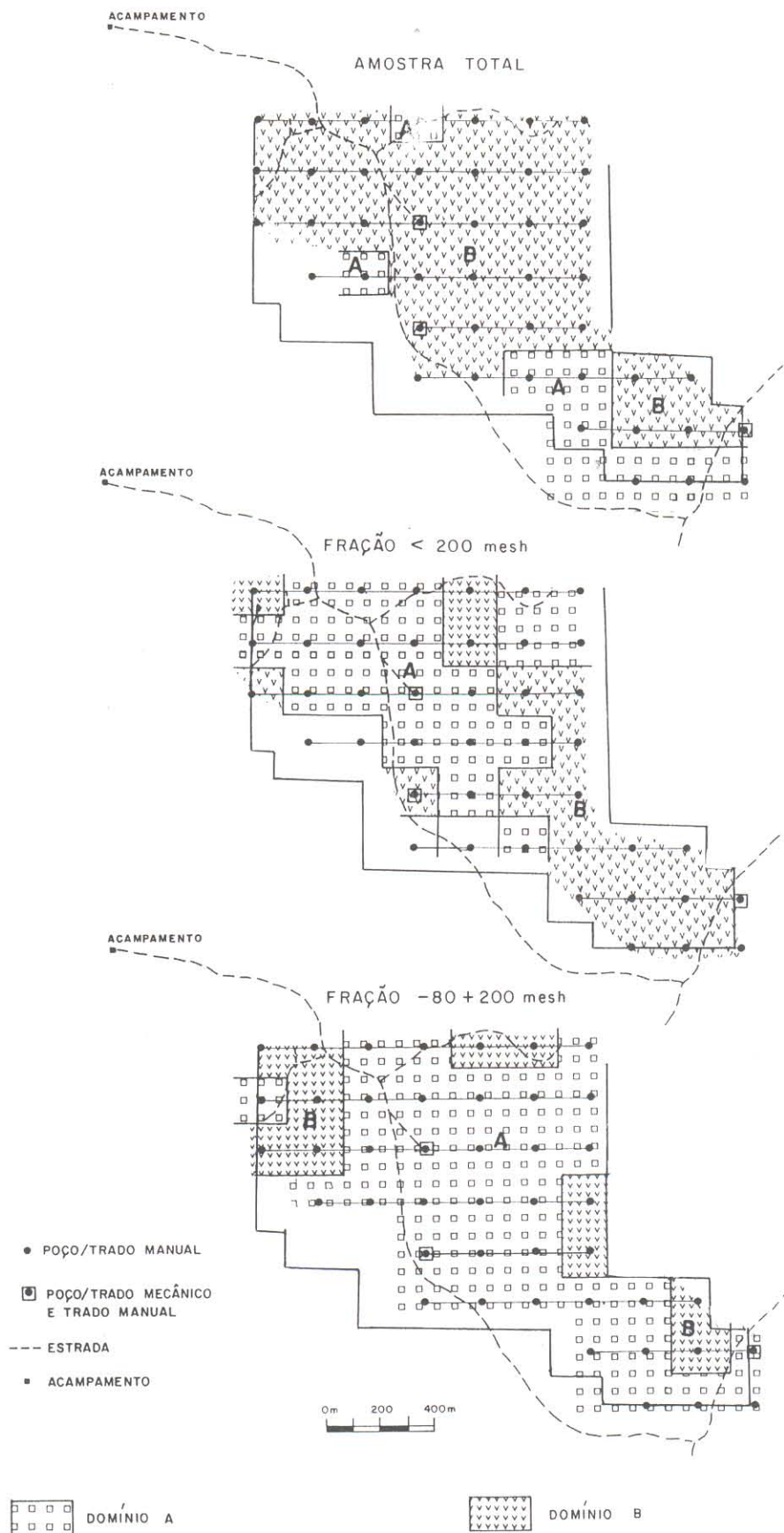


FIGURA. 51 - DISTRIBUIÇÃO AREAL DOS DOMÍNIOS QUÍMICOS NA SERRA DO TIRACAMBU (TN-6) -

Considerando que a geologia de superfície é praticamente formada de um único domínio (latossolos indiferenciados), os domínios A e B foram correlacionados com a Composição mineralógica (Figura 52)e verificando-se que o domínio "A"corresponde a maior abundância de caulinita e " B " a maior abundância de Al-goethita ou seja, o domínio " A " está caracterizando os teores mais elevados de SiO_2 e Al_2O_3 , enquanto no domínio " B " os de Fe_2O_3 .

8.1.1.2-Distribuição Areal das associações geoquímicas

Os mapas de distribuição dos elementos químicos de acordo com as principais associações e valores anômalos de 1ª e 2ª ordens (ANEXO XLIV) para a amostra total (Figuras 53 a 57) retratam que o domínio " A " da Figura 52 é representado pela associação Fe_2O_3 -As- Al_2O_3 -Mn . O domínio " B " corresponde a associação TiO_2 -Y-Nb-Zr-Ga. Também neste domínio destacam-se áreas das associações Ni-V-Cr-Mn, principalmente na parte Setentrional e Sr-Ba-ETR em áreas isoladas (oeste ,nordeste e sudeste (Figuras 53 a 57). As áreas anômalas de ETRP (Figura 57) correspondem em geral aquelas também mais anômalas para TiO_2 , Zr e Y e as de ETRL as áreas anômalas para Sr e Ba.

Já os mapas de distribuição das frações -200 e -80 + 200 mesh (Figuras 58 a 61 e ANEXOS XLV a XLIX) são semelhantes entre si e diferentes da amostra total, da mesma forma como os mapas de domínios químicos(Figura 51).

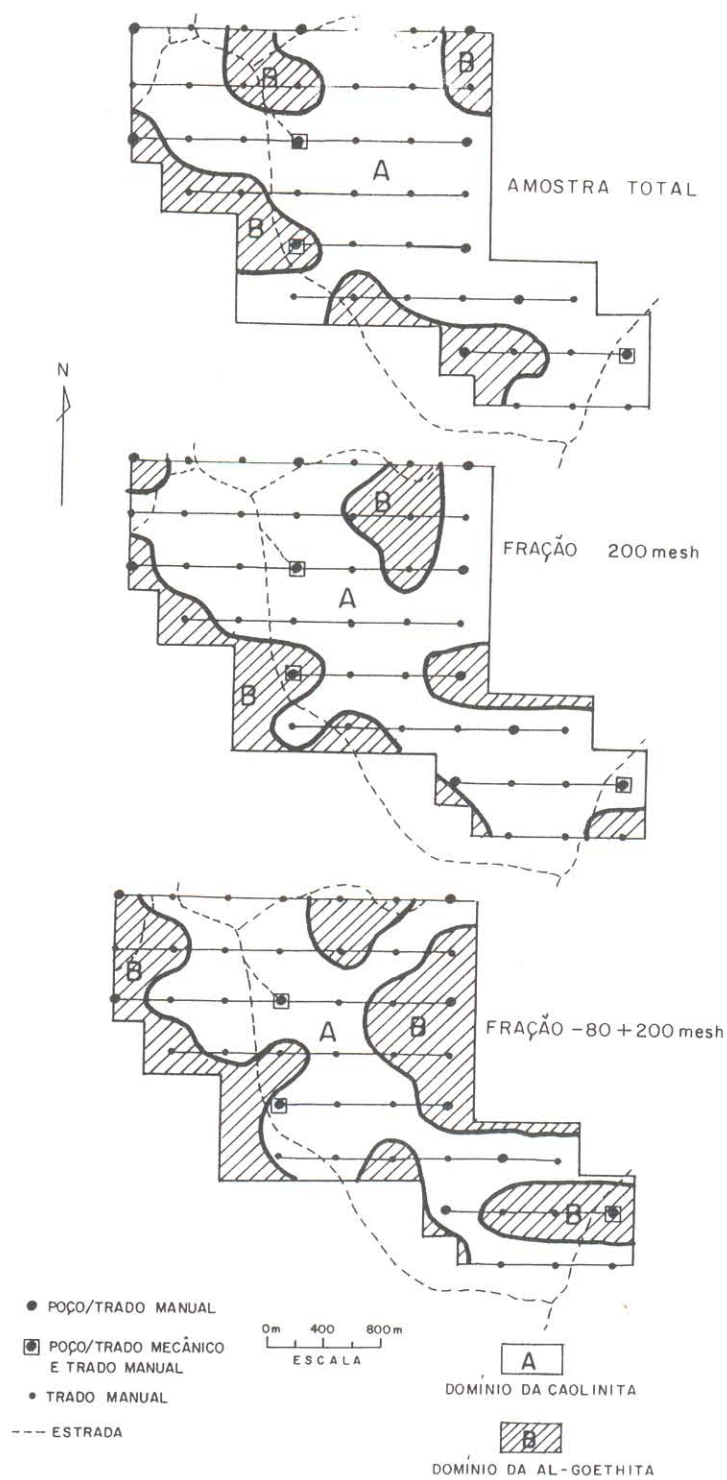


FIGURA 52 - DISTRIBUIÇÃO AREAL DOS DOMÍNIOS MINERALÓGICOS NA SERRA DO TIRACAMBU (TN-6)-

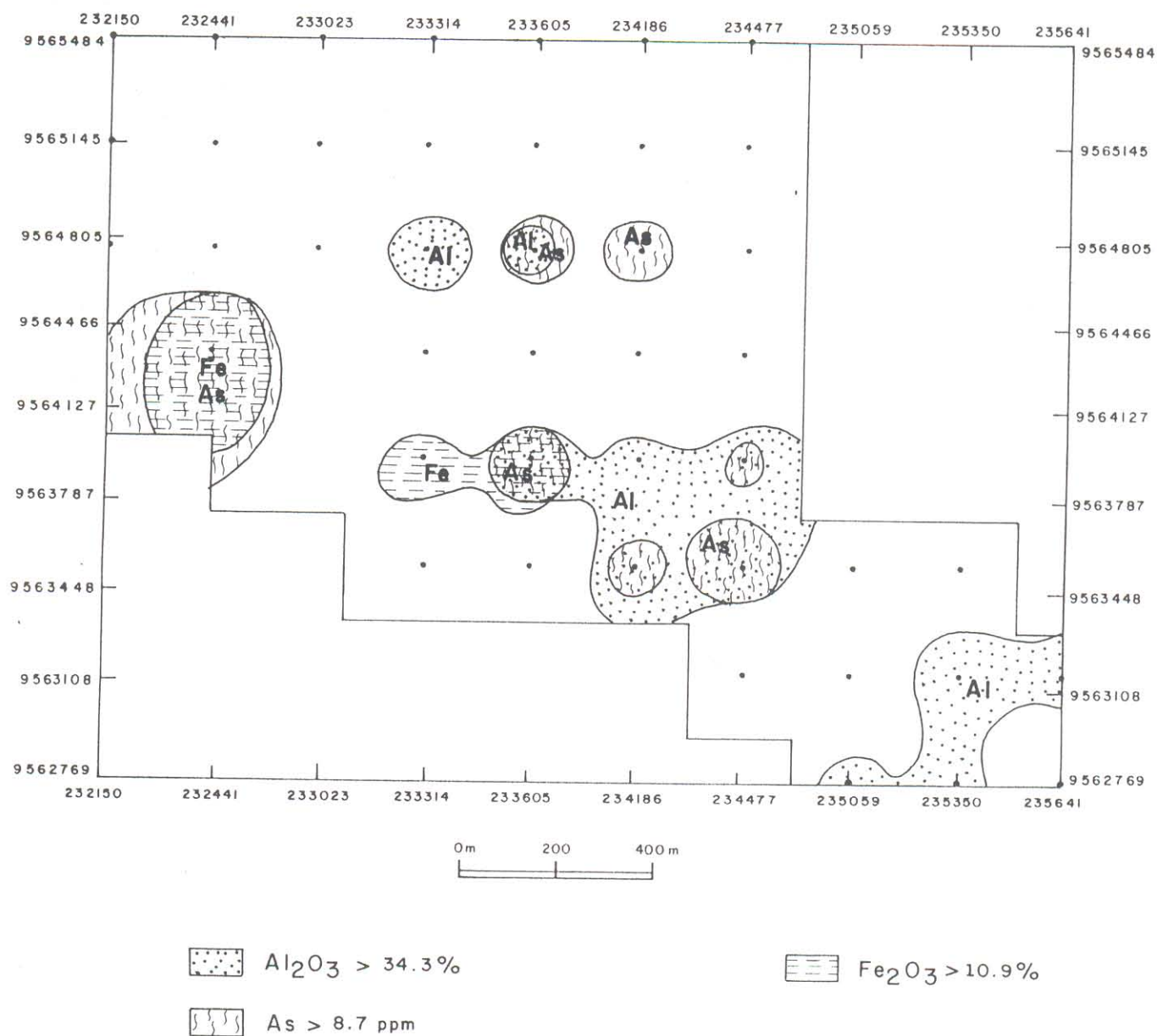


FIGURA. 53 - MAPA DE DISTRIBUIÇÃO DO Al_2O_3 - As e Fe_2O_3 NA SERRA DO TIRACAMBU (TN-6) - AMOSTRA TOTAL

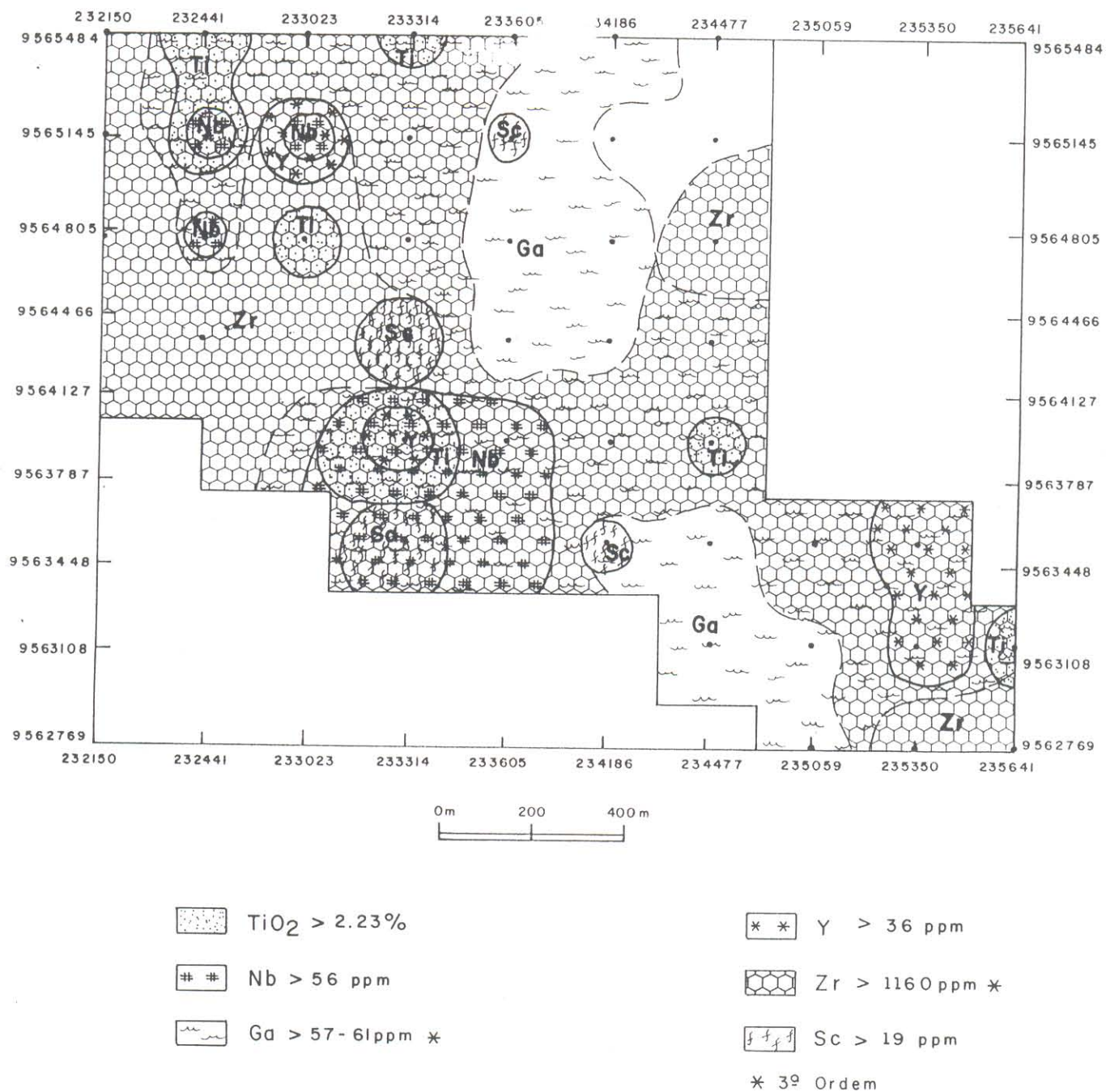


FIGURA. 54 - MAPA DE DISTRIBUIÇÃO DO TiO_2 -Y-Nb-Zr-Ga e Sc NA SERRA DO TIRACAMBU (TN-6) - AMOSTRA TOTAL.

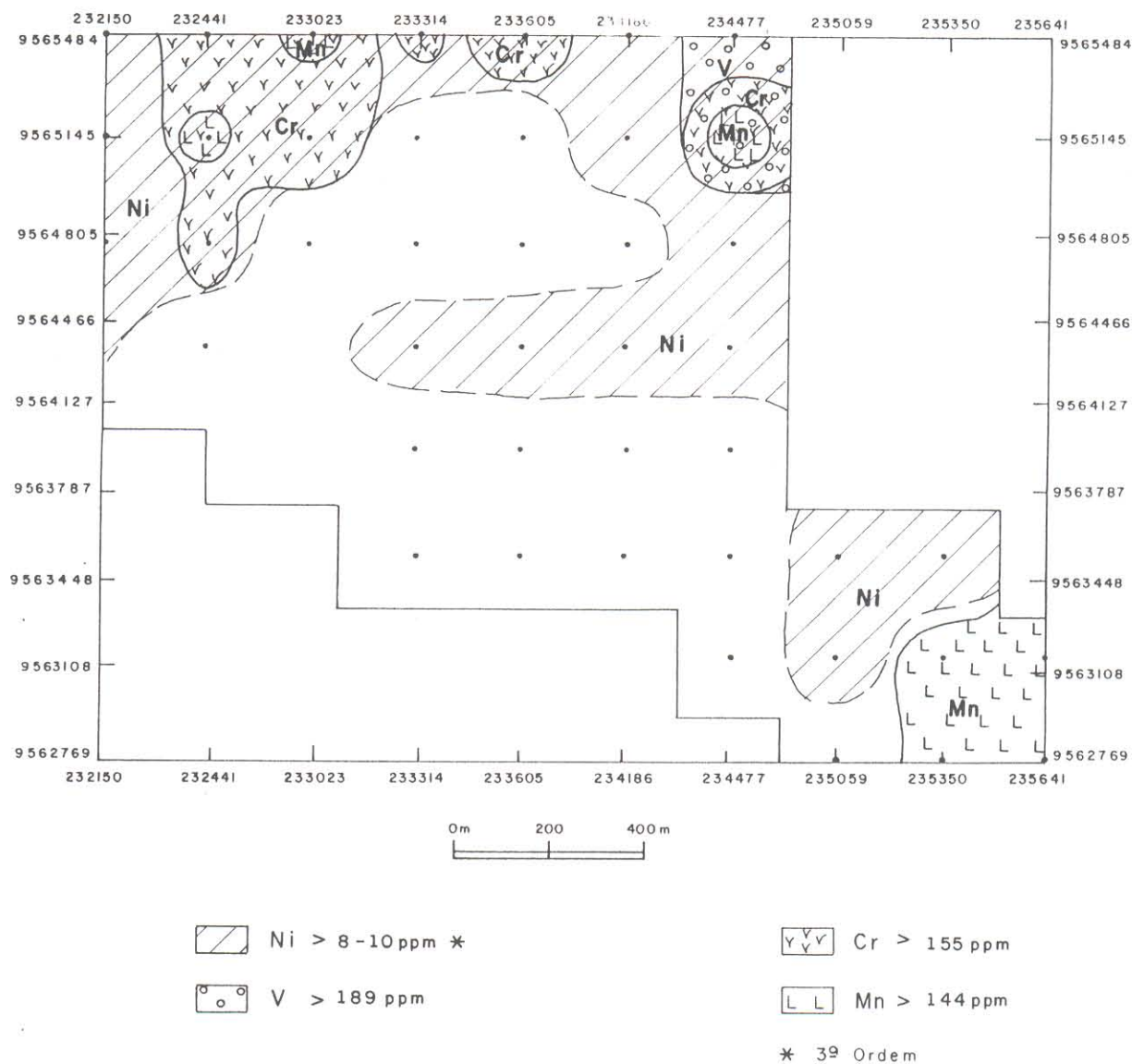


FIGURA. 55 - MAPA DE DISTRIBUIÇÃO DO Ni-V-Cr e Mn NA SERRA DO TIRACAMBU (TN-6) - AMOSTRA TOTAL.

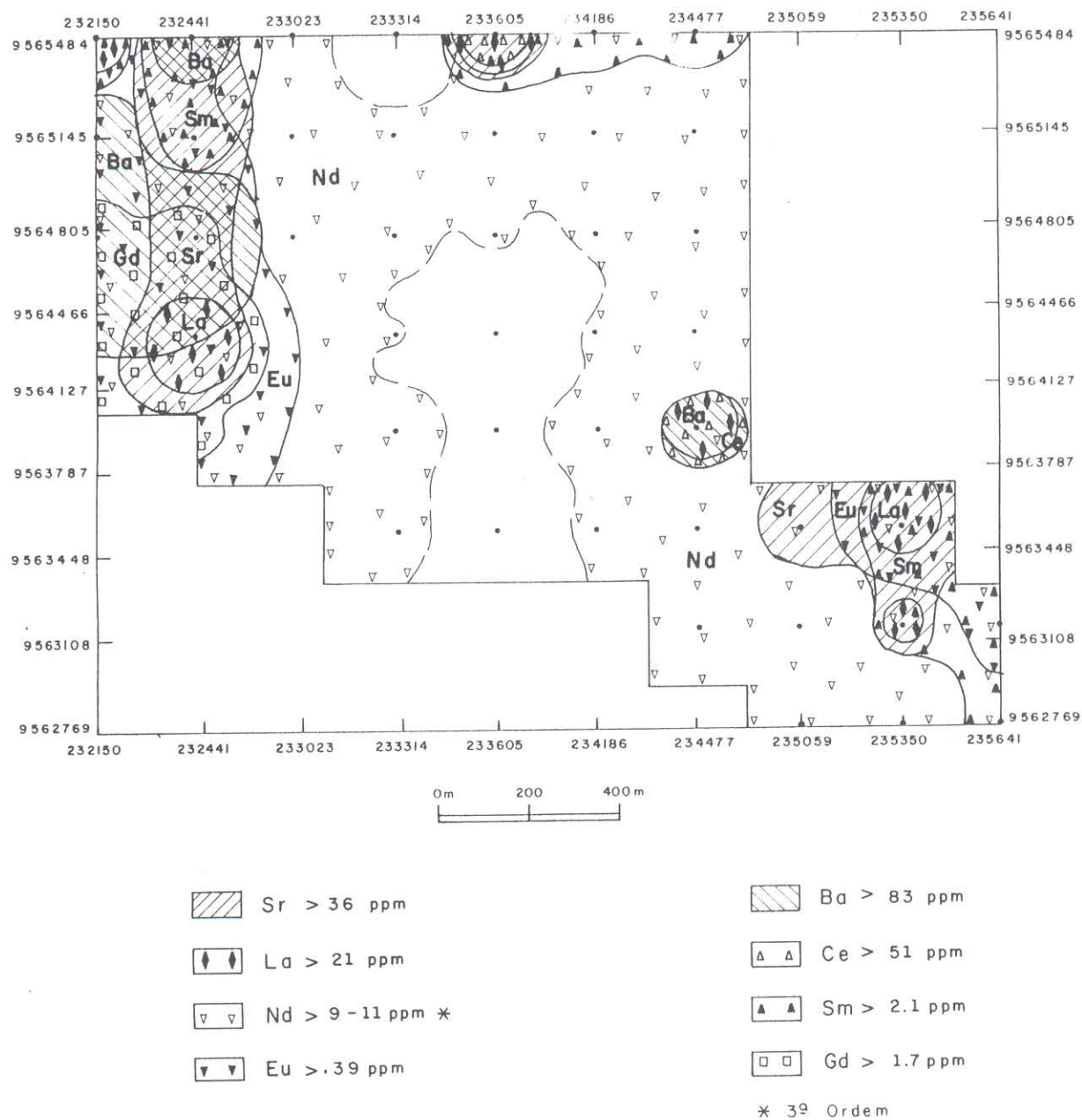


FIGURA. 56 - MAPA DE DISTRIBUIÇÃO DO Sr-Ba e ETRL NA SERRA DO TIRACAMBU (TN-6)- AMOSTRA TOTAL

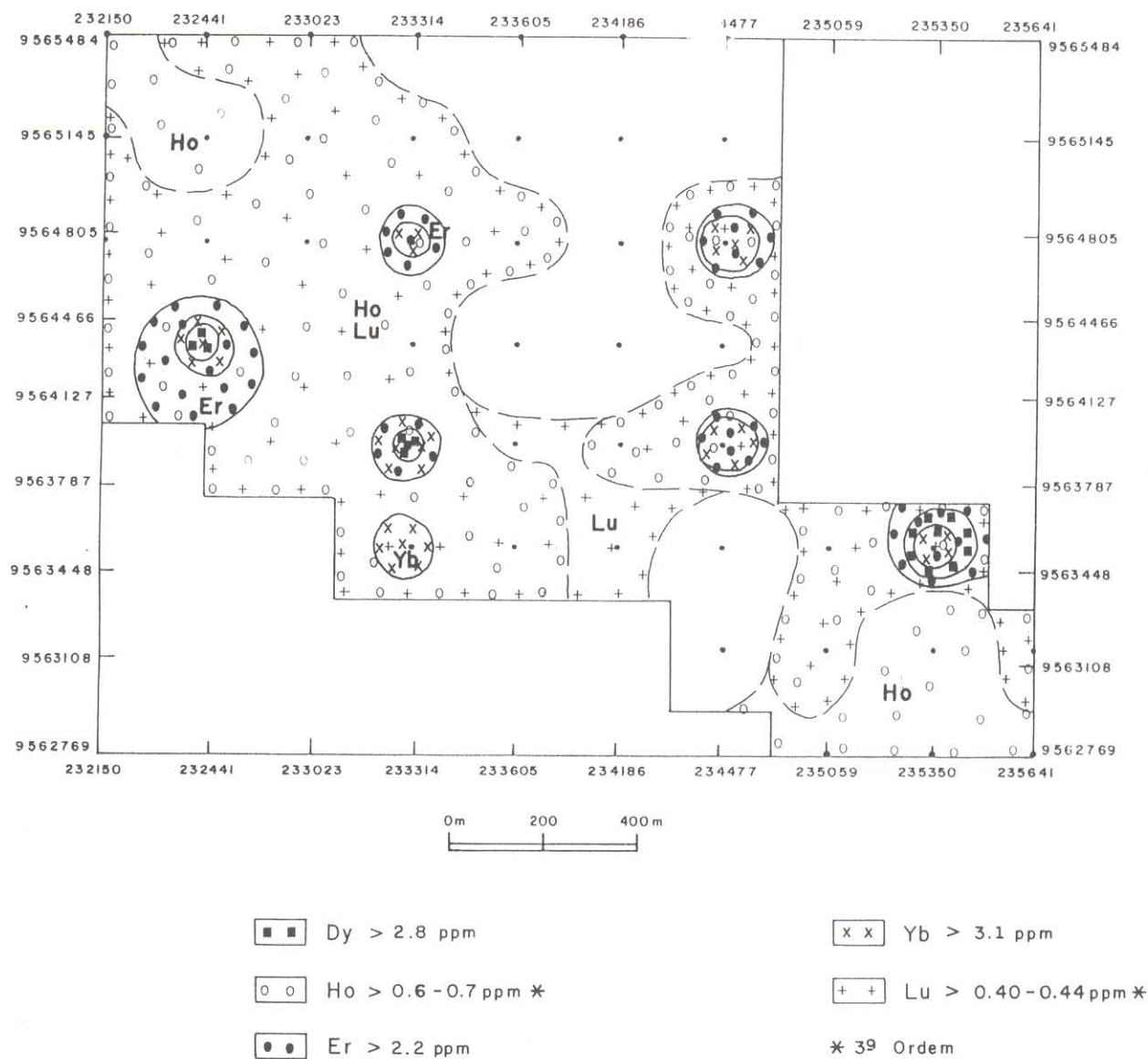


FIGURA. 57 - MAPA DE DISTRIBUIÇÃO DOS ETRP NA SERRA DO TIRACAMBU (TN-6)-AMOSTRA TOTAL.

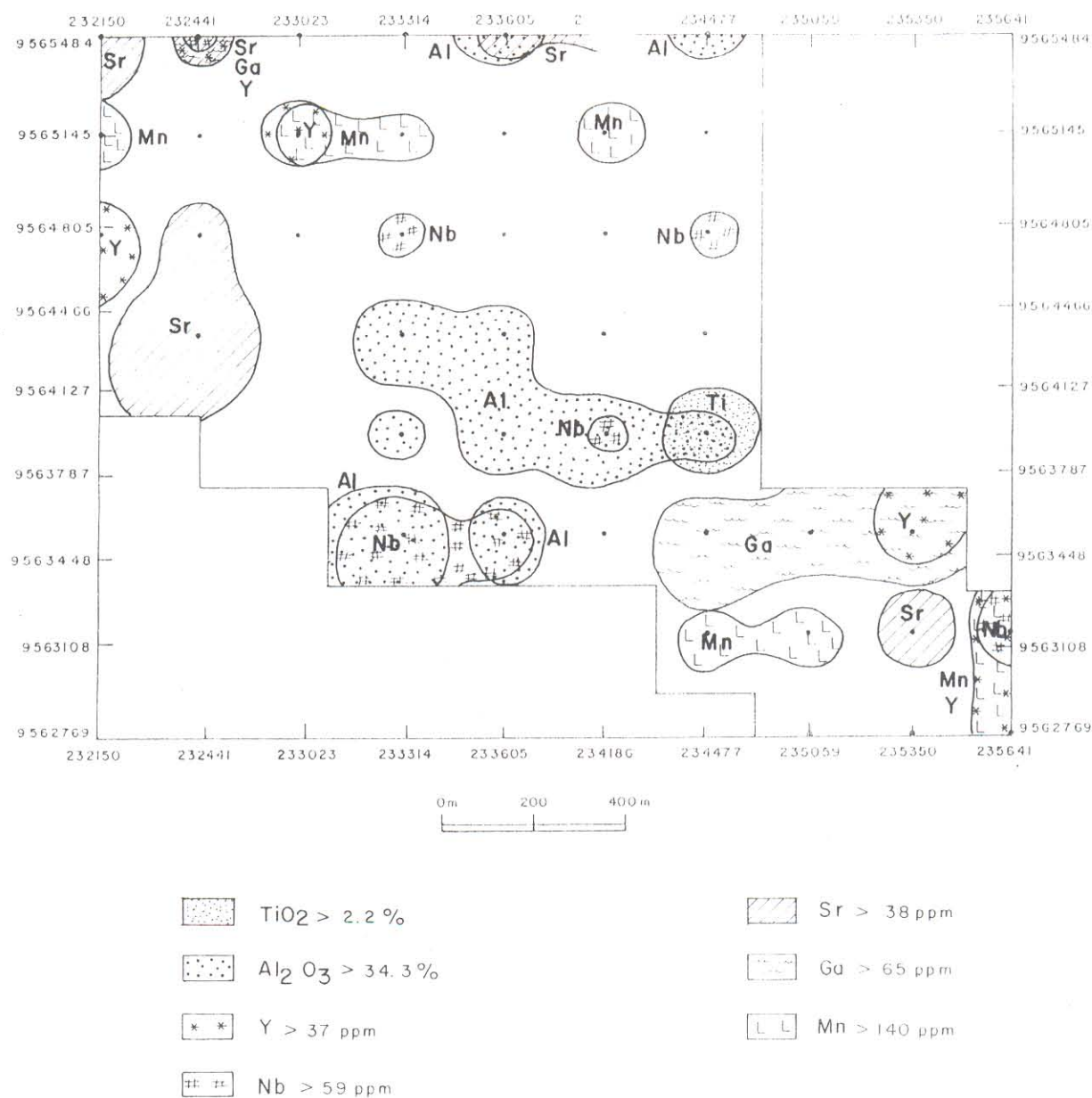


FIGURA. 58 - MAPA DE DISTRIBUIÇÃO DO TiO_2 - Al_2O_3 - Y - Nb - Sr - Ga - Mn NA SERRA DO TIRACAMBU (TN-6) - FRAÇÃO - 200 mesh

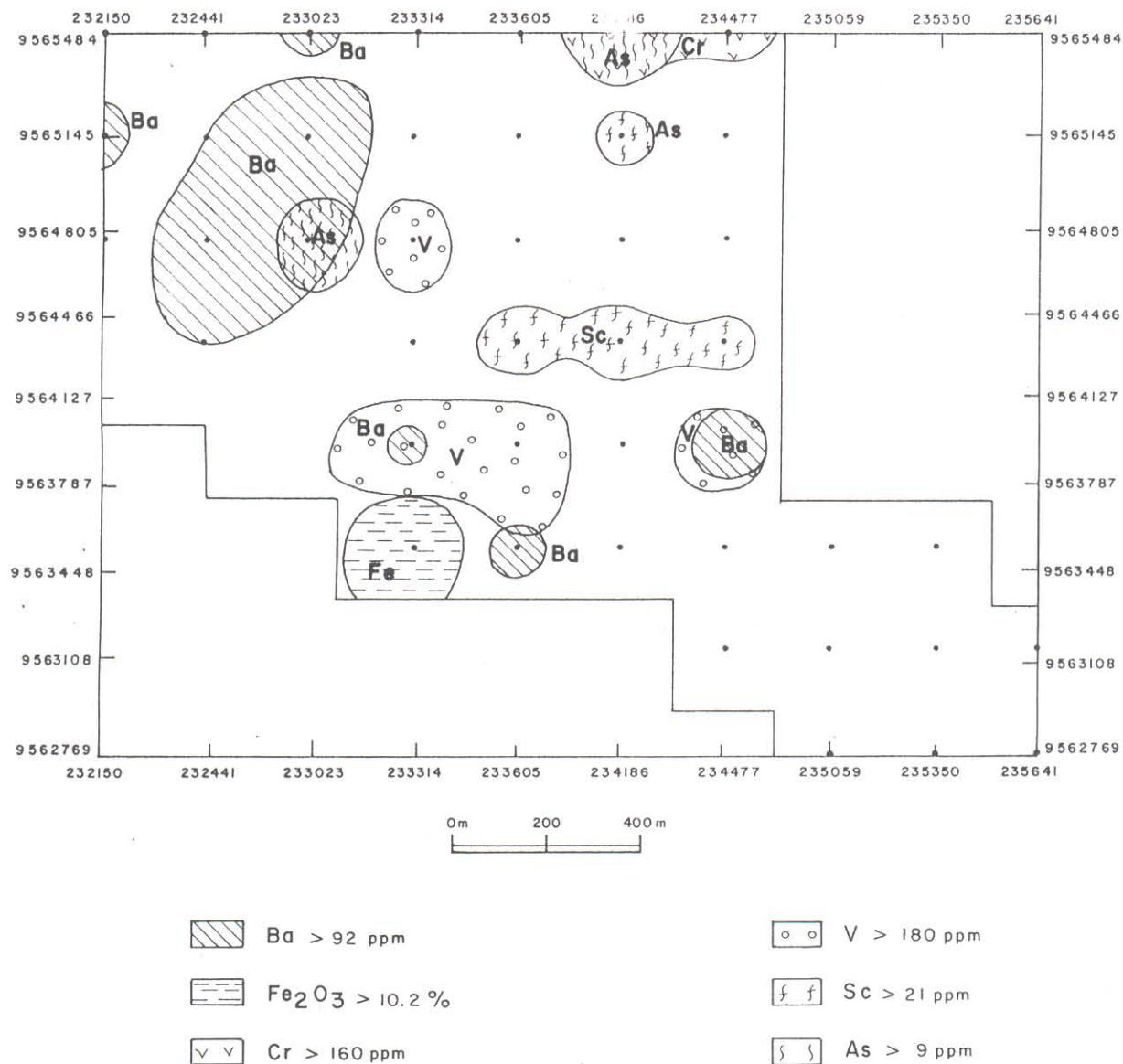


FIGURA. 59 - MAPA DE DISTRIBUIÇÃO DO Fe₂O₃ -V-Ba-Cr-As-Sc NA SERRA DO TIRACAMBU (TN-6)- FRAÇÃO - 200 mesh

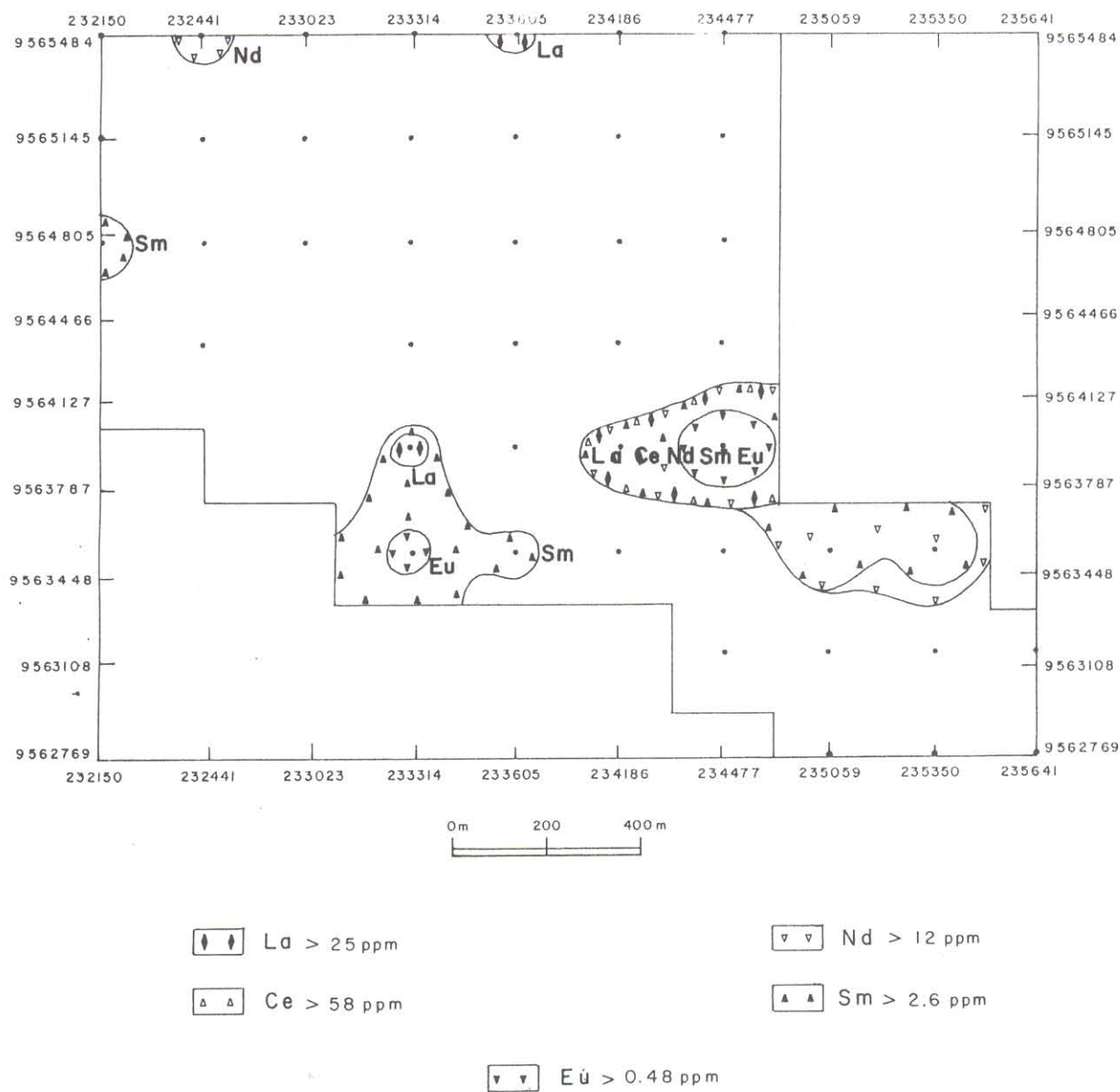


FIGURA. 60 - MAPA DE DISTRIBUIÇÃO DOS ETRL NA SERRA DO TIRACAMBU (TN-6) - FRAÇÃO - 200 mesh

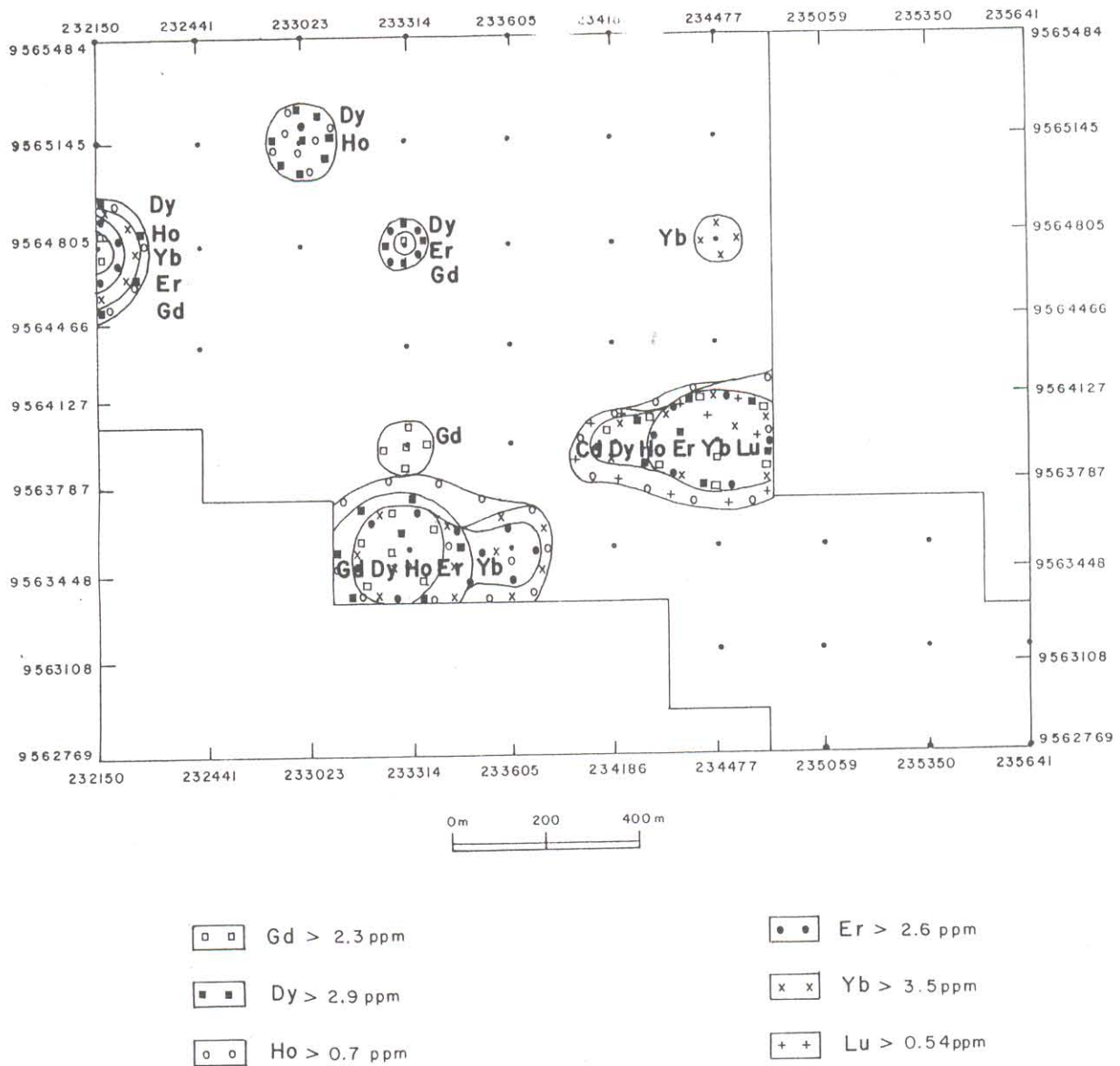


FIGURA. 61 - MAPA DE DISTRIBUIÇÃO DOS ETRP NA SERRA DO TIRACAMBU (TN-6)-FRAÇÃO - 200 mesh

TiO₂-Al₂O₃-Sr-Y-Ga-Sc ocupam a área do domínio B nas frações -80 + 200 e -200mesh, sendo que Al₂O₃-Sc-Ga, especificamente, também encontram-se anômalos na região central do domínio " A ". A associação Fe₂O₃-V-Ba-As tem melhor correspondência em termos areais com o domínio " A ". Os ETR se distribuem na área comum de Fe₂O₃-As-Ba, sendo que o halo de distribuição dos ETRP é mais amplo do que aquele dos ETRL.

8.1.1.3-Considerações Finais

Em síntese, os valores anômalos das associações geoquímicas na fração-80+200 e-200 mesh e também da amostra total não sugerem áreas de distribuição anômala, o que permite concluir que os latossolos do TN-6 correspondem em termos globais, propriamente, a um único conjunto químico-mineralógico, como já havia sido inferido em itens anteriores.

As concentrações dos elementos como já visto, ao nível crustal ou abaixo, indicam proveniência de material homogêneo e de natureza ácida ou de sedimentos argilo-quartzosos.

8.1.2-Alvo Serra dos Carajás -(N-5)

8.1.2.1-Principais domínios químicos e mineralógicos:

Os mapas de distribuição areal de domínio químico, também realizados com base nos dendrogramas (ANEXOS L a LII) e anomalias de 1ª e 2ª (ANEXO LIII) demonstram claramente a presença de 3 domínios principais : A, B e C (Figura 62) . No mapa da amostra total o domínio " A " está a oeste, o " B " no centro e o " C " no leste, quase similar ao padrão da fração -80 +200 mesh.

Na fração -200 mesh o domínio " B " assume a maior parte da área pesquisada, às expensas da diminuição da área do domínio "C".

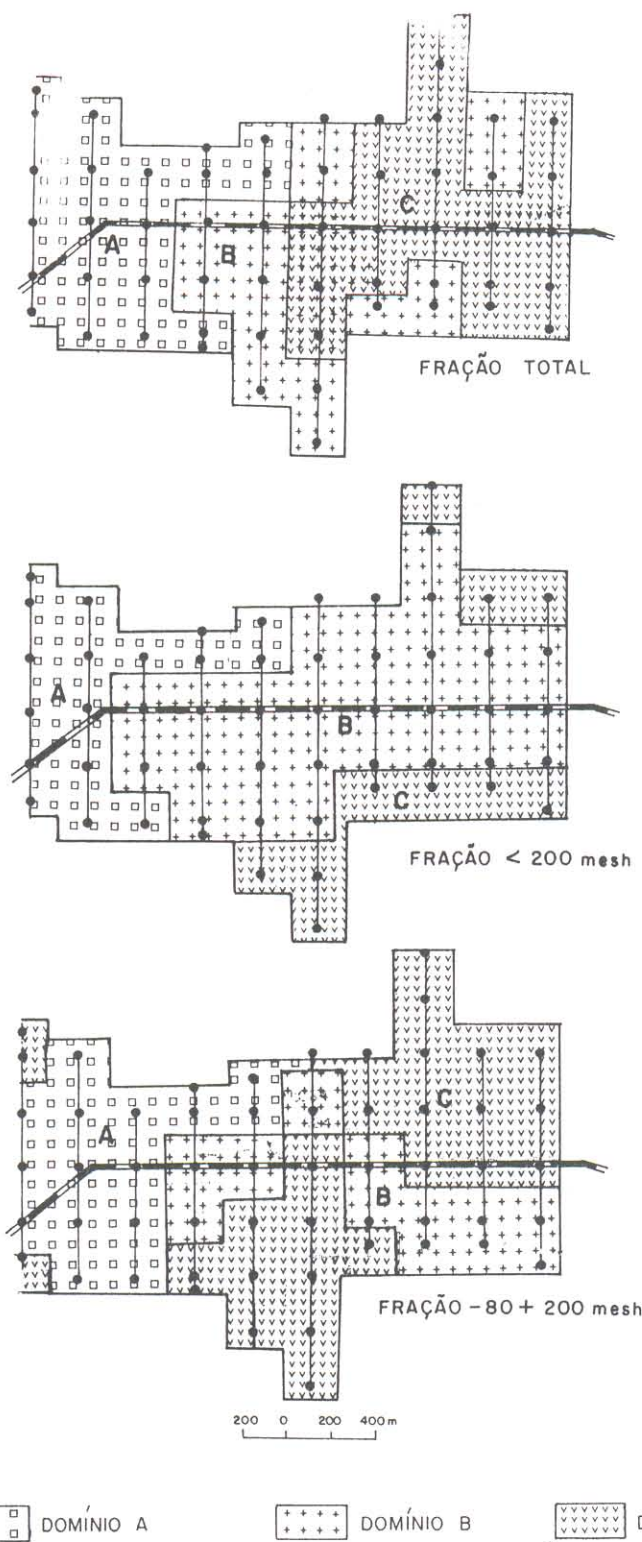


FIGURA 62- DISTRIBUIÇÃO AREAL DOS DOMÍNIOS QUÍMICOS NA SERRA DOS CARAJÁS (N-5).

Esses domínios, entretanto, não correspondem a delimitações geológicas em superfície, refletindo talvez em parte, individualmente a influência da crosta subjacente mais rasa a oeste e profunda a leste (solos mais profundos).

O mapa dos domínios mineralógicos (Figura 63) mostra um padrão semelhante entre a amostra total e as frações -200 mesh e -80 + 200 mesh, destacando-se na parte central, uma faixa praticamente E-W, com predominância da gibbsita, encaixada entre duas faixas onde predominam a hematita + goethita e a caulinita.

O domínio da gibbsita coincide com a área dos domínios A e B.

8.1.2.2-Distribuição Areal das associações geoquímicas:

AMOSTRA TOTAL:

Os mapas de distribuição areal das anomalias geoquímicas para a amostra total (Figuras 64 a 68), segundo as principais associações geoquímicas já discriminadas indicam que a associação $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-Mn-V-Ba-Cu}$ se distribui na parte periférica da área investigada, próximo às feições de declive do platô, envolvendo parte do domínio " A e C " (Figura 62), enquanto a associação $\text{TiO}_2\text{-AlO}_3\text{-Ga-Zr-Sr-Sc}$, está na parte central da área, nos domínios B e C " correspondente a parte mais elevada e plana do platô.

Dessa forma é provável que a primeira associação anômala formada por elementos mais móveis, que esses elementos tenham sido mobilizados a partir da zona central e deslocados em direção as encostas. A segunda associação é nitidamente formada por elementos de baixa mobilidade e, portanto concentrados residualmente no topo.

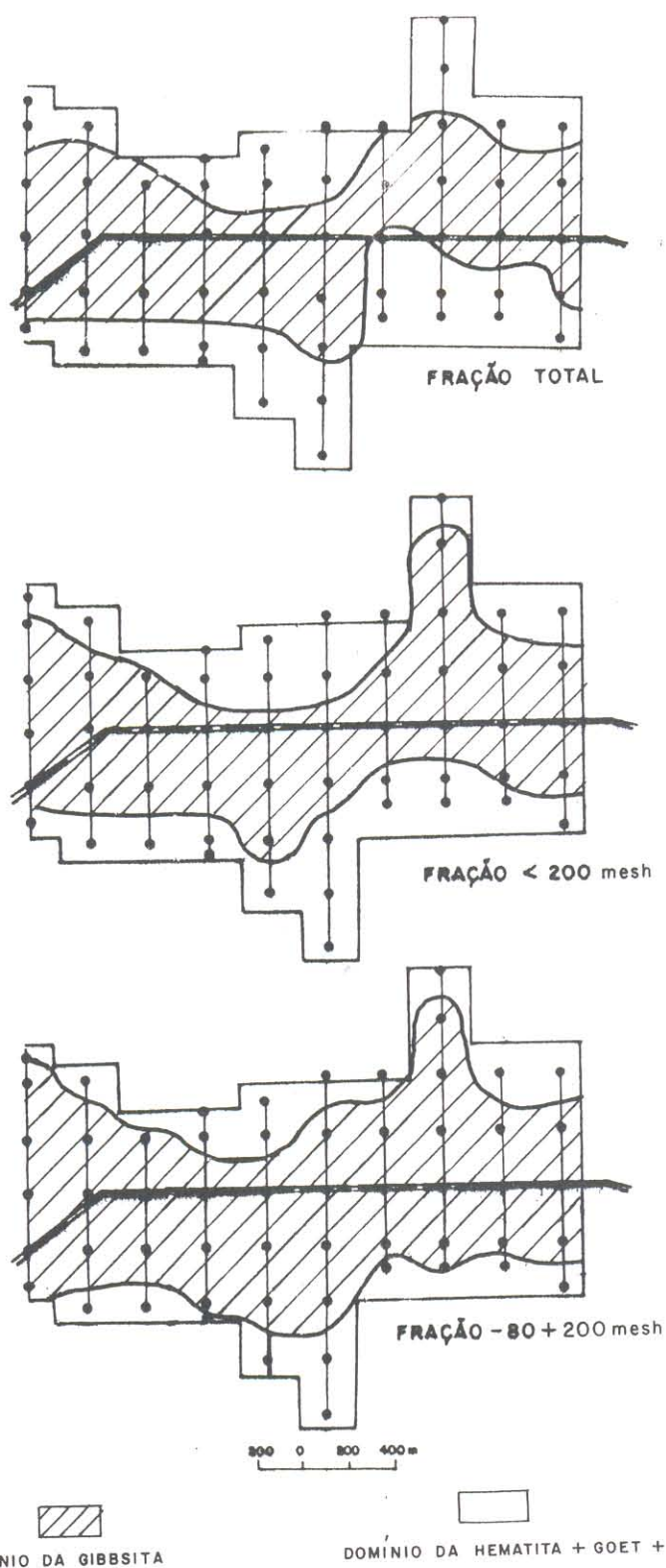


FIGURA 63 - DISTRIBUIÇÃO AREAL DOS DOMÍNIOS MINERALÓGICOS NA SERRA DOS CARAJÁS (N-5)

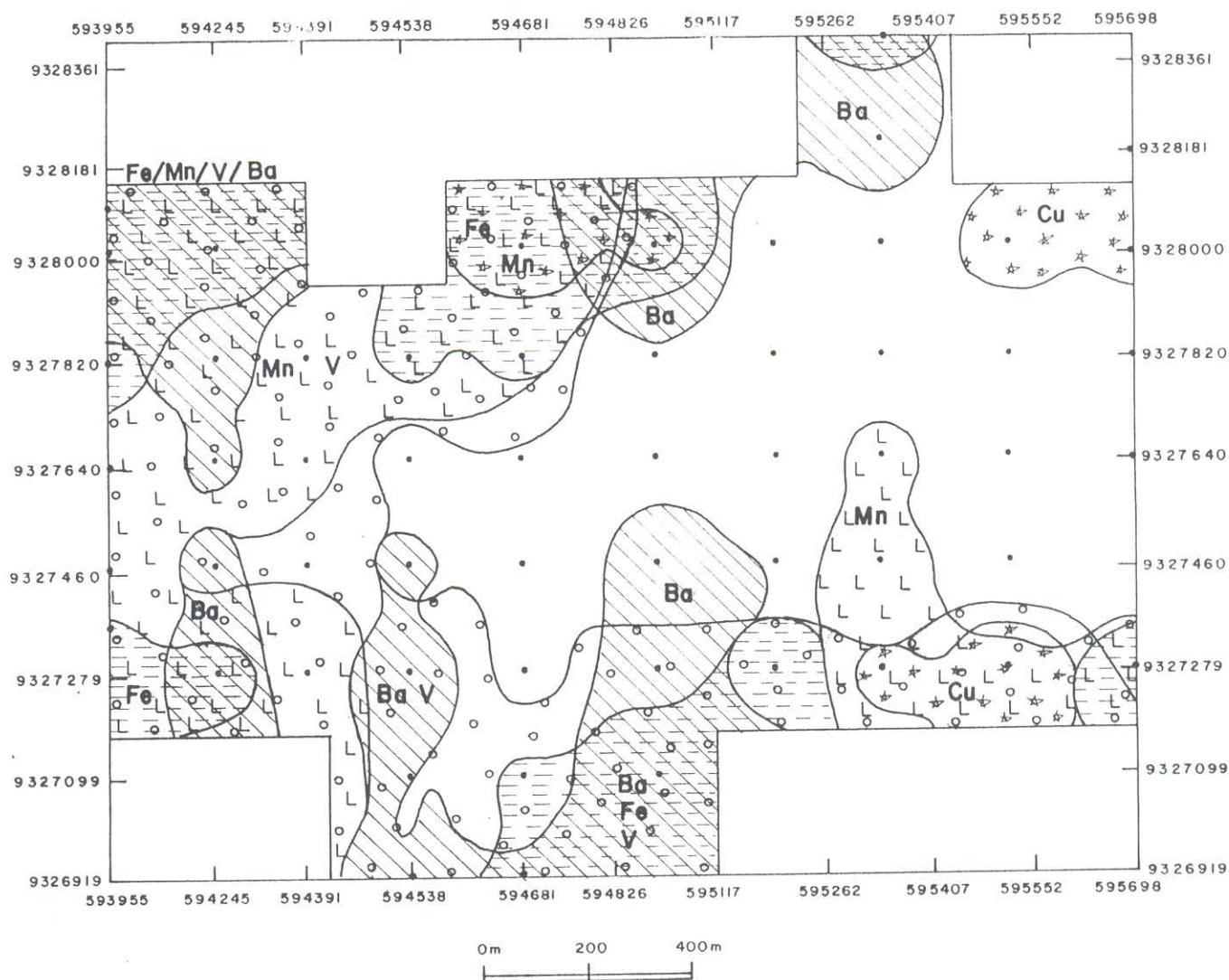


FIGURA. 64 - MAPA DE DISTRIBUIÇÃO DO Fe_2O_3 -Mn-V-Ba e Cu NA SERRA DOS CARAJÁS (N-5)- AMOSTRA TOTAL.

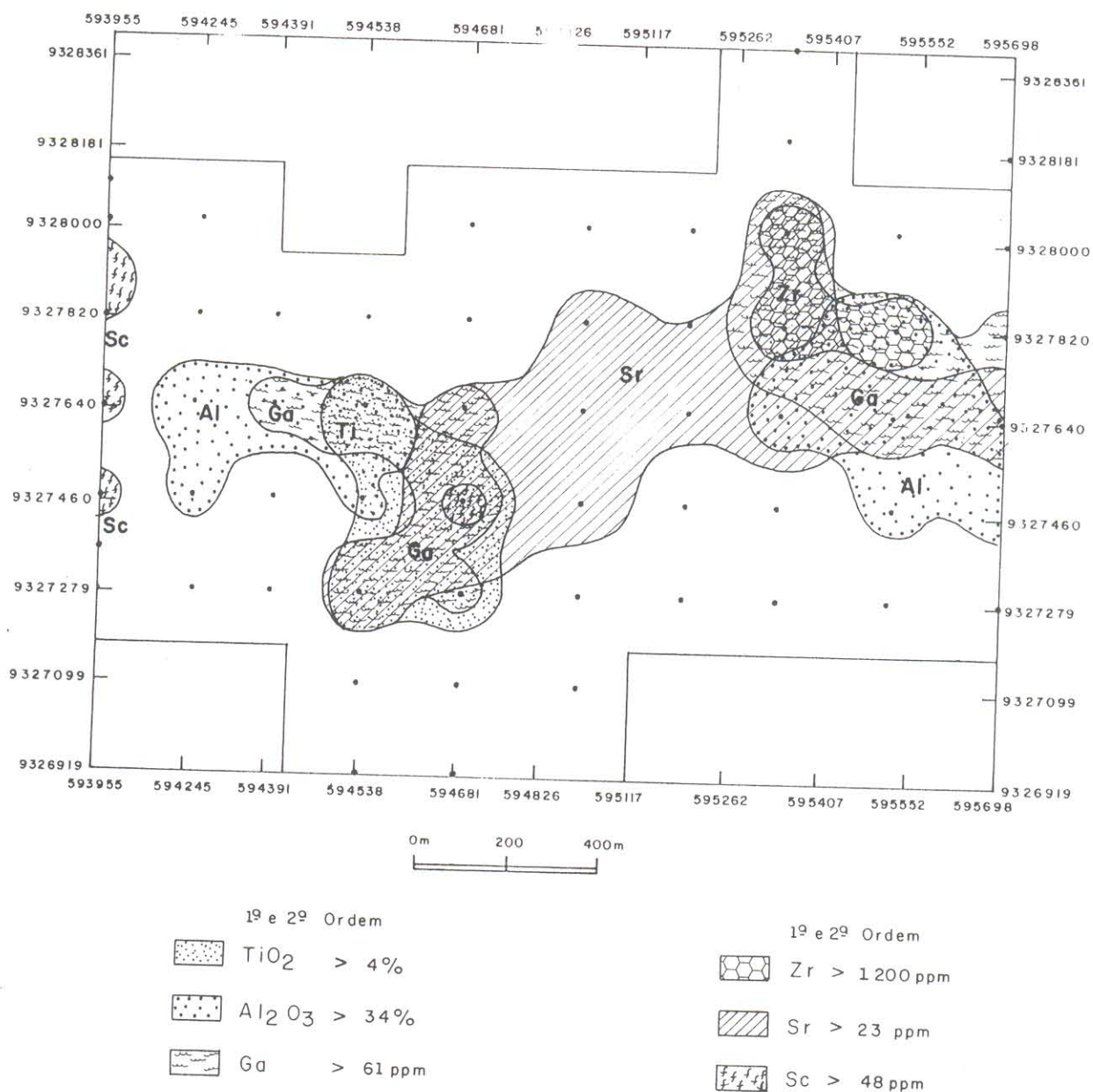


FIGURA. 65 - MAPA DE DISTRIBUIÇÃO DO TiO₂-Al₂O₃-Ga-Zr-Sr e Sc NA SERRA DOS CARAJÁS (N-5)- AMOSTRA TOTAL

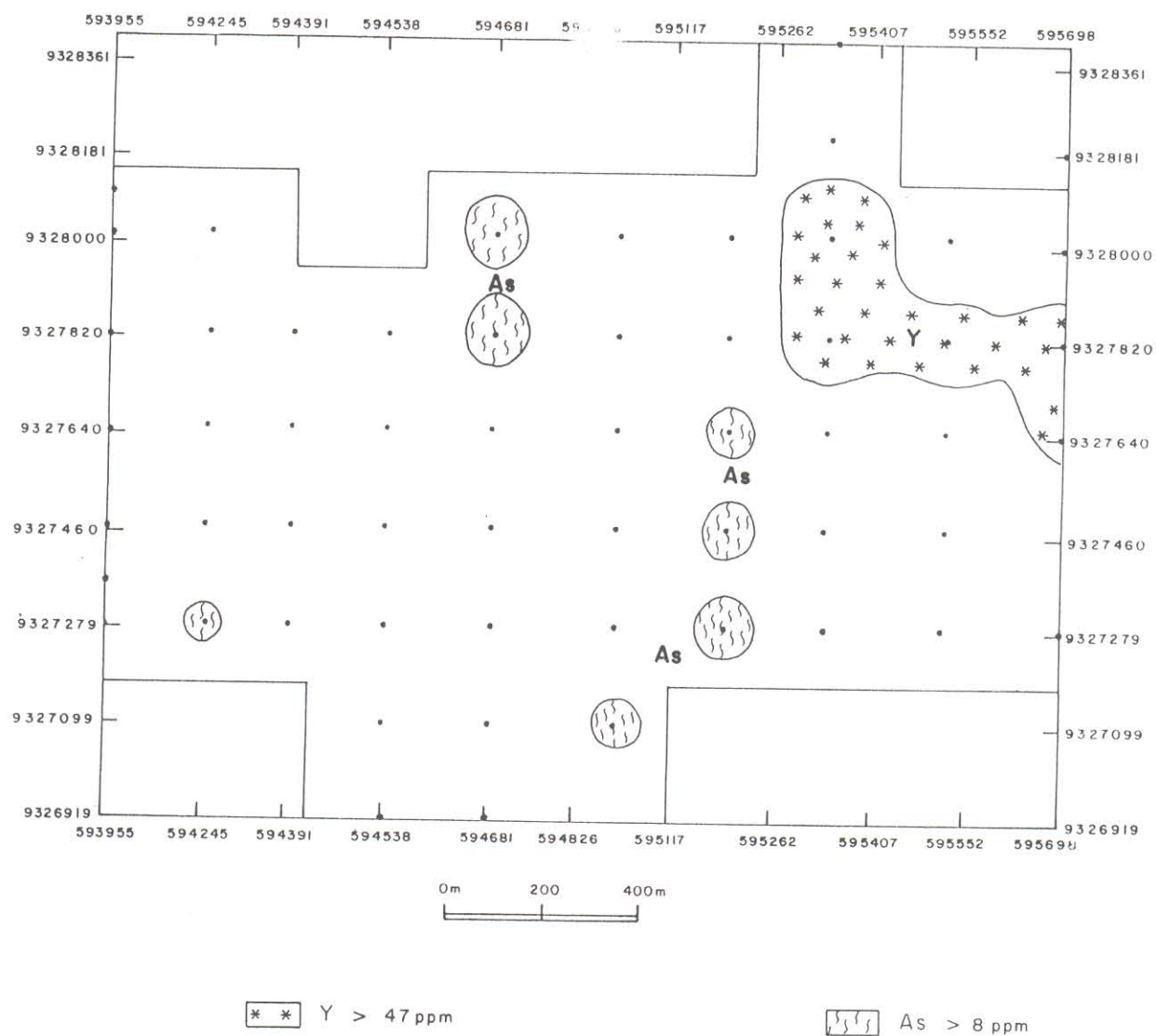


FIGURA. 66 - MAPA DE DISTRIBUIÇÃO DO Y e As NA SERRA DOS CARAJÁS (N-5) AMOSTRA TOTAL

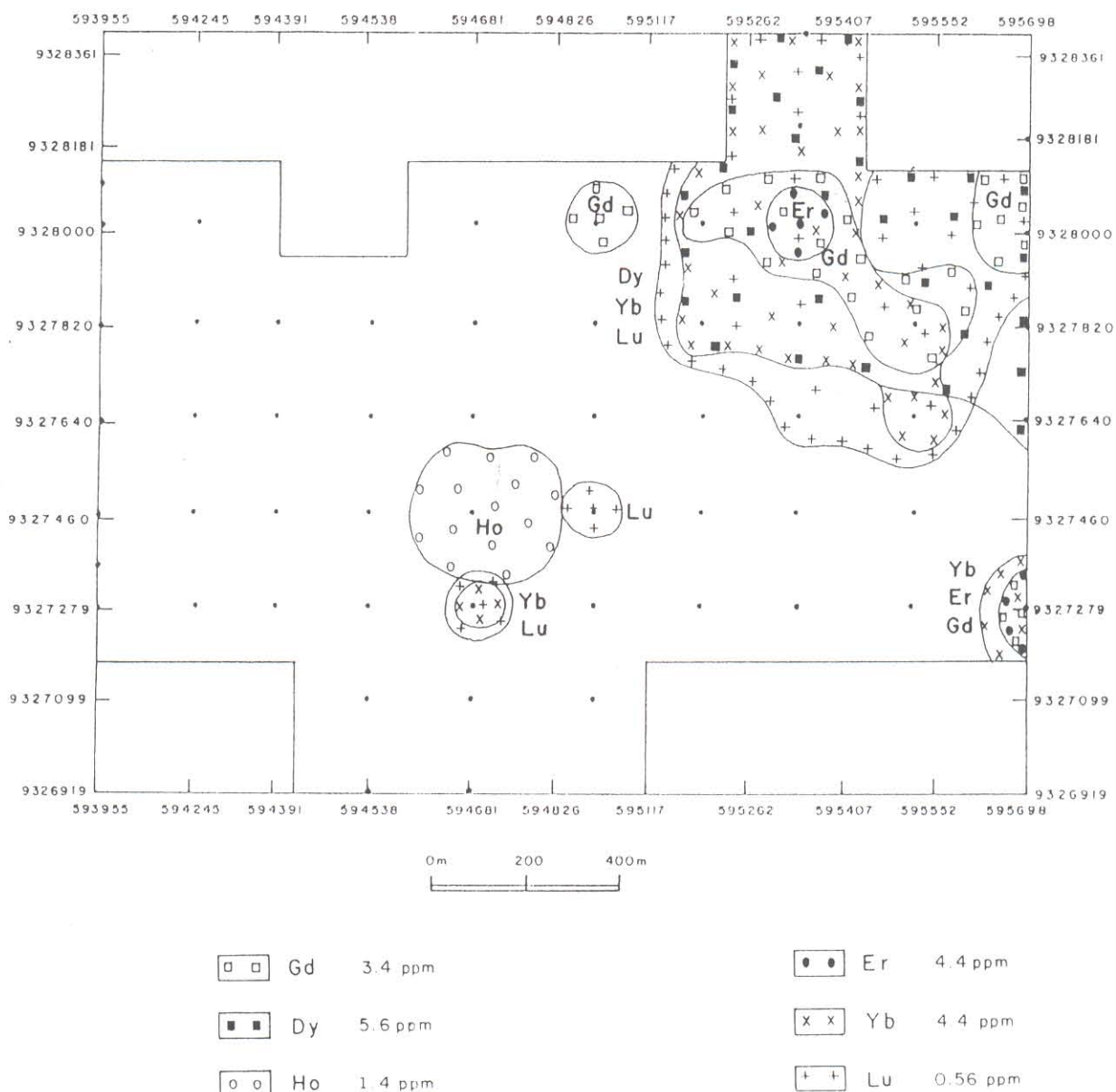


FIGURA 67 - MAPA DE DISTRIBUIÇÃO DOS ETRP NO ALVO
SERRA DOS CARAJÁS (N-5)
FRAÇÃO -80+ 200 mesh

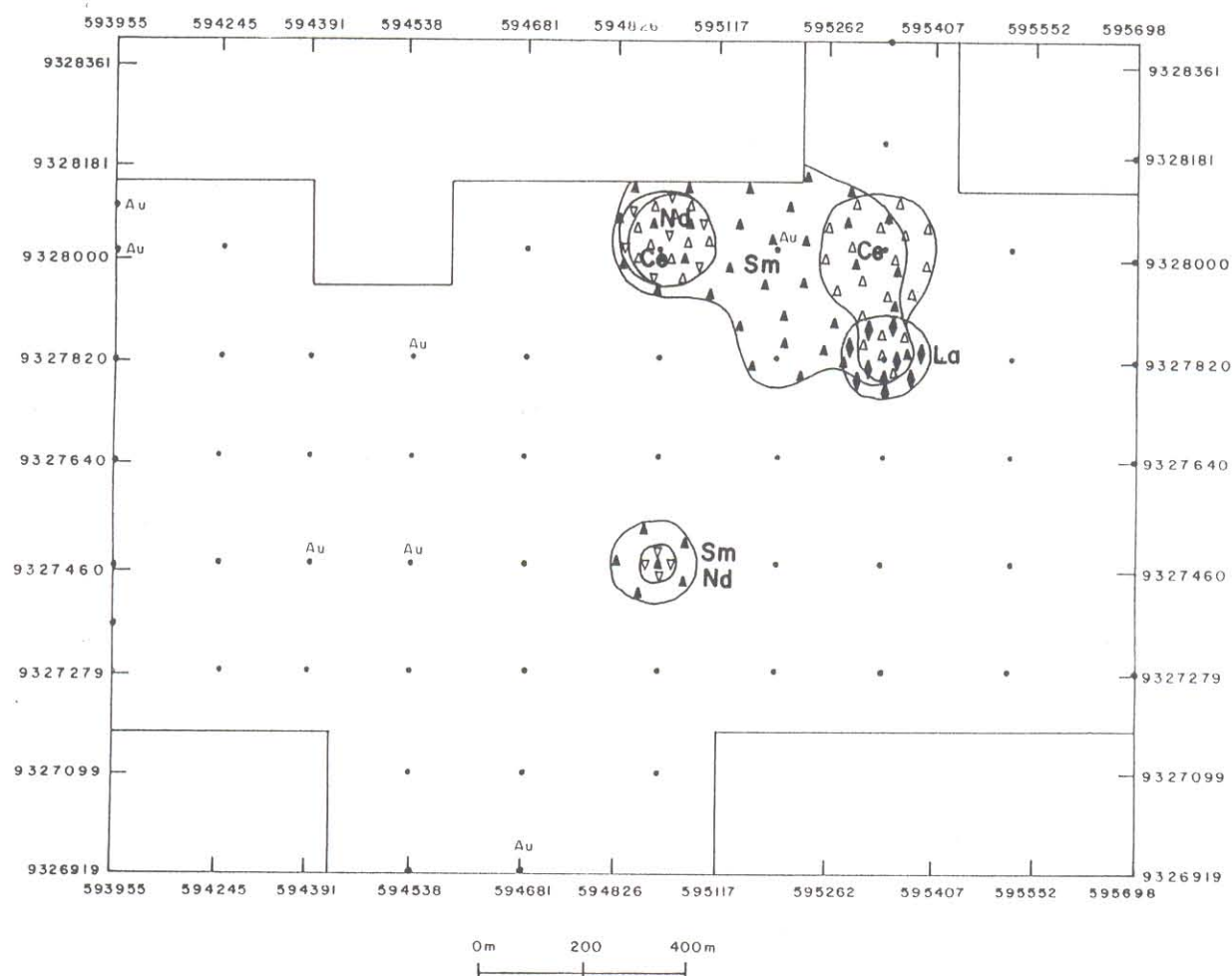


FIGURA . 68 - MAPA DE DISTRIBUIÇÃO DOS ETRL NA SERRA DOS CARAJÁS (N- 5) - AMOSTRA TOTAL

Este processo de lixiviação dos elementos mais móveis favorece a deferrificação da bauxita no centro do platô.

Em termos de elementos isolados, o As forma áreas específicas dentro do domínio do Fe_2O_3 e Mn, enquanto Y, ETRL e ETRP, constituem anomalias a NE da área, sendo que o halo de distribuição dos ETRP é mais amplo do que dos ETRL e do Y, como já observado no TN-6.

Valores de ouro detectados em 7 amostras, variando entre 0.3 e 0.16 ppm, foram encontrados no domínio " A " da Figura 62 e correspondem ao domínio da associação do Fe_2O_3 (Figura 64). Em terrenos lateríticos essa é uma associação frequente (BHASKARA RAO, 1987; OLIVEIRA, 1986; COSTA, 1990).

FRAÇÃO-80 + 200 MESH:

O padrão de distribuição areal das associações geoquímicas anômalas (ANEXOS LIV a XLVIII) nessa fração é compatível com aquela da amostra total já sumarizada nas Figuras 64 a 68 . Apenas Mn, V e Cr (Figura 64) formam áreas anômalas isoladas na extremidade oeste.

FRAÇÃO-200 MESH

Já a distribuição areal das associações geoquímicas anômalas na fração-200 mesh (ANEXOS LIX a LXII) delineada pelas associações do Al_2O_3 - TiO_2 -Ga-Sr e Zr-Y-Sc- Nb-As e ETR é mais abrangente do que aquelas observadas na fração-80+200 mesh e corresponde a área do domínio " B " da Figura 62.

Observa-se que ocorre uma restrição da área da associação do Fe_2O_3 na periferia, nos quadrantes NW e SE, a qual passa a ser interrompida nos quadrantes NE e WS, correspondendo aos domínios " A " e " C " da Figura 62.

Os ETR, principalmente os ETRL (Eu), formam uma expressiva anomalia a leste, com um halo de distribuição aumentando em direção aos ETRP, quando se considera os valores anômalos de 3ª ordem.

8.1.2.3-Considerações Finais

Os mapas de domínio e de distribuição de associações geoquímicas anômalas em termos gerais mostram claramente que a área investigada é constituída de dois grandes domínios representados pelas duas grandes associações geoquímicas, tendo como principais elementos o Fe_2O_3 e $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2\text{-Zr}$, correspondendo aos minerais formadores dos latossolos respectivamente representados, por hematita-goethita, gibbsita-anatásio-zircão. A associação do Fe_2O_3 restringe-se a periferia da área próxima a zona de declive, mais enfaticamente na zona oeste, onde a crosta laterítica encontra-se mais rasa, enquanto a outra associação encontra-se na zona central e está relacionada aos domínios " B e C " com gibbsita (bauxita). Os ETR estão nitidamente concentrados no leste da área, diretamente relacionados com Zr e Y, ou seja provavelmente concentrações de zircão.

8.2-DAS CROSTAS

8.2.1-Serra dos Carajás-(N-1)

8.2.1.1-Principais domínios químicos e mineralógicos

As análises de agrupamento utilizando o " ModoQ "(ANEXO LXIII) delinearam em N-1 três grandes domínios " A , B e C " que estão representados no mapa da Figura 69. Esses domínios, quando correlacionados com o mapa geológico das crostas lateríticas de N-1 (Figura 27), cujos contornos litológicos estão realçados na Figura 69, indicam que a crosta pisolítica é identificada pelos domínios " A e B ", principalmente " A " ; a crosta estratificada pelos domínios "

A e B ", igualmente; a crosta cavernosa pelos domínios " A , B e C ", enfaticamente pelo " B ". A presença de mais de um domínio para caracterização dessas crostas, confirmam as observações texturais e mineralógicas descritas anteriormente, em que a crosta cavernosa pode ser uma modificação da estratificada, da mesma forma que a pisolítica.

O mapa de domínios mineralógicos (Figura 70) apresenta 2 grandes agrupamentos minerais: o da goethita + hematita que abrange principalmente a crosta estratificada e pisolítica e o domínio das gibbsitas, onde prevalece a crosta cavernosa.

8.2.1.2-Distribuição Areal das associações geoquímicas

Os mapas de distribuição areal das associações geoquímicas anômalas, estão representados nas Figuras 71 a 74. Ao contrário dos demais alvos, o ferro não constitui uma associação geoquímica nessas crostas, conforme já apresentado no item 6.4. O Mn e os ETR também não formam associações com os demais elementos.

Nesse alvo foi caracterizado basicamente apenas a associação $\text{TiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Cr-V-Sr-Nb-Zr-Ga-Sc-As}$. Essa associação no mapa de anomalias (Figura 71), mostra três halos expressivos em áreas distintas, indicadas pelos números 1, 2 e 3. O contorno do halo de distribuição dessa associação é tipicamente alongado, com direção N-S para 1 e 2 e NE-SW a N-S para o 3. A área ocupada por esses halos de distribuição coincidem com o domínio " B " da Figura 69, que corresponde principalmente a crosta cavernosa e em parte a pisolítica. A referida associação se restringe a poucos elementos em 2 (Ti-Sc-Nb-Sr-Ga-Zr) e na extremidade norte em 3 (Ti-Nb-Cr).

Essa associação por conseguinte, corresponde a maior abundância de Al-goethita, gibbsita e anatásio em relação a crosta estratificada(Tabela 19, ANEXO XIX).

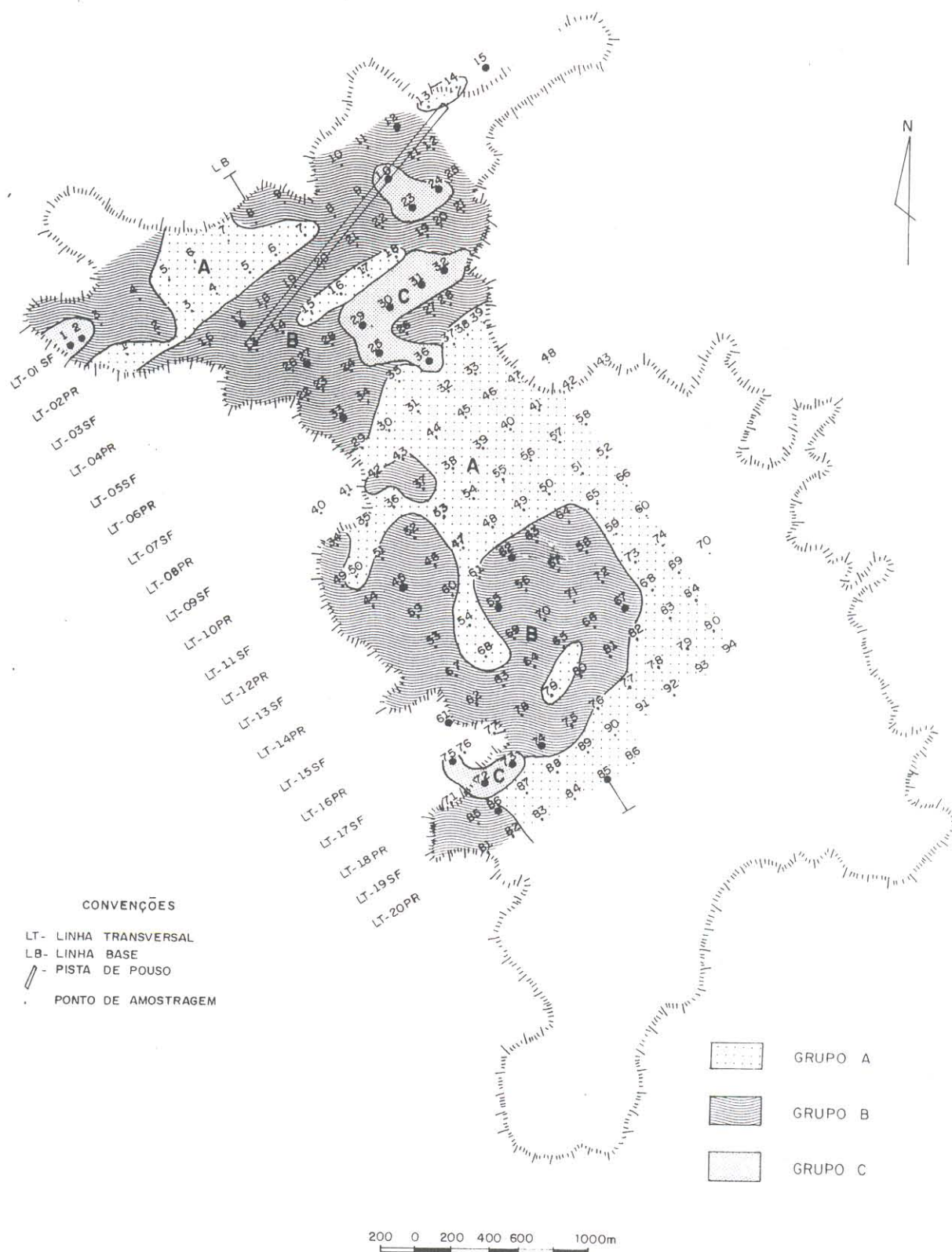


FIGURA. 69 - DISTRIBUIÇÃO ÁREAL DOS DOMÍNIOS QUÍMICOS NA SERRA DOS CARAJÁS (N-1).

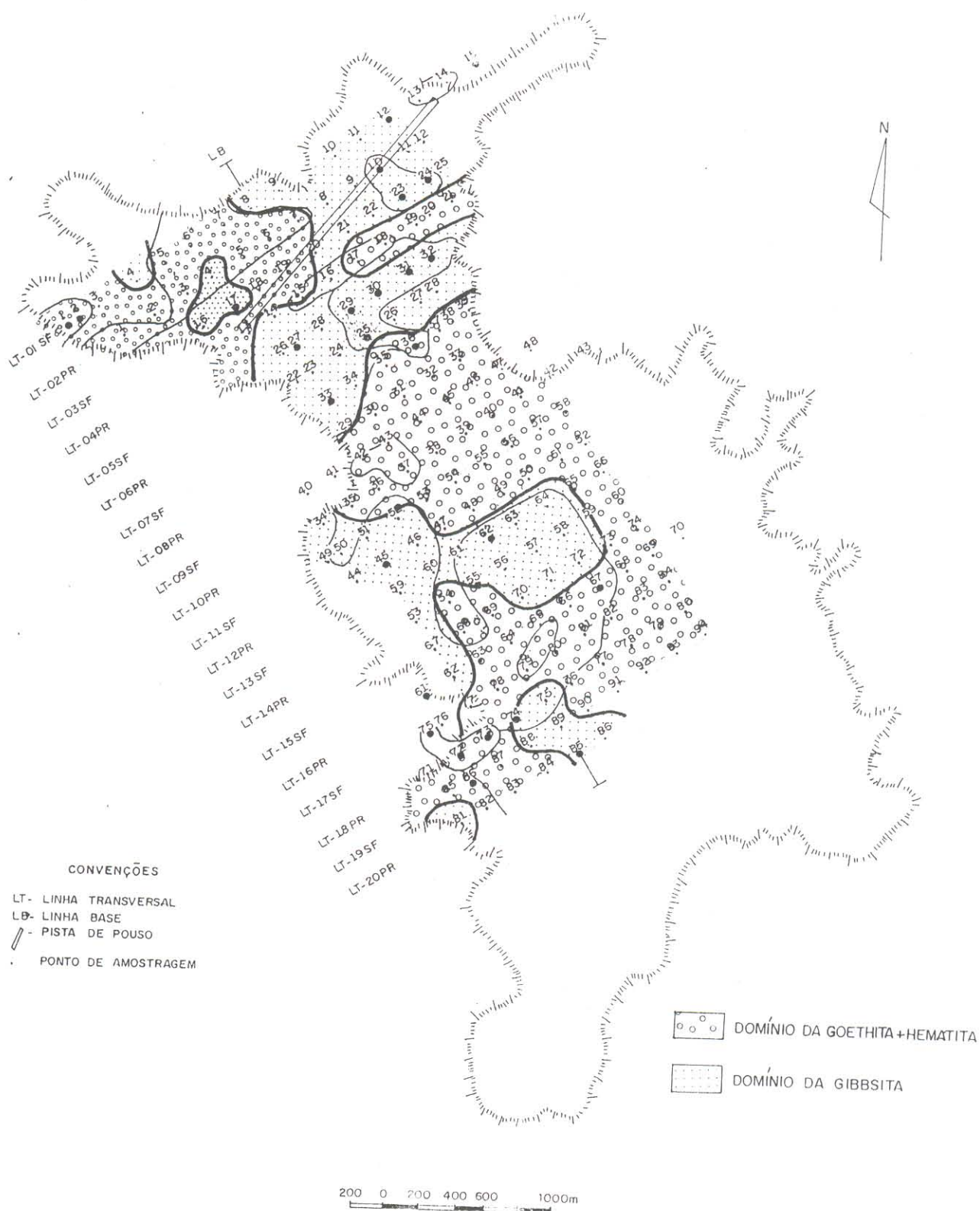


FIGURA. 70 - DISTRIBUIÇÃO AREAL DOS PRINCIPAIS MINERAIS COM TEORES SUPERIORES A MEDIA ARITMÉTICA ($\bar{x}$) NA SERRA DOS CARAJÁS(N-1)

O Sc também forma expressiva área anômala no extremo norte no domínio " B " (crosta cavernosa). O As também comporta-se isoladamente no extremo norte no mesmo domínio do Sc, não coincidindo arealmente, mas interligando-se com a sub-associação Ti-Nb-Cr.

A área ocupada pela crosta estratificada, a mais rica em ferro, normalmente não apresenta correlação com associações geoquímicas anômalas.

O Mn (Figura 72), constitui uma área anômala dentro da crosta cavernosa (domínio B) tanto na borda, como no interior do platô, parcialmente na área da associação $\text{TiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$. Os ETRP (Gd-Lu) constituem várias pequenas áreas anômalas distribuídas por todo o alvo, enquanto que os ETRL (La-Eu) são menos frequentes, no entanto as mesmas área se equivalem às do ETRP, ocupando as crostas cavernosas e estratificadas.

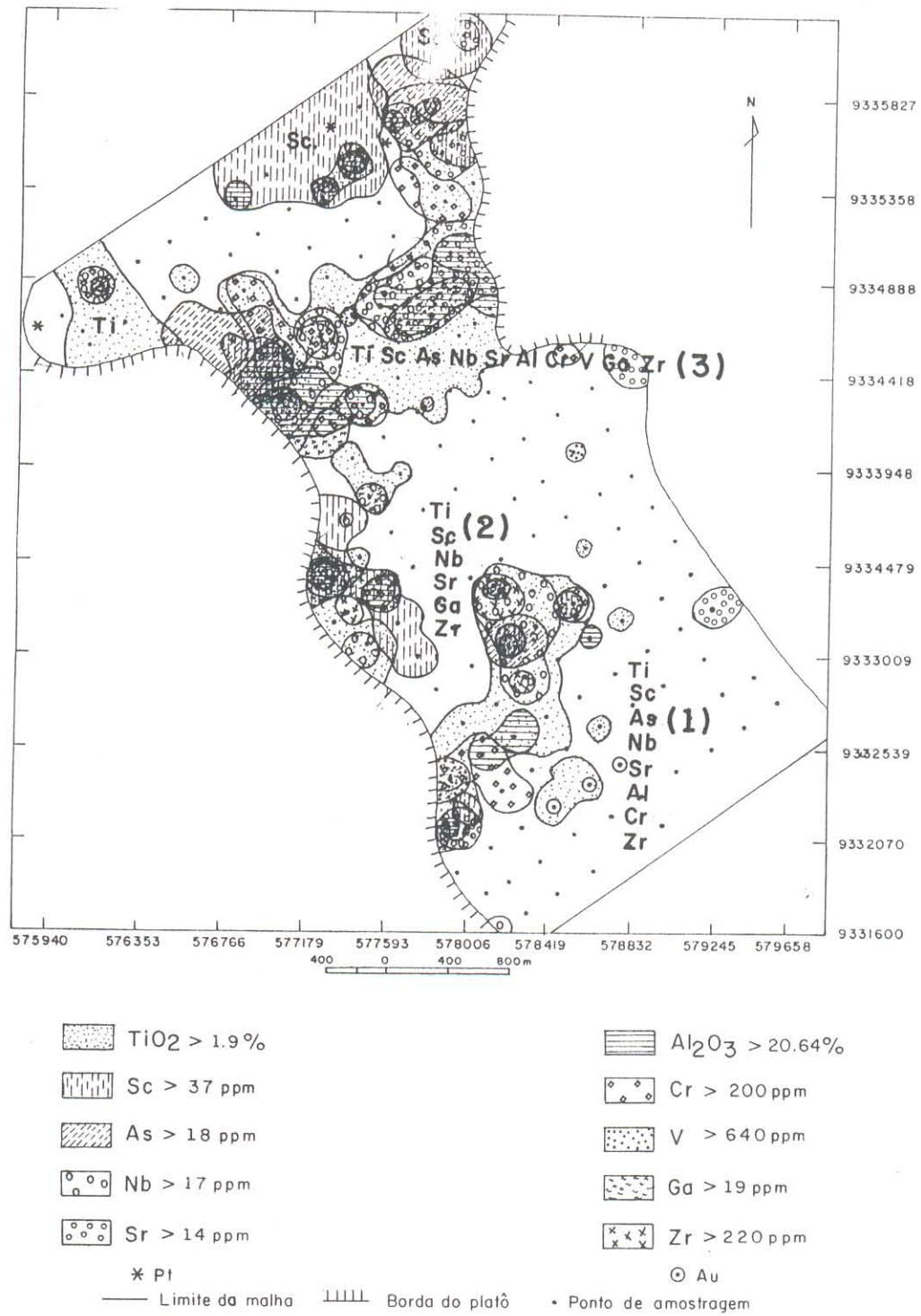


FIGURA. 71 - MAPA DE DISTRIBUIÇÃO DO TiO_2 - Al_2O_3 - Cr - V - Sr - Nb - Zr - Ga - Sc - As NA SERRA DOS CARAJÁS (N-1) - AMOSTRA TOTAL.

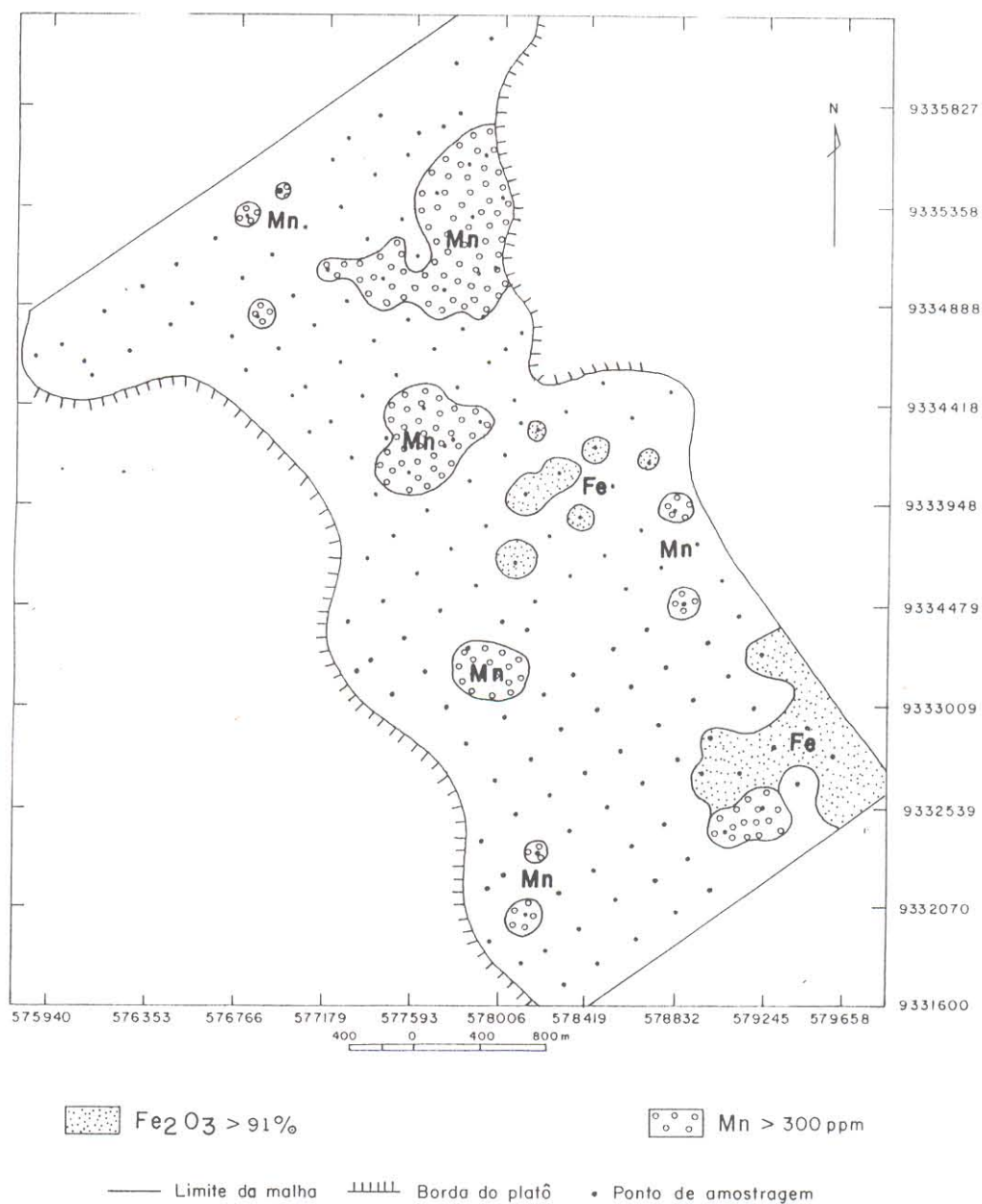
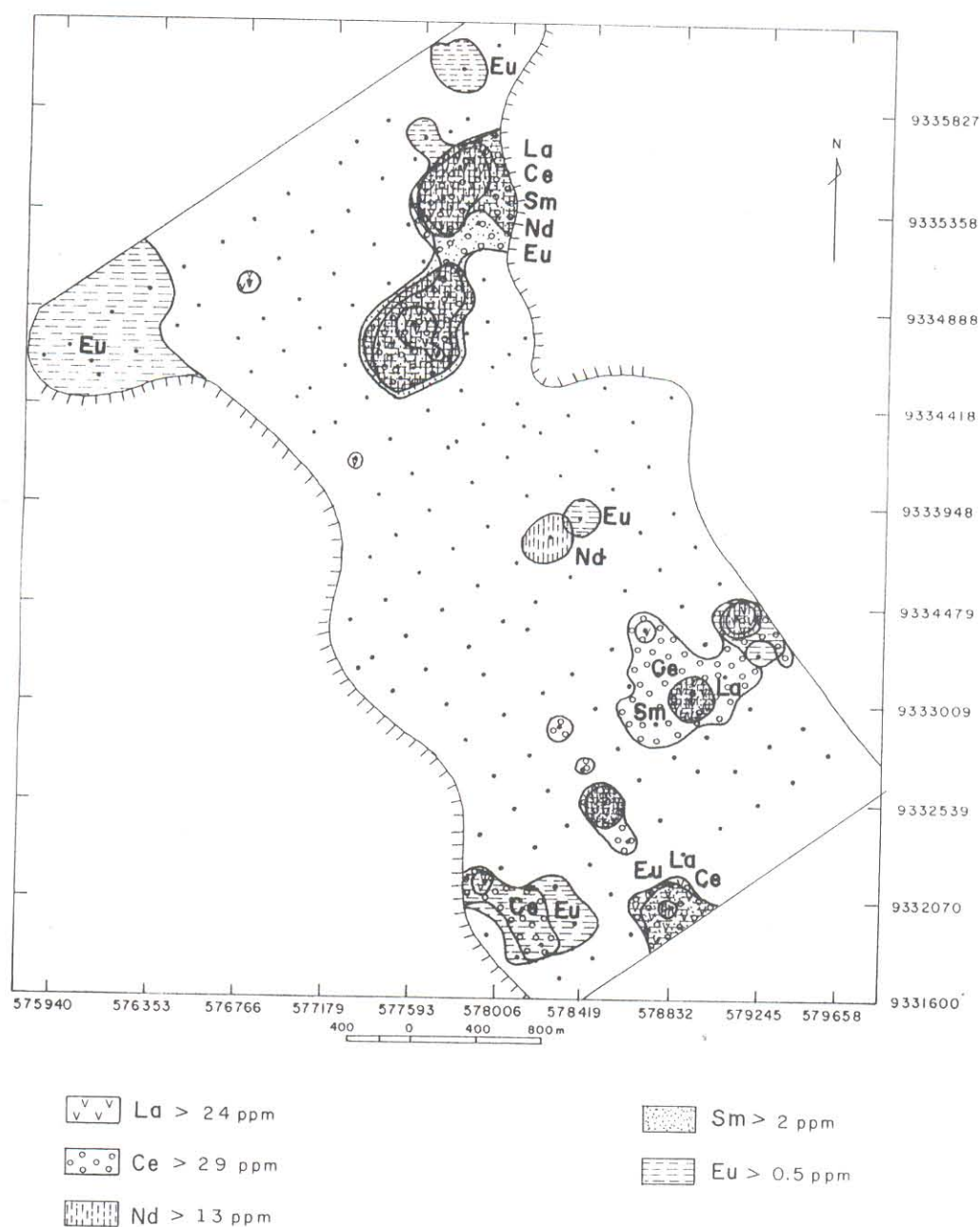


FIGURA 72-MAPA DE DISTRIBUIÇÃO DO Fe_2O_3 e Mn NA SERRA DOS CARAJÁS (N-1)-AMOSTRA TOTAL.



— Limite da malha ||||| Borda do platô • Ponto de amostragem

FIGURA. 73-MAPA DE DISTRIBUIÇÃO DOS ETRL NA SERRA DOS CARAJÁS (N-1)-AMOSTRA TOTAL

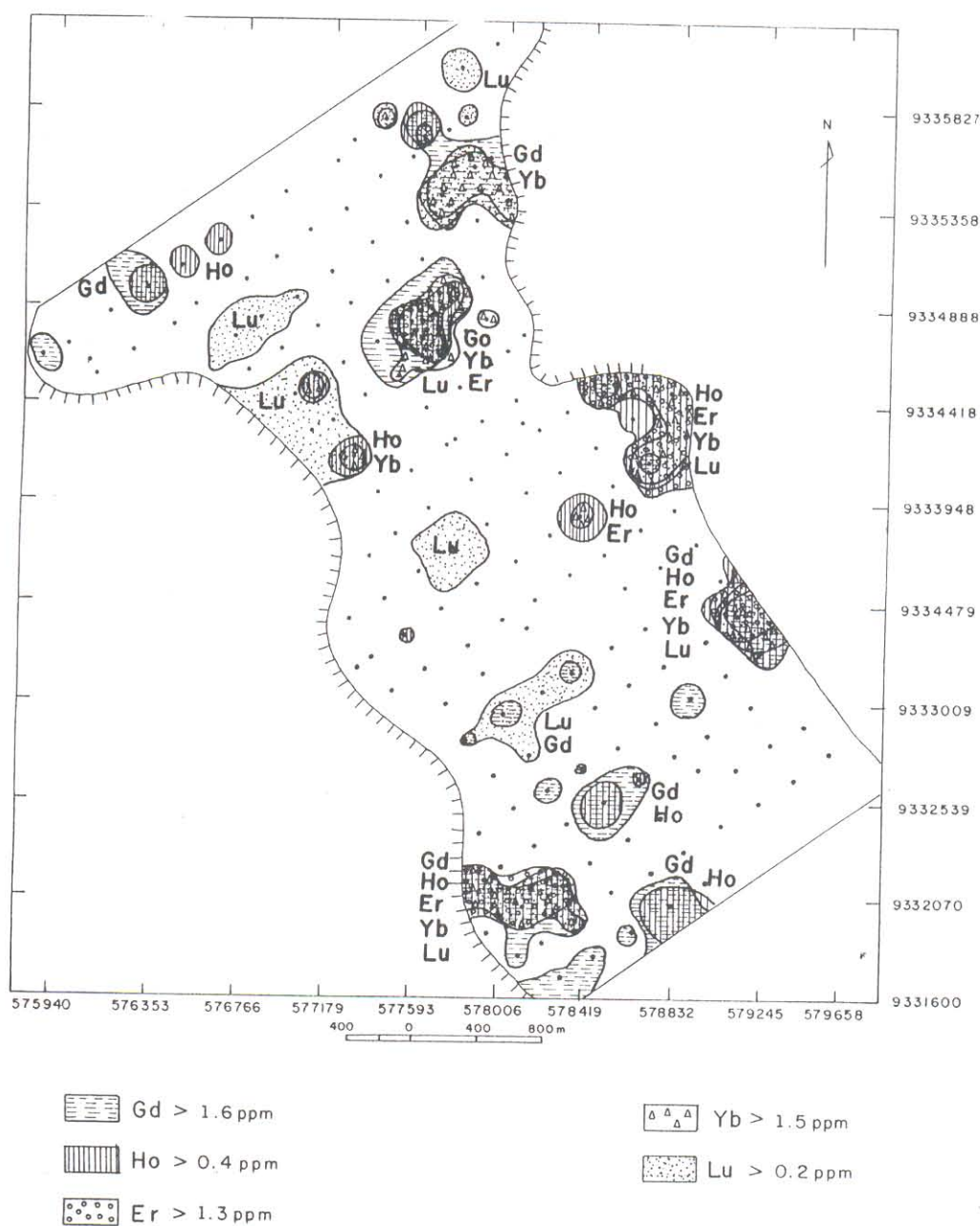


FIGURA 74-MAPA DE DISTRIBUIÇÃO DOS ETRP NA SERRA DOS CARAJÁS (N-1)-AMOSTRA TOTAL

As áreas anômalas dos ETR equivalem-se em parte àquelas do Mn , especialmente na extremidade NE do platô (Figura 72) em direção a sua borda, área da crosta cavernosa (domínio B). O Eu também se apresenta isoladamente como anomalias para NW e S . As amostras mais ricas em ETR, encontram-se nas crostas cavernosa e estratificada (ANEXO LXIV e Tabelas 21, 22 e 23) e as de Mn apenas na cavernosa. Nessa área estão as amostras com altos teores de ETR e Mn.

8.2.1.3-Considerações Finais:

Os mapas de distribuição das associações geoquímicas anômalas ou de ausência de associações discriminaram as populações litológicas e mineralógicas (Figura 69) e ainda evidenciaram o caráter gradacional entre elas. A ausência de associação caracterizou a crosta estratificada, enquanto que a cavernosa e a pisolítica, principalmente a primeira, é realçada pela associação $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2\text{-Zr-Sc-Cr-V-Sr-Nb-As}$ (Figura 71), refletindo a mineralogia caracterizada pela Al-goethita, anatásio e gibbsita. Isto mostra também que a crosta cavernosa representa litótipos provavelmente mais silicatados e modificados por remobilização e remobilização química, onde Mn e ETR, os mais móveis, se transportam para a borda do platô, como já foi discutido no item 6.4. Desta forma as áreas da associação $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Ti-Zr-Cr-Sr-Nb-As}$, formada de elementos menos móveis, deve sugerir área de influência de rochas ferro-alumino-silicatadas e as demais apenas de óxidos de ferro basicamente primários além de quartzo em menor quantidade.

8.2.2-Alvo Aurizona-serra doPirocaua(Platô- Lateritos Maturos)

8.2.2.1-Principais domínios químicos e mineralógicos

A análise de agrupamento " Modo Q " para o platô da serra do Pirocaua (ANEXO LXIV) identificou dois grandes domínios, " A e B ", cujas áreas de ocorrência estão identificadas na

Figura 75. O domínio " A ", é o mais extenso, ocupa quase toda a área do platô, enquanto o domínio " B " restringe-se a zona periférica, localizadamente. Se comparado com o mapa litológico da Figura 37, sobreposto a Figura 75, o domínio " A " engloba toda a área de ocorrência das crostas e avança sobre a área dos solos nas porções NNW , SE e SW. O domínio " B ", corresponde a área restante dos solos, que é muito restrita. O domínio " A " pode ser subdividido em dois sub-domínios (ANEXO LXV), " A1 e A2 "(Figura 75)." A1 " ocupa áreas centrais, enquanto " A2 " encontra-se numa zona intermediária entre " A1 " e " B ". " A 2 " poderia corresponder a uma zona de transição da crosta sã para os solos (representando apenas a desagregação da crosta, segundo observações feitas no item 7.1.4).

A distribuição areal dos domínios A (A1 e A2) e B comparada com aquela da mineralogia, da Figura 76, permite relacionar o domínio A1 com predominância de hematite +goethita, o A2 e B com abundância de fosfatos e anatásio. Deixa claro que a área mapeada como solos, corresponde aos valores mais elevados de fosfatos e anatásio. Tudo indica que a desagregação da crosta ferruginosa em solos promove ao mesmo tempo uma deferrificação e uma concentração residual de fosfatos e provavelmente de anatásio.

A presente análise indica que a superfície do platô de Pirocaua é formado quase exclusivamente pelo domínio " A ", ou seja por materiais da crosta ou de igual constituição químico-mineralógica.

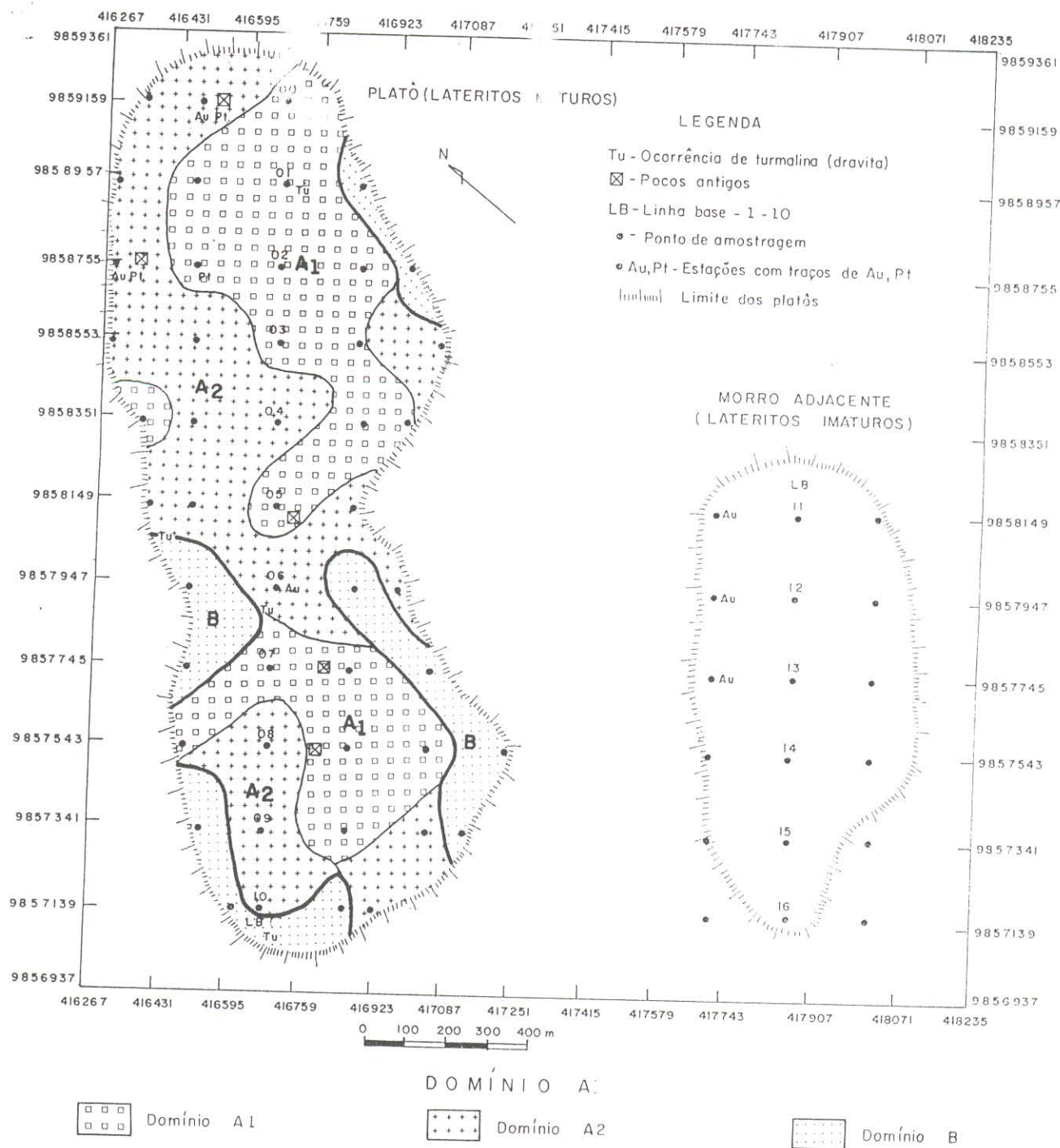


FIGURA 75 - DISTRIBUIÇÃO AREAL DOS DOMÍNIOS QUÍMICOS NA SERRA DO PIROCAUA -ALVO AURIZONA

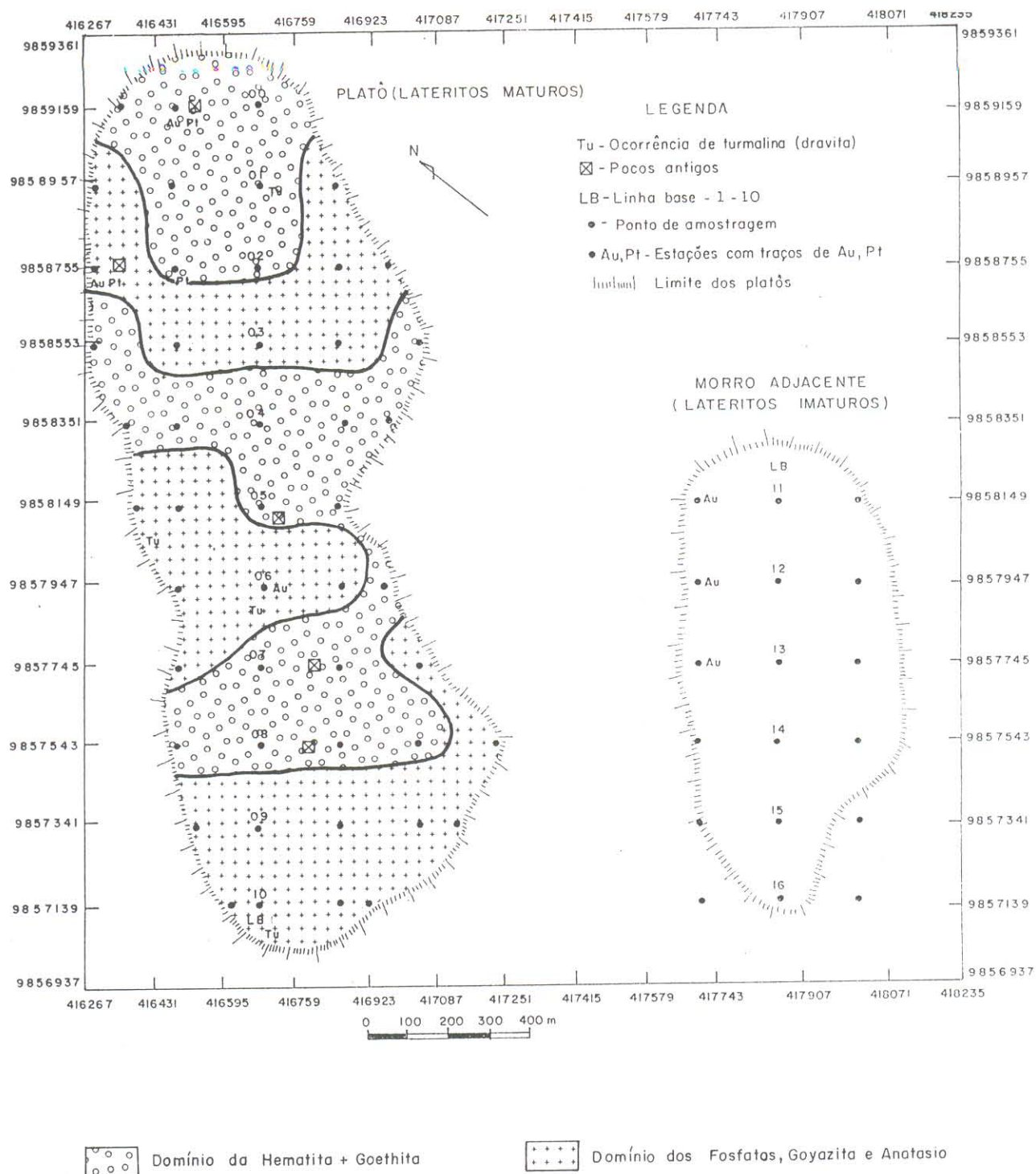
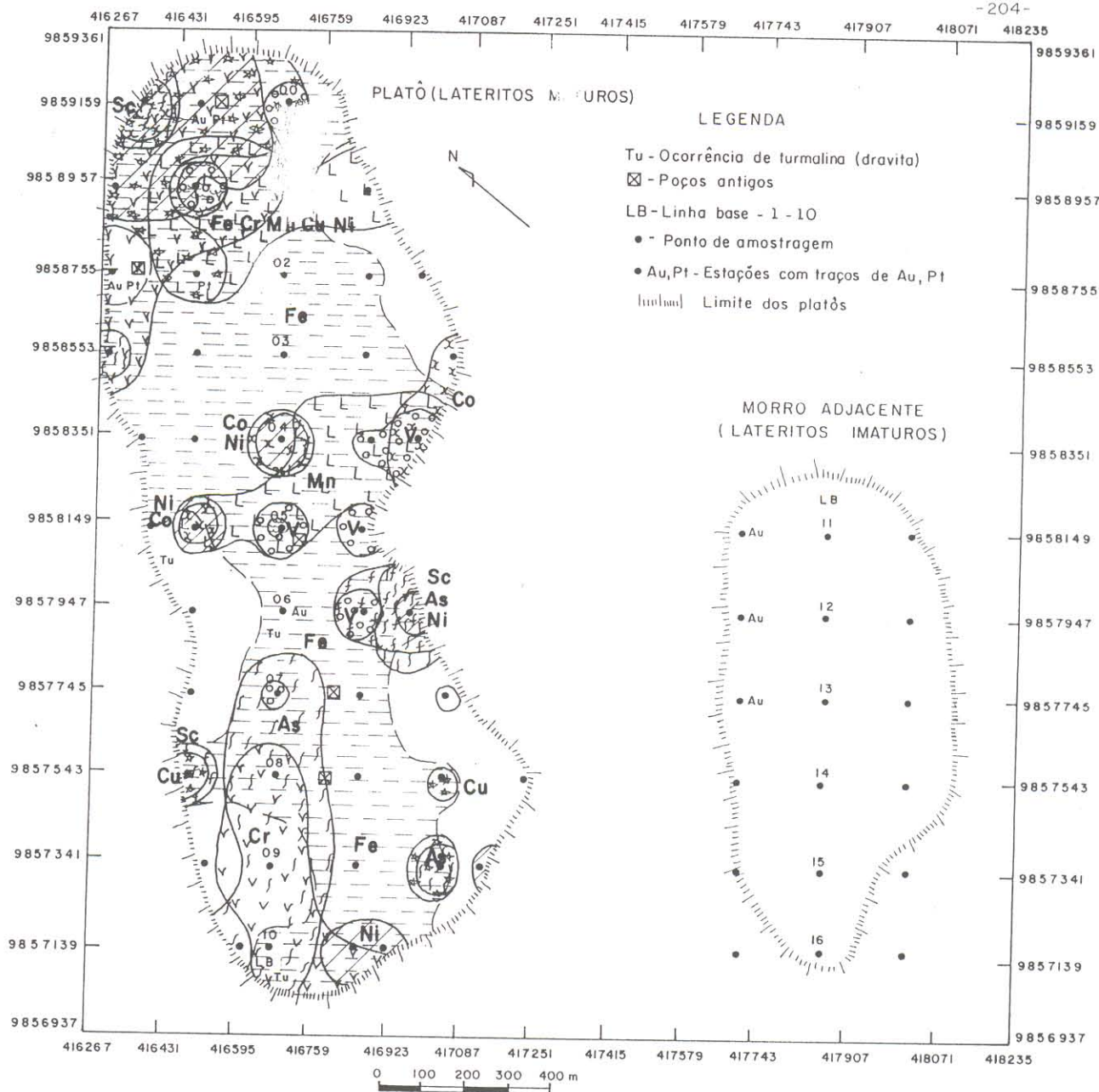


FIGURA 76 - DISTRIBUIÇÃO AREAL DOS PRINCIPAIS MINERAIS COM TEORES SUPERIORES A MÉDIA ARITMÉTICA ($\bar{x}$) NA SERRA DO PIROCAUA-ALVO AURIZONA.

8.2.2.2-Distribuição Areal das associações geoquímicas

Os mapas de distribuição das anomalias das associações geoquímicas no platô de Pirocaua, confeccionados com base nos valores anômalos de 1^a e 2^a ordens (ANEXO LXV), estão apresentados nas Figuras 77 a 80. A associação geoquímica Fe_2O_3 -V-Ga-Co-Mn-Cu-Ni-Sc-Cr-As (Figura 77), em que o Fe_2O_3 não apresenta nenhum valor anômalo de 1^a ou 2^a ordem, os valores de 3^a ordem desse elemento recobrem a área correspondente ao domínio " A "(A1 + A2) aquela da abrangência da crosta, adentrando na dos solos na extremidade SW. Os demais elementos dessa associação, em 1^a e 2^a ordem, delineiam áreas anômalas nas extremidades NE, SW e na borda E . Fe_2O_3 -V-Mn-Cu-Ni-Cr, na extremidade NE, correspondendo a altos teores de hematite + goethita (Figura 76), sendo que também os teores dos seus elementos (ANEXO LXV e item 7.1.4), que estão acima da média crustal, são sugestivos da influência de composição máfica para o substrato da referida porção da crosta. Esses valores são comparáveis aqueles estudados por SCHELLMANN (1979), para indicação de Lateritos derivados de rochas máficas; nesse domínio ocorrem valores anômalos de Pt e Au, além de concentrações da turmalina dravita, aumentando a possibilidade da natureza máfica modificada por alteração hidrotermal.

(Fe)-Mn-V-Co-Ni-As na parte central do platô, no domínio dos fosfatos e, também de minerais de ferro (domínios A2 e B) além da ocorrência de turmalinas, sugerem igualmente natureza máfica hidrotermalizada para essa associação, como protótipo dos lateritos.



Fe₂O₃ > 42 %

V > 1800 ppm

Ga > 92 ppm

Co > 13 ppm

Mn > 700 ppm

Cu > 170 ppm

Ni > 100 ppm

Sc > 160 ppm

Cr > 1900 ppm

As > 380 ppm

* 3ª Ordem

FIGURA 77 - MAPA DE DISTRIBUIÇÃO DO Fe₂O₃ - V - Ga - Co - Mn - Cu - Ni - Sc - Cr - As NA SERRA DO PIROCAUA - AMOSTRA TOTAL

A associação do $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-P}_2\text{O}_5\text{-Ba-Sr-Y}$ (Figura 78), em que o fósforo não define valores anômalos de 1ª e 2ª ordens, sendo que seus valores de 3ª ordem, delineiam duas áreas distintas e opostas, que em conjunto correspondem praticamente a toda superfície do platô, com exceção das extremidades NE, centro e SW.

As duas primeiras áreas são as mais ricas em minerais de ferro e os teores podem ser relacionados às áreas de influência de substrato máfico hidrotermalizado indicados na Figura 78.

Ba-Sr-Y (Figura 78) restringem-se praticamente a borda do platô, no domínio A2 e B (solos) e uma parte periférica da crosta, região de maior predominância dos fosfatos (Figura 76).

$\text{TiO}_2\text{-ETRL}$ (Figura 79), em que o TiO_2 também não apresenta anomalias de 1ª e 2ª ordem, os de 3ª ordem desse elemento, circunscrevem uma área anômala na parte central do platô, envolvendo os domínios A2 e B (fosfatos principalmente), correspondendo a zona da associação do Fe_2O_3 , interpretada como derivada de rochas máficas hidrotermalizadas. Os teores de TiO_2 situados entre 2,7 e 7,9 % nessa zona estão na faixa daqueles de outros Lateritos derivados de rocha máfica SCHELLMANN,1979; COSTA,1984).

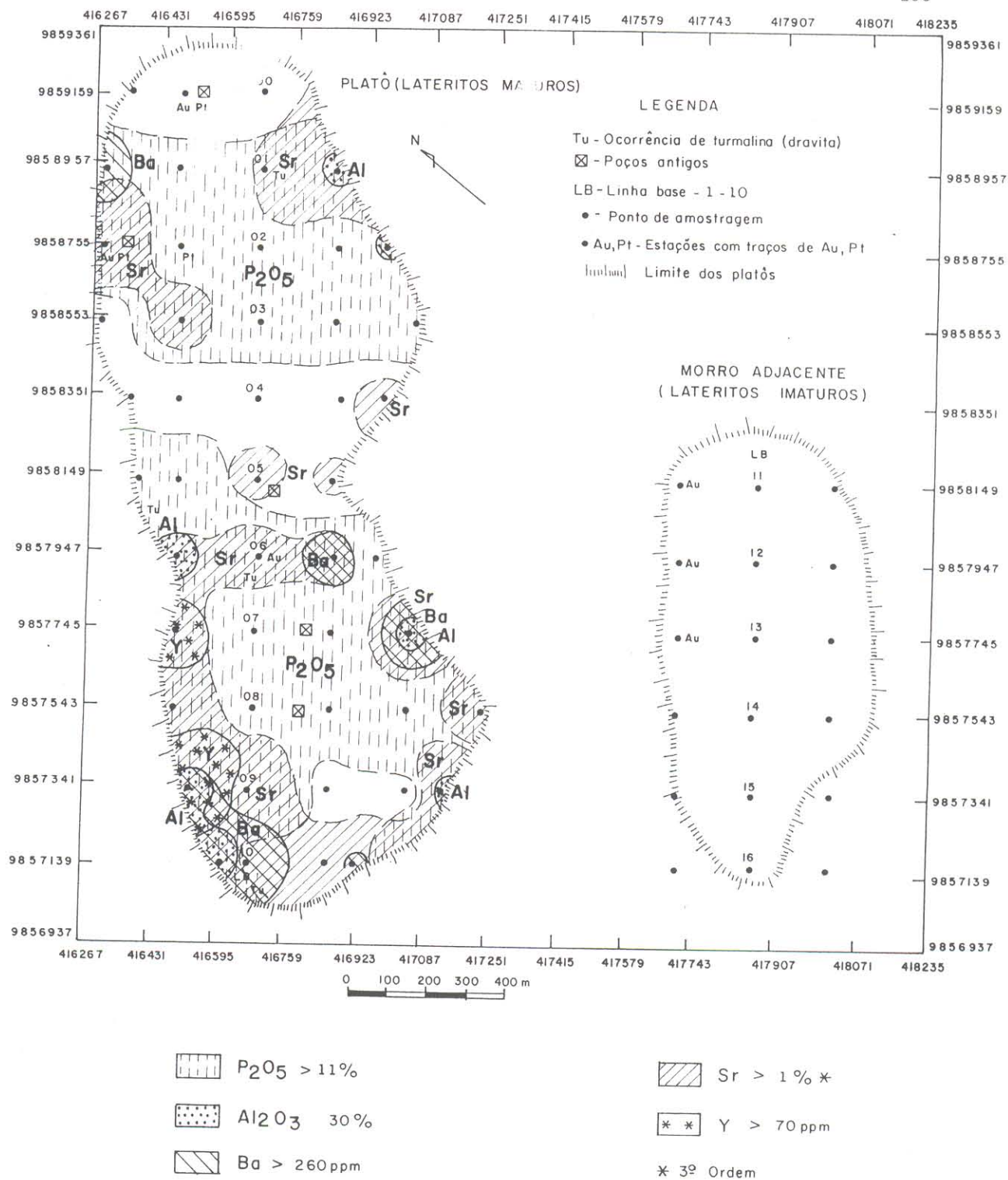


FIGURA.78- MAPA DE DISTRIBUIÇÃO DO Al_2O_3 - P_2O_5 - Ba - Sr - Y
NA SERRA DO PIROCAUA-AMOSTRA TOTAL.

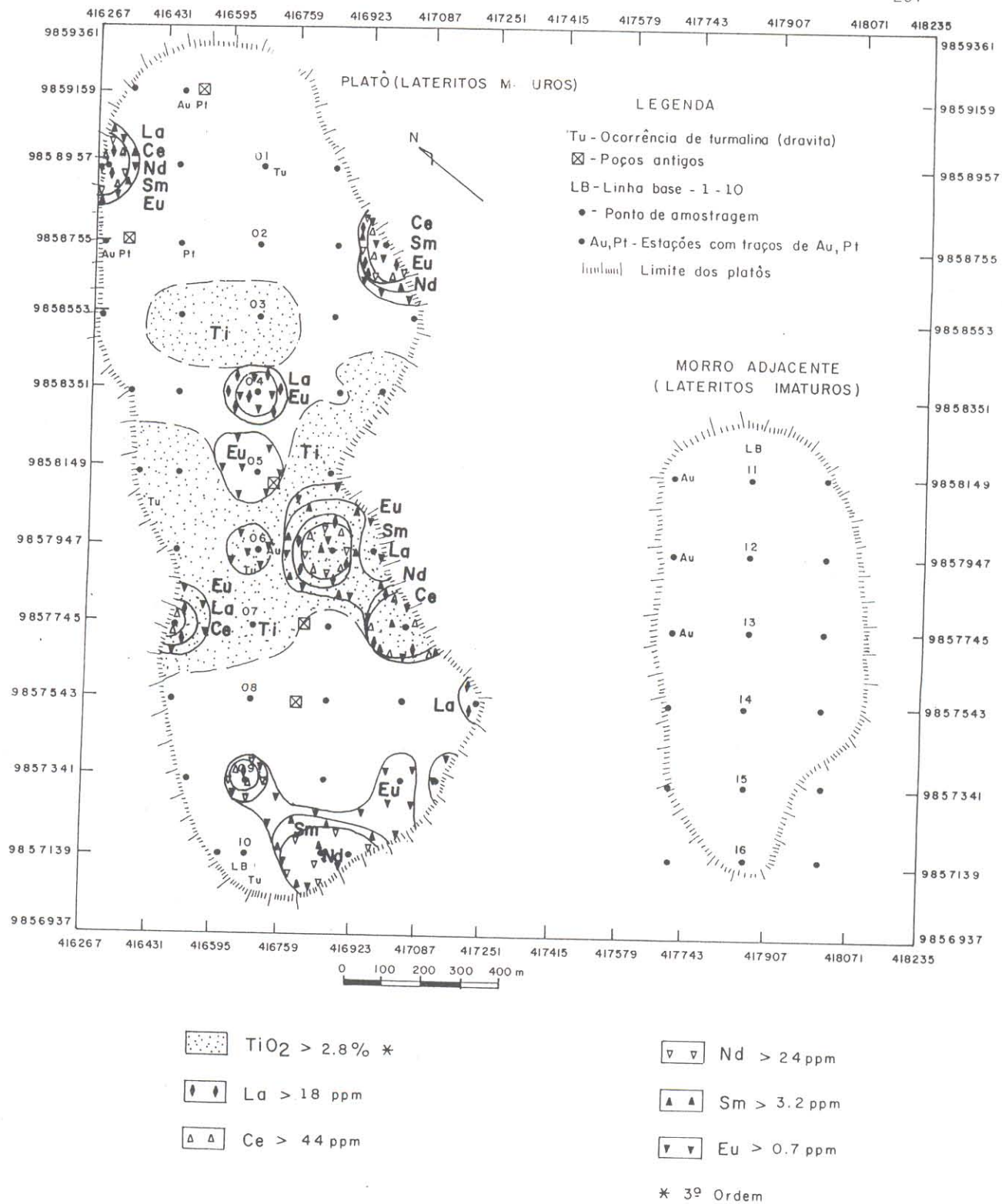


FIGURA. 79 - MAPA DE DISTRIBUIÇÃO DO TiO_2 - ETRL NA SERRA DO PIROCAUA - AMOSTRA TOTAL.

Os ETRL apresentam área de distribuição equivalente aos ETRP, situando-se preferencialmente nas bordas do platô. Na parte central sua área de domínio coincide com a do TiO_2 de 3ª ordem e nas demais partes com Ba-Sr-(Y). Aí estão mais concentrados os fosfatos e o anatásio e, considerando que a área de distribuição dos ETRL é equivalente a dos ETRP (Figura 80), é sugestivo de que os ETR, estejam preferencialmente relacionados aos fosfatos, até porque nas outras partes do platô eles se relacionam com a associação do Sr-Ba-(Y), que também representa os fosfatos.

8.2.2.3-Considerações Finais

Pelo exposto o platô de Pirocaua é em termos gerais um grande corpo anômalo definido por Fe-P-Al (3ª ordem). As variações dentro desse corpo são indicadas pela distribuição das áreas anômalas dos demais elementos que complementam as associações. Assim que (Fe)-V-Mn-(Co)-Cu-Ni-Cr-(Au-Pt)- turmalina e/ ou Fe-Cr-As-(Ni)-(Cu)-turmalina e localmente TiO_2 permitem identificar uma derivação da crosta e / ou solo a partir de rocha máfica (básica) hidrotermalizada ou simplesmente zonas hidrotermais.

A distribuição das associações apresenta grande correlação com a mineralogia, e indica que grande parte do material mapeado como solo, corresponde quimicamente a própria crosta; também mostra que os solos estão restritos a zona da encosta e sua passagem para a crosta, através do domínio A2 é gradacional.

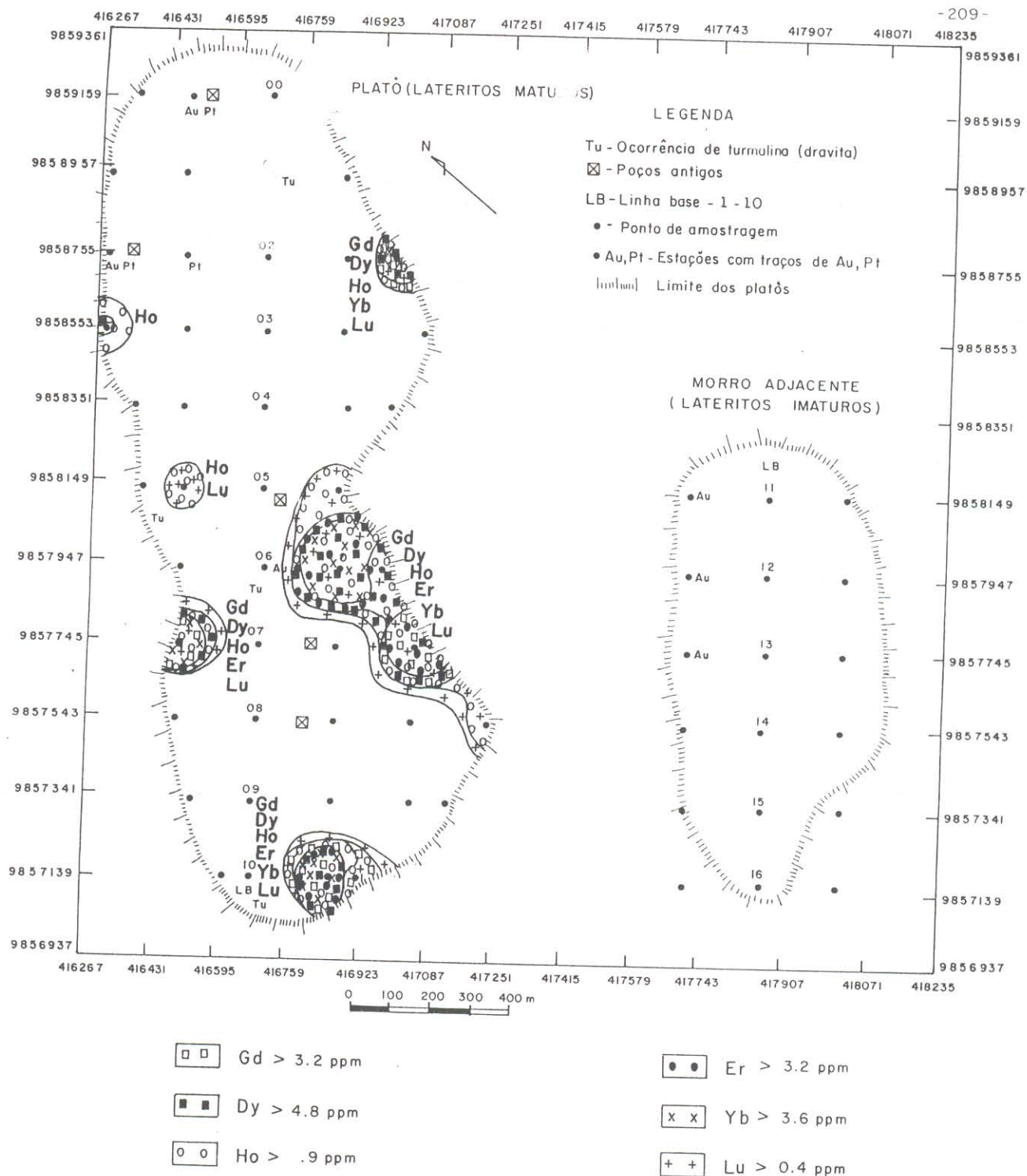


FIGURA. 80 - MAPA DE DISTRIBUIÇÃO DOS ETRP NA SERRA DO PIROCAUA-AMOSTRA TOTAL.

8.3-LATERITOS IMATUROS

8.3.1-Morro Adjacente

8.3.1.1-Principais domínios químicos e mineralógicos

A análise de agrupamento " Modo Q " para o solo laterítico do morro adjacente das amostras totais e da respectiva fração-80 + 200 mesh (ANEXO LXVII), refletiram dois domínios " A e B ", cuja distribuição areal está indicada na Figura 81. Na amostra total como também na fração -80 + 200 mesh, os domínios " A e B " são equivalentes, destacando-se o domínio " A " na parte norte e central e o domínio " B " no restante do morro. Considerando que litologicamente a superfície do morro é constituída apenas de latossolos amarelos com nódulos e concreções ferruginosas(Figura 36), os dois domínios químicos " A e B " inicialmente indicam que esses solos litologicamente homogêneos, são do ponto de vista químico, heterogêneos.

8.3.1.2-Distribuição Areal das associações geoquímicas

AMOSTRA TOTAL

Os mapas de distribuição areal das associações geoquímicas (Figuras 82 e 83), confeccionados com base nas anomalias de 1ª e 2ª ordens (ANEXO LXVI) para a amostra total indicam que da associação $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-Sc-As-Ga}$, o Fe_2O_3 e o As têm a mais ampla distribuição, recobrando toda parte central e Setentrional do morro(Figura 82), enquanto a associação $\text{Ni-Cr-Cu-(Mn)-Co-(V)}$, divide-se em duas áreas, uma Setentrional e outra central, correlacionada com os domínios " A e B " da Figura 81.

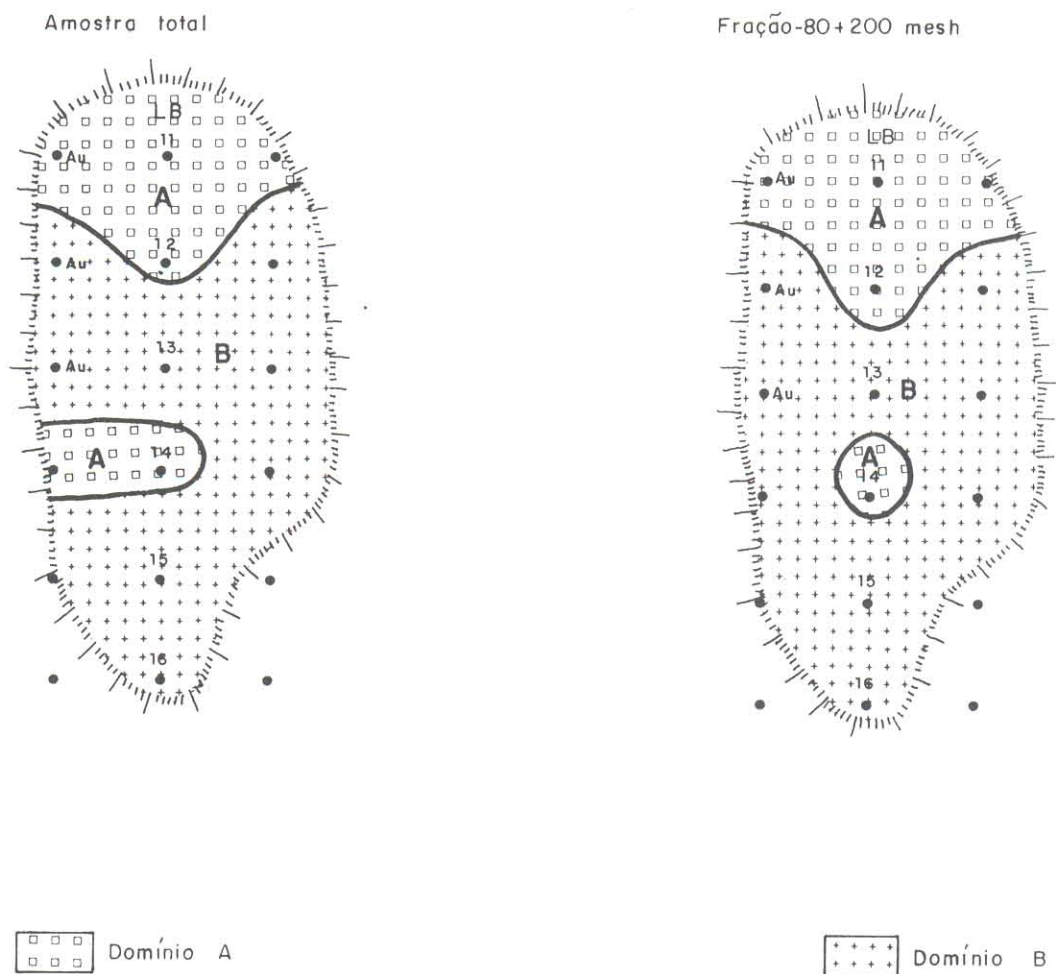
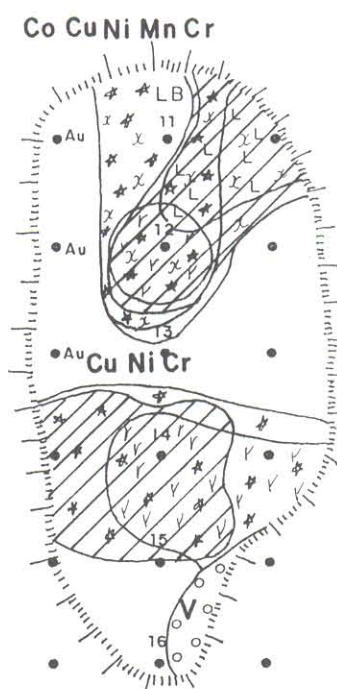
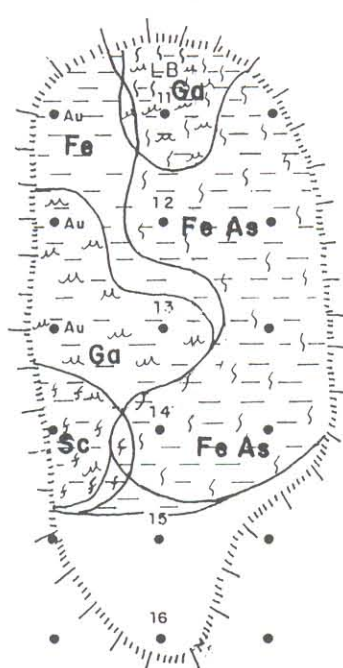


FIGURA. 81 - DISTRIBUIÇÃO AREAL DOS DOMÍNIOS QUÍMICOS NO MORRO ADJACENTE



 - $\text{Fe}_2\text{O}_3 > 35 \%$

 Sc > 40 ppm

 As > 160 ppm

 Ga > 20 ppm

 Cr > 500 ppm

 Mn > 300 ppm

 Cu > 60 ppm

 V > 240 ppm

 Co > 6 ppm

 Ni > 120 ppm

FIGURA 82 - MAPA DE DISTRIBUIÇÃO DO Fe_2O_3 -Sc-As-Ga e Cr-Mn-Cu-V-Co-Ni NO MORRO ADJACENTE-AMOSTRA TOTAL

Da associação $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-P}_2\text{O}_5\text{-As-Sr-Zr(Nb)-Ga-ETRL}$ (Figura 83), apenas $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-P}_2\text{O}_5\text{-Ba-Sr-ETRL}$, constituem uma zona anômala mais definida na parte meridional do morro, onde a associação do Fe_2O_3 está ausente. As demais associações não apresentam padrão areal coerente. Embora essas duas associações se assemelhem àquelas do platô de Pirocaua constituído de Lateritos maduros, concentrações absolutas dos elementos que constituem a associação do Al_2O_3 e do Fe_2O_3 são muito mais baixas (ao nível crustal ou abaixo dela), se comparados com os solos de N-5 (item 5.4). Embora a formação de solos tenda a atenuar os teores dos elementos, os baixos teores obtidos (item 7.2.3), ao lado daqueles elevados de SiO_2 e baixos de TiO_2 , permitem inferir composição intermediária para o substrato dos Lateritos imaturos do morro adjacente, de natureza menos máfica do que a do platô e desprovido de fosfatos.

FRAÇÃO - 80 + 200 MESH:

Nesta fração a associação $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-Ga-Cu-Ni-As-Cr-V-Sc}$ (Figura 84), ocorre na parte central e norte do morro, que corresponde respectivamente aos domínios " B e A ". A forma e tamanho do halo de distribuição é similar para todos os componentes, com exceção do V que ocorre isoladamente no extremo W e na parte SE. As altas concentrações de As em solos (40 a 185 ppm) e nas concreções (amostras EA-15A, LB-11A, 26A, 14A, 45A, LB 12 com 110 a 390 ppm(Tabela 37), da mesma forma que no platô devem estar relacionadas a atividades hidrotermais. veios e zonas de quartzo aurífero, em parte garimpados para ouro, ocorrem também junto às encostas do morro adjacente.

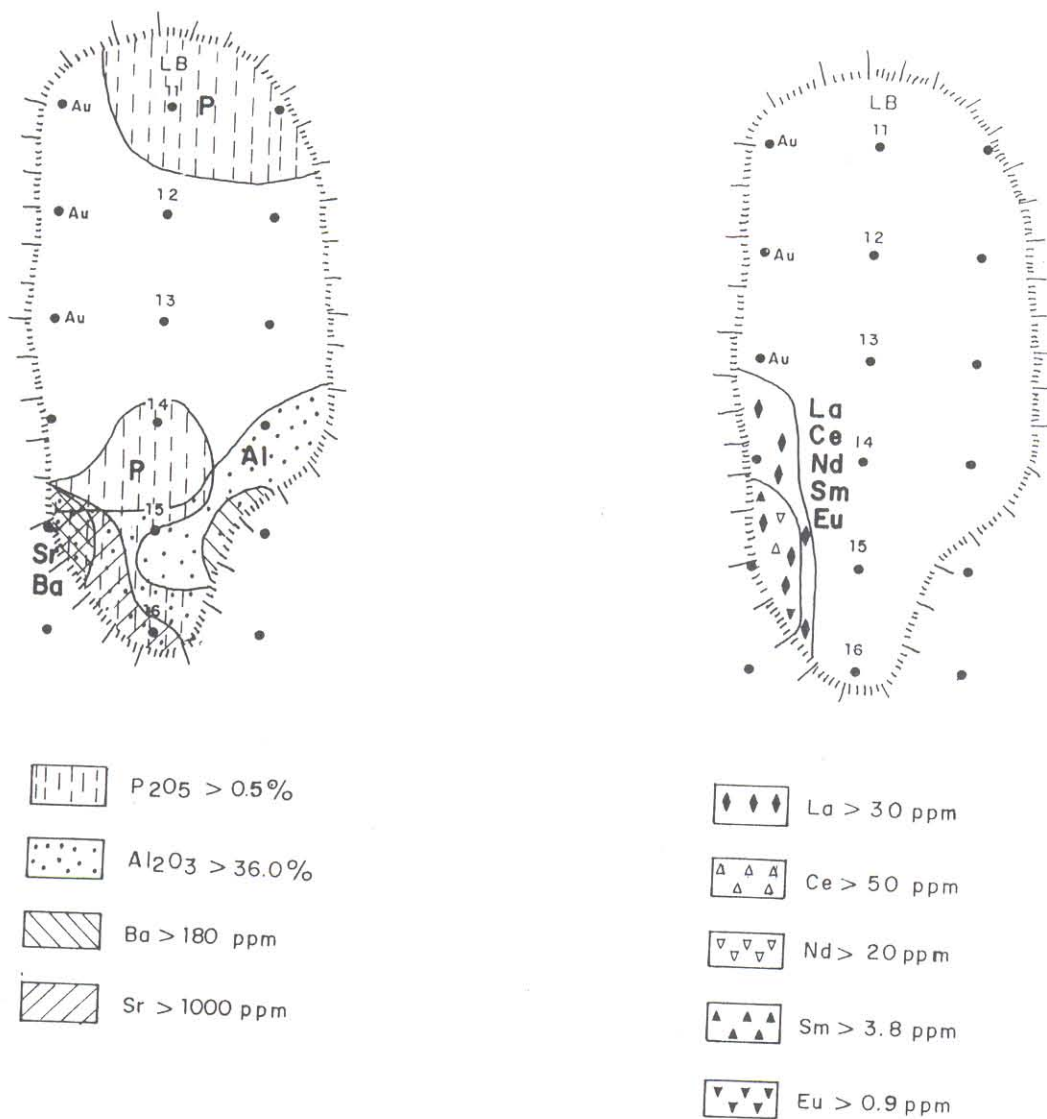


FIGURA. 83 - MAPA DE DISTRIBUIÇÃO DO P_{2O_5} - Al_2O_3 -Ba-Sr e La - Ce-Nd-Sm-Eu NO MORRO ADJACENTE - AMOSTRA TOTAL

A associação Al_2O_3 -Sr-ETRL (Figura 84), restringe-se a extremidade sul do morro. O Sr-ETRL é a associação mais evidente, sugestiva de fosfatos de alumínio, mesmo que em pequena quantidade.

A associação TiO_2 -Ba-Zr-ETRP (Figura 85), constitui uma clara zona anômala na parte centro-norte do morro, onde os ETRP formam um halo de maior distribuição em relação ao Zr e TiO_2 .

No extremo SW do morro, a área de distribuição dos valores anômalos dos ETRP coincide com aqueles dos ETRL-Sr, mais uma vez evidenciando os fosfatos de alumínio (grupo da crandalita), ainda que em pequena quantidade.

8.3.1.3-Considerações Finais:

Os mapas de domínios químicos mostram que entre a amostra total e a fração-80 + 200 meshes são semelhantes, onde o domínio B aparece mais amplo em relação ao domínio A. No entanto os mapas de distribuição das associações geoquímicas mostram que na amostra total Fe_2O_3 e As encontram-se distribuídos indistintamente, enquanto na fração-80 + 200 mesh as concentrações são mais evidentes no domínio A. Cu-Ni-Sc-Ga tanto na amostra total como na fração-80 + 200 mesh também se concentram no domínio A. Já os ETR se concentram mais no domínio B. Observa-se que os mesmos na parte central estão associados com TiO_2 , enquanto na parte SW estão associados com o Ba.

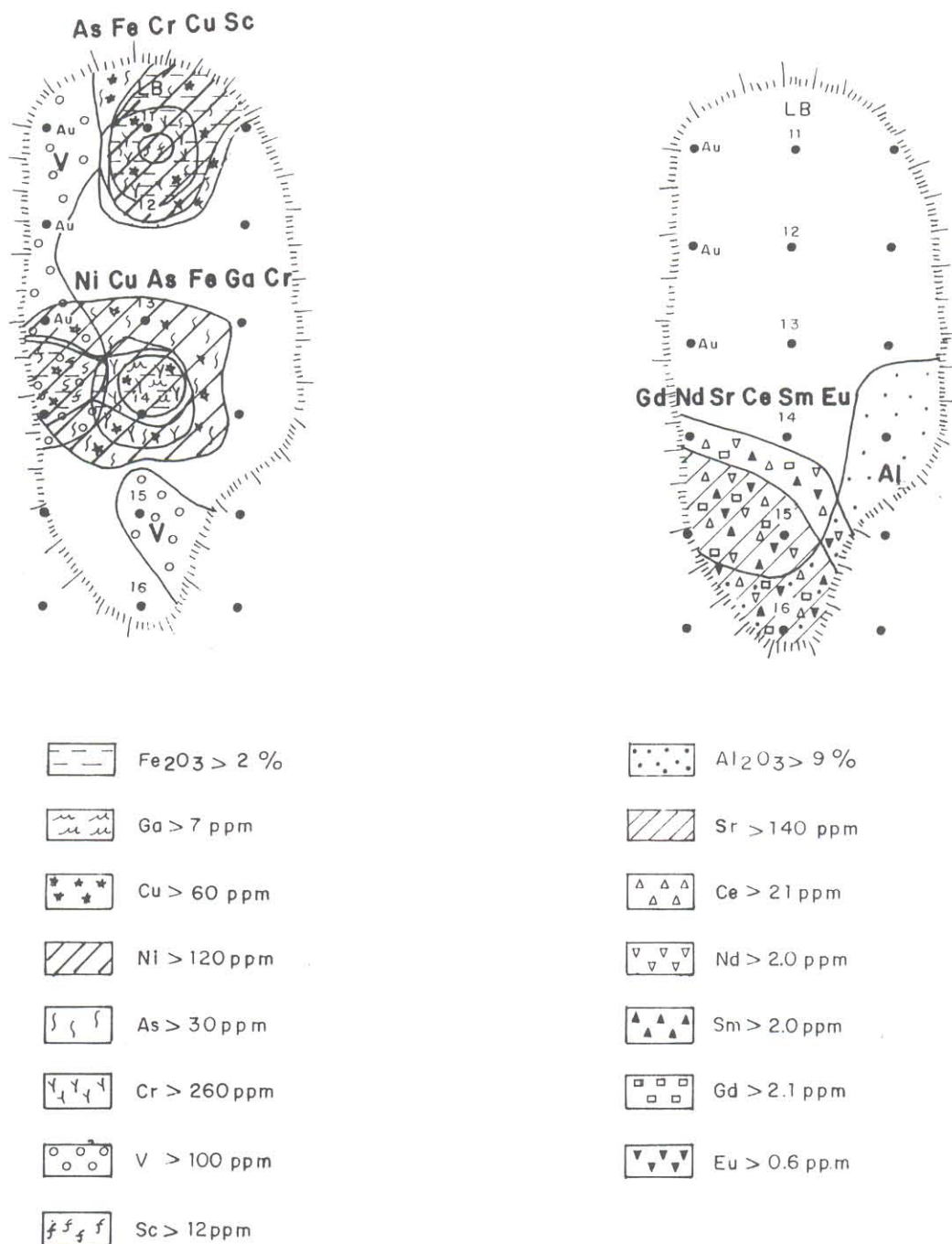


FIGURA. 84 - MAPA DE DISTRIBUIÇÃO DO Fe_2O_3 -Ga-Cu-Ni-As-Cr-V-Sc e Al_2O_3 -Sr-Ce-Nd-Sm-Gd-Eu NO MORRO ADJACENTE - FRAÇÃO - 80 + 200 mesh .

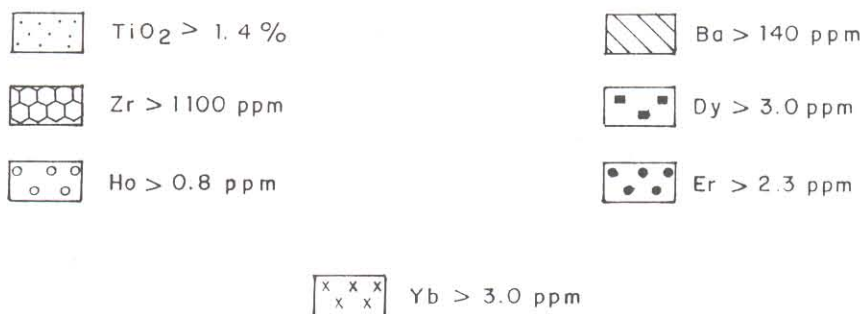
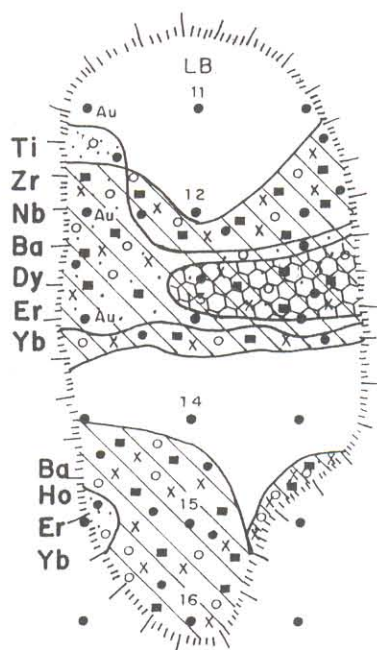


FIGURA 85 - MAPA DE DISTRIBUIÇÃO DO TiO₂ - Ba - Zr - Dy - Ho - Er - Yb NO MORRO ADJACENTE - FRAÇÃO - 80 + 200 MESH

9 - CONCLUSÕES

Os dados geológicos, bem como os mineralógicos e geoquímicos apresentados anteriormente sobre os alvos aqui investigados compreendendo solos e crostas ferruginosas lateríticas na Amazônia Oriental relacionados preferencialmente, ao topo de perfis lateríticos maduros do Terciário Inferior, permitem as seguintes conclusões:

9.1 - DE ORDEM GEOLÓGICA E MINERALÓGICA

- Os latossolos, mesmo aqueles encontrados sobre perfis imaturos como no Morro Adjacente a Serra do Pirocaua, são texturalmente muito semelhantes entre si, geralmente com aspecto terroso a argiloso, com tonalidade amarela predominantemente, podendo conter concreções ferruginosas dispersas, de tamanho variado e representativas de crostas ferruginosas degradadas. Dessa forma esses solos, quando pobres em concreções, não se deixam mapear através de seus aspectos texturais, como mostraram os alvos Tiracambu,(TN-6), Carajás(N-5) e Morro Adjacente(Aurizona).

Em termos mineralógicos os alvos estudados são, por outro lado, distintos de certa forma. Enquanto em Tiracambu a composição mineralógica se traduz em domínio de caulinita, seguida de goethita aluminosa, além de quartzo e anatásio, os latossolos de N-5 contém preferencialmente gibbsita, seguida de hematita, goethita e caulinita, além de anatásio, que pode localmente ser denominado de bauxita terrosa. Os latossolos do Morro Adjacente, sobrepostos por outro lado, a perfis lateríticos imaturos, equivalem-se mineralogicamente àqueles de Tiracambu, contendo entretanto muito quartzo, retratando a sua derivação de crostas menos evoluídas. Os latossolos de Tiracambu e Morro Adjacente tem composição mineralógica equivalente aos latossolos correntes na Amazônia.

Por sua vez as crostas lateríticas ferruginosas tanto de N-1(Carajás) como da Serra do Pirocaua, mostram marcantes variações texturais e de coloração, as quais podem ser mapeadas em escala de detalhe. O mapeamento dessas diferenças foi melhor sucedido em N-1, onde foi possível distinguir três tipos de crostas: a estratificada, a pisolítica e a cavernosa, que se distinguem por completo da de Pirocaua, que tem um aspecto brechoide, onde os fragmentos são cimentados por abundante material branco-amarelado. Nas crostas de Pirocaua também foi possível mapear verdadeiros aglomerados de turmalina no cimento branco-amarelado, além de uma delgada cobertura de solos arenosos sobrepondo-se a crosta supracitada. O mapeamento geológico de crostas lateríticas parece ser mais objetivo do que nos solos, pois guardam mais contrastes do que esses últimos.

Do ponto de vista mineralógico as crostas estudadas são também distintas entre si. Em N-1 as diferentes crostas embora formadas pelos mesmos minerais, hematita, goethita, gibbsita, anatásio e fosfatos de alumínio, divergem na concentração dos mesmos, assim que gibbsita é mais abundante na crosta cavernosa e menos abundante na estratificada. Se comparada com N-1, a crosta da Serra do Pirocaua diverge pela grande abundância de fosfatos de alumínio, representados principalmente pelo grupo da crandalita-goyazita, augelita e senegalita, além de dravita, que localmente atinge grandes concentrações. Em termos de minerais de ferro (hematita, goethita) as diferenças ficam por conta apenas das concentrações.

As diferenças e semelhanças mineralógicas entre os alvos investigados, anteriormente ressaltadas, estão ilustradas na Figura 86. Nela são evidentes as semelhanças mineralógicas entre os latossolos de N-5 e Morro Adjacente, e as divergências com os latossolos de N-5. Ressaltam-se também as crostas como um grupo a parte, que diferenciam entre si através dos fosfatos, da abundância de gibbsita e de oxi-hidróxidos de ferro.

9.2 - DE ORDEM QUÍMICA

Do ponto de vista de composição química os latossolos (alvos Tiracambu e Morro Adjacente) pouco divergem entre si, mas são diferentes daqueles de N-5, os quais são relativamente pobres em SiO_2 e ricos em Al_2O_3 e mesmo Fe_2O_3 , como mostra a Figura 87a.

Os teores mais elevados de SiO_2 no Morro Adjacente retratam a sua maior abundância de quartzo, promovida pela evolução imatura do seu perfil laterítico subjacente. As crostas lateríticas são quimicamente muito diferentes dos latossolos, ficando essa diferença por conta do teor muito elevado de Fe_2O_3 , mais baixo de Al_2O_3 e muito baixo de SiO_2 (Figura 87 a). A crosta de Pirocaua se destaca ainda pelo alto teor de P_2O_5 , incomum em crostas lateríticas ferruginosas. Na Figura 88 a e b as diferenças químico-mineralógicas ficam bem destacadas. Os latossolos, como o caso de N-5 assumem parte do campo composicional das crostas.

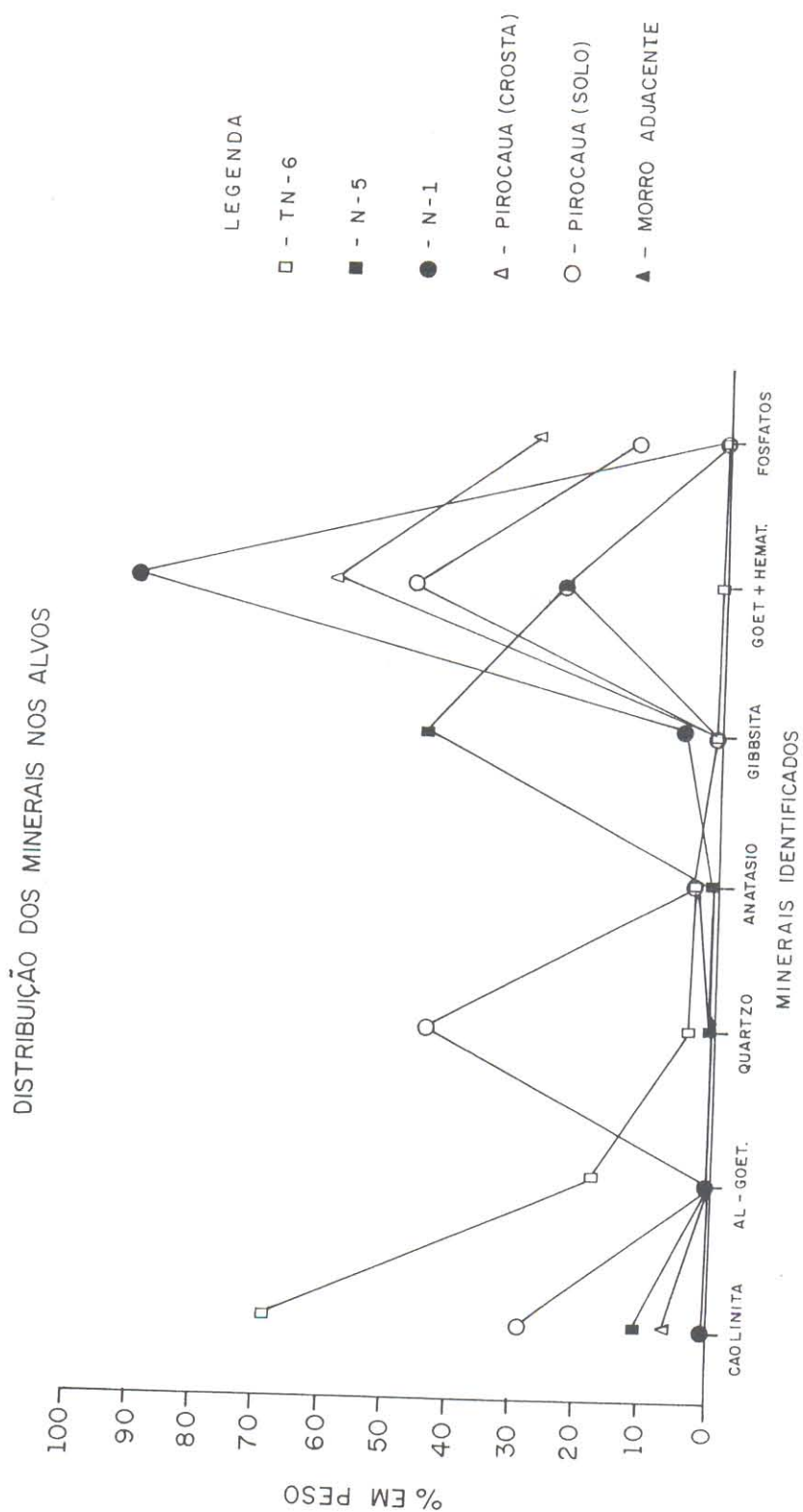


FIGURA 86- INTEGRAÇÃO DA MINERALOGIA DOS ALVOS ESTUDADOS

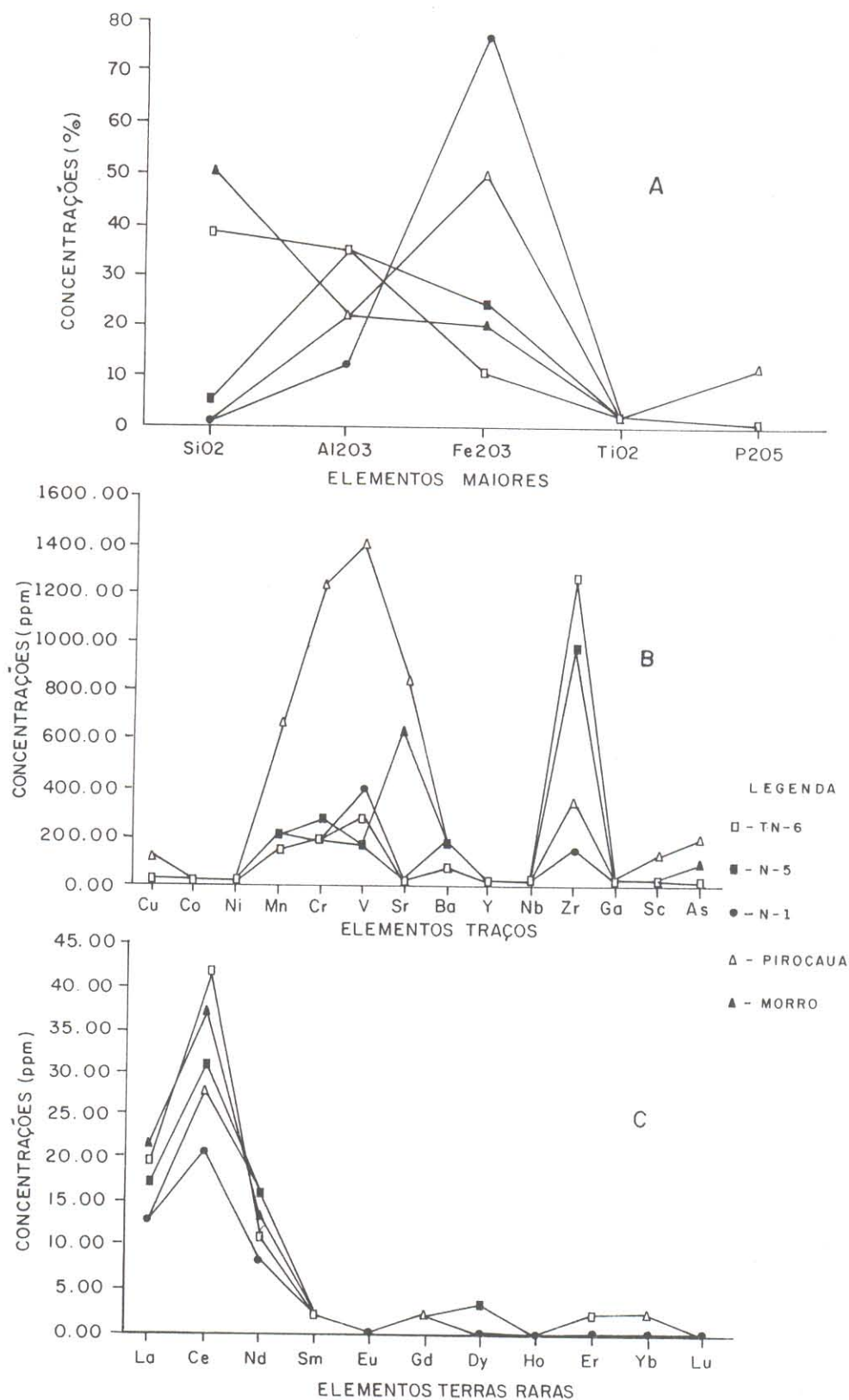
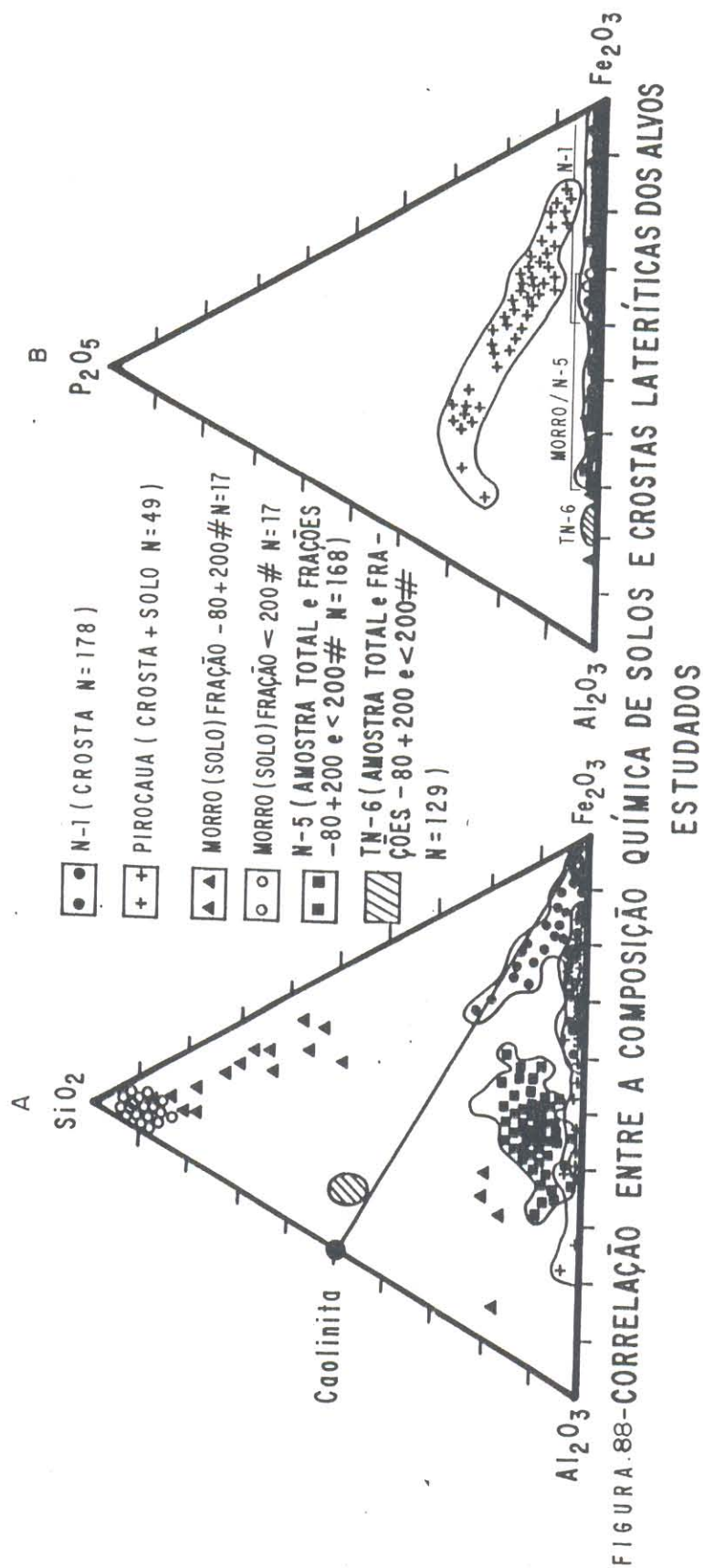


FIGURA. 87- DISTRIBUIÇÃO E INTEGRAÇÃO DOS ELEMENTOS QUÍMICOS NOS ALVOS ESTUDADOS



Em termos de elementos traços(Figura 87 b), crostas e solos divergem principalmente em relação ao Mn,Cr,V,Sr,Ba,Zr,As e Cu, quando a crosta ferruginosa de Pirocaua se apresenta como o conjunto mais divergente, sendo que todos eles(Crostas e solos) se diferenciam nas concentrações absolutas de Zr e As.

Esses elementos em conjunto se prestam muito bem para distinguir os solos entre si e as crostas. Por outro lado, os elementos terras raras (Figura 87 c) não apresentaram variações significativas entre os alvos, encontrando-se em níveis crustais ou mesmo abaixo destes, mesmo na crosta ferruginosa fosfática de Pirocaua. Apenas os ETRL se apresentam mais expressivos, sendo o cério em todos os alvos o mais significativo em abundância.

Outros elementos que mostraram teores divergentes segundo os alvos foram Au e Pt, encontrados em concentrações anômalas de diversas amostras da Serra do Pirocaua e de N-1, ou seja nas crostas. Os arredores da Serra do Pirocaua são áreas sabidamente mineralizadas e garimpadas para ouro.

9.3 - DE ORDEM DAS ASSOCIAÇÕES GEOQUÍMICAS

O tratamento estatístico com base na análise de agrupamentos tendo como variáveis as análises químicas multi-elementar, as determinações mineralógicas e o controle espacial desses dados, permitiu identificar as principais associações geoquímicas e, ao mesmo tempo avaliar a sua distribuição areal em cada alvo, e dessa forma relacioná-las com o mapa geológico e mineralógico dos alvo estudados e, inferir a natureza "petrológica" dos substratos primários dos alvos estudados, quando este não era conhecido, como era o caso de Pirocaua e Morro Adjacente.

A inter-relação entre as associações geoquímicas, a mineralogia e a indicação do substrato dos alvos é apresentado na Tabela 41. Embora, aparentemente, não sejam evidentes as

diferenças entre as associações dos diferentes alvos, pode-se notar que os solos (Morro Adjacente e Tiracambu) tem $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ compondo grande associação com os traços. As crostas apresentam maior contraste, sendo que N-1 praticamente não relaciona o Fe_2O_3 com os demais elementos principais e traços, estando eles organizados segundo $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$.

Em Pirocaua Fe_2O_3 e $\text{P}_2\text{O}_5\text{-Al}_2\text{O}_3$ constituem duas associações bem distintas. Em N-1 o mapa de distribuição das associações com as respectivas áreas anômalas dos elementos componentes individualizaram os diferentes tipos de crostas mapeadas através dos contrastes texturais, e ao mesmo tempo permitiram avaliar a natureza mais aluminossilicatada ou não dos seus substratos (rocha-mãe). Em Pirocaua a aplicação desses dados foi ainda mais proeminente, permitindo inferir áreas de influência máfica-ultramáfica com manifestações hidrotermais na forma de zonas alongadas constituídas possivelmente de quartzo -turmalina (dravita)-ouro.

9.4 - AVALIAÇÕES FINAIS

Os estudos aqui realizados mostram que na investigação de terrenos lateríticos além da avaliação dos aspectos texturais e mineralógicos, faz-se necessário aqueles de ordem geoquímica multi-elementar. O tratamento segundo as frações granulométricas, tendo em vista os avanços dos métodos analíticos, não produz resultados satisfatórios para a prospecção geoquímica em termos gerais, devendo ficar restrito às fases de follow-up e de avaliação. O uso da amostra total foi plenamente satisfatório dentro da escala desse trabalho e os contrastes entre esta e as frações foram pouco significativas.

Os dados mineralógicos e geoquímicos, a base de análises multi-elementar e os elementos químicos selecionados para este estudo se mostraram valiosos no sentido de identificar

contrastes geológicos e mesmo a natureza petrológica do substrato, e, conseqüentemente, a sua natureza metalogenética inibida pelos solos e crostas lateríticas sobrepostos.

Tabela 41 - PRINCIPAIS ASSOCIAÇÕES GEOQUÍMICAS E SUAS RELAÇÕES COM A MINERALOGIA E A ROCHA SUBJACENTE.

ALVO S	ASSOCIAÇÃO GEOQUÍMICAS	MINERAIS PRINCIPAIS	ROCHA MÃE
Serra do Tiracambu (TN-6)			
	SiO ₂ -Al ₂ O ₃ -TiO ₂ -Y-Nb-Sr-Ga-(Mn)-Zr	caulinita- anatásio	rochas sedimentares (Fm. ITAPECURU)
	Fe ₂ O ₃ -TiO ₂ -Cu-Cr-Ba-V-Sc-Ni	Al-goethita	
Serra dos Carajás			
N-5	Al ₂ O ₃ -TiO ₂ -Fe ₂ O ₃ -Zr-Mn-Ba-V-Cr-Sc-	gibbsita-anatásio	rochas básicas
N-1	Al ₂ O ₃ -Fe ₂ O ₃ -TiO ₂ -Cr-V-Sr-Nb-Zr-Ga-Sc-As	hematita, goethita anatásio	Formações Ferríferas
Aurizona :			
Serra do Pirocaua			
	SiO ₂ -Y-Zr-ETRP Fe ₂ O ₃ -(P ₂ O ₅)-Cu-Ni-Cr-Ga-Sc-As P ₂ O ₅ -Al ₂ O ₃ -Fe ₂ O ₃ -Sr-(Ba)	quartzo, zircão goethita-hematita fosfatos de alumínio	Rochas máficas ultramáficas
Morro Adjacente			
	SiO ₂ -TiO ₂ -Y-Zr-ETRP Al ₂ O ₃ -P ₂ O ₅ -Sr-Zr-Ba-(Nb)-> Ga-La-Nd	anatásio fosfatos de alumínio	rochas sedimentares
	Fe ₂ O ₃ -(P ₂ O ₅)-Cu-Ni-Cr-Sc-As	goethita-hematita	

- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS -

- AHRENS, L.H. 1957. The lognormal distribution of the elements - a fundamental law of geochemistry. **Geoch. Cosmoch. Acta**, 11(4) : 205-212
- ALEVA 1981. Essential differences between the bauxite deposits along the southern and northern edges of the Guiana Shield, South America, **Econ. Geology** 76 : 1142-1152.
- ALVES, C.A. da S. 1988. Depósito de Bauxita no Platô - N5. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 25, Belém, Outubro, **Anexo aos Anais**-Belém SBG p. 123-129.
- AMAZÔNIA MINERAÇÃO S.A. 1977. **Projeto Azul - Relatório Final de Pesquisa** Belém 5v.
- ANGELICA, R.S. 1991. **Dispersão mineralógica e geoquímica em crostas e solos lateríticos aplicada à caracterização do substrato do Complexo de Maicuru, Pará**. Belém, Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências 168 p. Tese (Mestrado em Geoquímica) Curso de Pós Graduação em Geoquímica, Centro de Geociências, UFPA, 1991
- ANGELICA, R.S. & COSTA, M.L. 1991. Associações Geoquímicas nos lateritos superficiais do Complexo de Maicuru, Estado do Pará. **Geochim. Brasil.**, 5(1/2):101-115.
- APPAVADHANULU, K. & RAMAN, P.K. 1979. Exploration of lateritic mineral Deposits. In: Lateritization Process. Trivandun 1979 p. 318-326.
- APPEAL, P.W.V. 1987. Geochemistry of the early archean Issua iron formation, west Creeland. In: APPEAL, P.W.V. & LABERGE, G.L. ed. **Pré cambrian Iron Formation**. Athens, Theophastrus, p. 31-67.
- ARAUJO, O. J. B. & MAIA, R. G. N. 1991. **Programa Levantamentos Geológicos básicos do Brasil, Programa Grande Carajás, Serra dos Carajás. Folha SB.22-Z-A. CPRM/DNPM**
- ASSAD, R. & BEISIEGEL, W.R. 1978. Depósito de Bauxita na Serra dos Carajás, In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30, Recife, 1978. **Anais...** Recife, SBG. Vol. 4, p. 1385-1391.
- BALASHOV, Y.A. & TUGARINOV, A.I. 1976. Abundance of rare-earth elements in the Earth's crust: evidence for origin of granites and recent sedimentary rocks. **Chemical Journal** (9) .103-105.
- BARDOSSY, G.Y. 1982. A Comparison of the main lateritic bauxite regions of our globe. In: INTERN. SEMINAR ON LATERIZATION PROCESSES, 2., São Paulo, 1982. **Proceeding** São Paulo, IGA-USP p. 15-51.
- BEISIEGEL, V. DE R. et al. 1973. Geologia e recursos minerais da serra dos Carajás. **Rev. Bras. Geoc.** 3(4) .215-242.

- BHASKARA RAO,A. 1985. Lateritised Gravel Bed : A new guide horizon for lateritic gold, In: INTERNATIONAL SEMINAR ON LATERITE PROCESS,2., october 14-17, Tokyo, Japan pp.111-116.
- BHASKARA RAO,A. 1987. Guide horizons for lateritic Gold ; **Chemical Geology**, Vol. 60,p.257-262.
- BHASKARA RAO,;BARROS,J.G.C.; ADUSUMILLI,M.S.1983. Lateritic Gold Project. In: MELFI,A.J & CARVALHO eds. **Laterisation Processes**, São Paulo USP p.159-176.
- BHASKARA RAO,A.;BORGES,M.R.; ADUSUMILLI,M.S. 1988. **Laterised Colluvion :Guide horizon for lateritic gold in Tropical Rain Forest Regions** - Bicentenarial GOLD"88. Melbourne,Ext.Abst. p.575-579.
- BLOT,A.;LEPRUN,J.C ; PION,J.C. 1978. Corrélation géochimiques entre les Cuirasses ferrugineuses et les roches du socle cristallin au Sénégal et Haute-Volta. **Lilhodépendance ethéritage géochimique.C.R.Acad. Sc. Fr.,Sér D**, 286 : 1331-1334.
- BONNOT-COURTOIS,C.& FLICOTEAUX,R. 1989. Distribution of rare-earth and some trace elements in Tertiary phosphates from the Senegal Basin and their weathering products- **Chem. Geol**,75:311-328
- BOULANGE,B.;CARVALHO,A.;MELFI. 1990. Geochemical characteristics of African and Brazilian Bauxites Deposits :SiO₂ - Al₂O₃ - Fe₂O₃ system and Ti,Cr,V and Fe₂O₃ relations - Geochemistry of the Earths"s surface and of mineral formation. In:. INTERNATIONAL SYMPOSIUM,2., Aix en Provence,1990.
- BOWLES,F.W.J. 1986. The Development of Platinum-Group Minerals in Laterites, **Econ. Geology**,. 81:.1278-1285.
- BRADSHAW,P.M.D. 1975. Conceptual models in exploration geochemistry - The Canadian Cordilhera and Canadian Shield - **Journal of Geochem. Explor**,. 4 : 1-213.
- BRAUN,J.J.;PAGEL,M.;MULLER,J.P.;BILONG,P.;MICHARD,A.;GOILLET,B.; 1980.Cerium anomalies in lateritic profiles.**Geoch.Cosmohc. Acta**,54:781-795.
- BUTT, C.R.M. 1987. A Basis for geochemical Exploration models for tropical Terrain, **Chemical Geology**,30 : 5-16.
- BUTT,C.R.M. & SMITH,R.E.1980 . Conceptual models in exploration geochemistry - Australia, **J. Geochem. Explor**,. 12 : 89-365.
- BUTT,C.R.M.& ZEEGERS,H.1989.Classification of geochemical exploration models for tropically weathered terrain.**J.Geochem. Explo.**, 32:65-74.

- CARVALHO, G.I.; PACHECO, S.S.; GOEL, P.D. 1988. Comportamento Geoquímico de elementos traços nas Lateritas ferruginosas de Sento Sé, Estado da Bahia, In: CONG. BRAS. DE GEOLOGIA, 35 Belém, 1988. **Anais**. Belém, SBG v. 4, p.1878.
- CHAUVEL, A.; BOULET, R.; JOIN, P.; BOCQUIN G. 1983. Aluminium and iron oxihydroxides segregation in nodules of letosols developed on a Tertiary Sediments (Barreira Group), near Manaus, Amazon Basin. Brasil In: INTERNATIONAL SEMINAR ON LATERITIZATION PROCESS, 2., São Paulo, 1983. p. 508-526.
- COLIN, F.; LECOMTE, P.; BOULANGE, B. 1989. Dissolution feature of gold particles in a lateritic profile at Dando Mabi, Gabon. **Geoderma**, 45 : 241-250.
- COMPANHIA VALE RIO DOCE. 1987 - **Relatório de Pesquisa do Distrito Bauxítico da Serra do Tiracambu**.
- COSTA, J.L. et al. 1977. Projeto Gurupi\ Relatório final de etapa. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Belém. Convênio DNPM/CPRM. V.1
- COSTA, M.L. 1984. A dinâmica de formação de lateritas : o exemplo do NE do Pará e do NW do Maranhão .In CONG. BRAS. DE GEOLOGIA , 33., Rio de Janeiro, 1984, **Anais**. Rio de Janeiro, SBG, v.10 p.1234-1238.
- COSTA, M.L. 1989. **Geologia, Mineralogia, Geoquímica, Gênese e Depósitos de Lateritos**. Belém, CPGC/C.G./UFPA- Texto Básico para a disciplina da pós-graduação.
- COSTA, M.L. 1990a. Lateritos e Lateritização. In: CONG. BRAS. GEOL., 36, Natal, 1990 **Anais**... Natal, SBG v.1, p 404-424
- COSTA, M.L. 1990b . Potencial metalogenético dos lateritos da Amazônia In: CONG. BRAS. GEOLOGIA, 36; Natal, **Anais**.... Natal SBG v.3 p.1371-1385
- COSTA, M.L. & ARAUJO, E.S. 1990. Projeto Lateritinga: um estudo geoquímico orientativo para os lateritos da Amazônia. In: CONG. BRAS. GEOLOGIA, 36., Natal, 1990. **Anais** .Natal, SBG v.2, p.837-854.
- COSTA, M.L. & SA, J.H.S. 1980. Os fosfatos Lateríticos da Amazônia Oriental: Geologia, Mineralogia, Geoquímica e Correlação com as Bauxitas da Amazônia. In: **Anais** do XXXI Congresso Brasileiro de Geologia, Santa Catarina. V.3. p.1459-1472.
- COSTA, M.L., ANGELICA, R.S.; ARAUJO, E.S.; HORBE, A.M.C. 1991a. Abundância e fracionamento dos elementos Terras Raras em Lateritos Maduros (Crosta ferro-aluminosas e aluminosas) da Amazônia In : CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 3., SBGq São Paulo. 1991 p.651-653.

- COSTA, M.L.; BESSLER, K.E.; SIQUEIRA, N.V.M. 1987. Fosfatos aluminosos brasileiros como fonte alternativa de estrôncio, **Ciência e Cultura** 39 (12) : 1116 - 1120.
- COSTA, M.L.; COSTA, W.A.M.; SCHWAB, R.G. 1980. Mineralogia das ocorrências de Fosfatos lateríticos do Pará e Maranhão (BRASIL). In : CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31 Santa Catarina, 1980. SBG V.4 p.1982-1996.
- COSTA, M.L. et al. 1991b. Outeiro e Mosqueiro: Exemplos de evolução laterítica imatura In: Simp. Geol. Amaz., 3., Belém, 1991 **Anais** p.479-486
- COSTA M.L. et al. 1992. **Bauxites from the Carajas Mineral Province**
- DAVIES, T.C., FRIEDRICH ; WIECHOWI, A. 1989. Geochemistry and mineralogy of laterites in the Sula Mountains greenstone belt Lake Sonfongold district, Sierra Leone, **J. Geochem. Explor.**, 32 : 75-98.
- DAVY, R. & EL-ANSARY, M. 1986. Geochemical patterns in the laterite profile of the Boddington Gold Deposit, Western Australia. **J. Geochem. Explor.**, 26: (119-144.
- DENNEN, W.H. & NORTON, H.A. 1977. Geology and geochemistry of bauxite deposits in the lower Amazon Basin. **Econ. Geol.** 77 : 82-89
- DOCEGEO-AM. 1988. Revisão estratigráfica da província mineral de Carajás. In: CONG. BRAS. DE GEOL, 35., Belém, 1988 **Anexo dos Anais....** Belém, SBG. p.11-54.
- EVANS, D.L.C. 1981. Laterisation as a possible contributor to gold placers. **Eng. Mining Journal**, 182 (8) : 86-91.
- EVENSEN, N.M.; HAMILTON, P.J.; O'NIONS, R.K. 1978. Rare-earth abundances in chondritic meteorites. **Geoch. et Cosmoch Acta**, 42 : 1199 - 1212.
- FAIRBRIDGE, E.R.W. 1972. **The Encyclopedia of Geochemistry and Environmental Science**. Van Nostrand Reinhold.
- FLICOTEAUX, R.; NAHON, D.; PAQUET, H. 1977. Genese des phosphates alumineux ... partir des sédiments argilo-phosphatés du Tertiaire de Lam-Lam (Sénégal): Suite minéralogie; permanences et changements de structures. **Sci. Géol. Bull.**, 30: 153-174.
- FORMOSO, M.L.L.; MELFI, A.J.; KRONBERG, B.I. 1986 - Comportamento dos elementos terras raras no intemperismo tropical In: FORMOSO, M.L.L.; NARDY, L.V.S.; HARTMAN, L.A eds. **Geoquímica dos elementos terras raras no Brasil.**; CPRM; DNPM: SBGq p. 109-120.
- FREYSSINET, H.; ZEEGERS; TARDY, Y. 1989. Morphology and geochemistry of gold grains in lateritic profiles of southern Mali - **J. Geochem. Explor.**, 32 : 17-31.

- FRIEDRICH, G.; BRUNEMANN, H.G.; THIJSSSEN, T.; WALLNER, P. 1980. Chromite in lateritic soil as potencial ore reserves in the Philippines. **Erzmetall**, 33:414-420.
- FRIEDRICH, G.; WALNER, P.; KATER, G.; BRUNEMANN, H.G. 1983. Concealed cromite orebodies indicated by the distribution patterns and chemical composition of chrome -spinel in the overlying residual lateritic soil, Eastern Visayas, Philippines. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON LATERITIZATION PROCESS, 2., São Paulo, 1988. p.177-184.
- FRIEDRICH, G.H.V.; NAHON, D.; SMITH, R.E. (CO-CHAIRMEN) 1989. Workshop 4 :Geochemical exploration in lateritic environments - **J. Geochem. Explor.**, 32:485-491.
- FROES DE ABREU, S. 1937. Notas sobre os phosphatos de Trauhira (Bauxitas e lateritas phosphorosa). : **Serv. Fom. Prod. Min. Bull.** 69 : 1567-1568.
- FRYER, B.J. 1977. Rare earth evidence in iron formation for changing Pré-cambrian oxidation states. **Geoch. Cosmoch. Acta**. 41(3):361-368.
- FRYER, B.J. 1983. Rare earth elements in iron formation. In: TRENDALL, A.F. & MORAIS, R.C. ed. **Iron Formation Facts and Problems**. Amsterdam, Elsevier p.345-358.
- GIBBS, A.K.; WIRTH, K.R.; HIRATA, W.K.; OLSEWSKI Jr, W.J. 1986. Age and composition of the Grão Para Group volcanic, serra dos Carajás. **Rev. Bras. Geoc.**, 16 (2):201-11.
- GLEESON, C.F. & POULIN, R. 1989. Gold exploration in Niger using soils and termitaria, **J. Geochem. Explo.** 31:253-283.
- GONÇALVES, J.H. 1992. Utilitários para tratamentos em Petroquímica - SPETRO V-5.1 e AMBGeo V-1.0. In: CONG. BRAS. DE GEOLOGIA, 30., São Paulo, 1992. **Anais..** São Paulo, SBG.v.2 p.209.
- GRAFF, J.L. 1977. Rare earth elements, iron formation and sea water. **Geochim. Cosmoch. Acta**, 42(12):1845-1880.
- GRUBB, P.L.C. 1979. Genesis of bauxite deposits in the Lower Amazon basin and Guianas costal plain. **Econ. Geology**, 74(4):735-750.
- HERBILLON, A.J. & NAHON D. 1988. Laterites and laterization process. In: STUKI, J.W.; GOODMAN A.B.; SCHWERTMANN, V eds Dordrecht. p. 779-797.
- HIERONYMUS, B.; BOULEGUE, J.; KOTSCHOUBEY, B. 1990. Gallium behaviour in some intertropical environment alteration.. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM, 2-8 Provence, 1990. **Geochemistry of the earth's surface and mineral formation, Provence.** p.227.

- HORBE, A.M.C. & da COSTA, M.L. 1993. Evolução Mineralógica e Geoquímica do perfil de solo derivado de crostas lateríticas (N-5, Carajás) In: CONGRESSO BRAS. DE GEOQUÍMICA , 4., Brasília, 1993. **Ext. Abstract**. SBGq. p.193-194.
- KAURANE, L.K. editor. 1976. Conceptal Models in Exploration Geochemistry-Norden. **J. Geochem. Explo.**, 5:175-420.
- KELLOG, C.E. 1949. Preliminary suggestions for the classification and nomenclature of great soil group in the tropical and equatorial regions. **Teehc. Comann. Commonw. Bur. Soil Sci.** 46 : pp.76-85 ; Harpenden.
- KOTSCHOUBEY, B & LEMOS, V.P. 1985. Consideração sobre a origem e gênese das bauxitas da Serra dos Carajás. In : SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA , 2., Belém, 1985. **Anais...** Belém, - SBG - Núcleo Norte - v.3 - p.48-61.
- KOTSCHOUBEY, B. & TRUCKENBRODT, W. 1981. Evolução paligenética das bauxitas do distrito de Paragominas - Açailândia (Estado do Pará - Maranhão). **Rev. Bras. Geoc.** 11(3):193-202.
- KOTSCHOUBEY, B.; TRUCKENBRODT, W.; HYERONYMUS, B.; ALVES, C.A. 1989. Preliminary study of aluminous laterites and bauxites from the Serra Norte (Carajás Mineral Province) Northern Brazil. In: INST. CONG. OF ISSOBA, 6 Poços de Caldas, 1989. **Travaux...** Zagreb, p.95-203.
- KRONBERG, B.I. & MELFI, A.J. 1987. The geochemical evolution of lateritic terranes, Z. Geomorph. N.F., Suppl.. - Bd.64 p.25-32 - Stuttgart - Berlin.
- KRONBERG, B.I.; FYFE, W.S.; LEONARDOS Jr., O.H.. SANTOS, A.M. 1979. The chemistry of some Brazilian soils : elements mobility during intense weathering. **Chem. Geol.**, 24 : 211-229.
- LANDIN, P.M.B. 1976. Aplicação da análise de agrupamento (cluster analysis) em Bioestratigrafia. In: CONG. BRAS. GEOL. 29., Ouro Preto. **Anais...** Ouro Preto, SBG, 2, p.81-86.
- LEMOS, V.P. 1991. Evolução mineralógica e geoquímica de Lateritos sobre rochas do complexo de Maicuru-Pará. Belém, Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências. 284 p. 284 Tese (Doutorado em Geoquímica) Curso de Pós Graduação em Geoquímica , Centro de Geociências, UFPA, 1991.
- LEMOS, V.P. & VILLAS, R.N.N.; 1983. Alteração supergênica das rochas básicas do Grupo Grão Pará - Implicações sobre a gênese do depósito de bauxita do N-5, Serra dos Carajás, **Rev. Bras. Geoc.** 13(3) :165-177.
- LEPRUN, J.C. 1979. Les cuirasses ferrugineuses des pays cristallins de l'Afrique Occidentale seche - Genese Transformations-Degradation., Strasburg. 224 p (Sci. Geol. Mem., 58)

- LEPRUN, J.C. 1981. Some principal feature of iron crust in dry western Africa. Proc. In: INTERNATIONAL SEMINAR IN LATERITIZATION PROCESSES, 1., Trivandrun, 1981, Oxford and IPH Publishing Co. Delhi - Bombay- Calcuta. p.144-153.
- LOTTERMOSER, B.G. 1990. -Rare-earth element mineralisation within the Mt. Weld carbonatite laterite, Western Australia. **Lithos**, 24, 151-167.
- LOVERING, T.G. & MCCARTHY, J.H. 1978. Conceptual models in exploration geochemistry -The basin and Range Province of the western United States and northern Mexico. **J. Geochem. Explor.**, 9: 113-276.
- MARSH, S.J. 1991. REE fractionation and Ce anomalies in weathered Karoo dolerite. **Chemical Geology**, 90, 189-194.
- MATHEIS, G. 1983. Geochemical Bedrock Reflection in Lateritic covers -Case histories from Nigeria-west Africa, In: INTERNATIONAL SEMINAR ON LATERITIZATION PROCESS, 2., São Paulo, 1983. p.309-316.
- MAZZUCHELLI, R.H. & JAMES, C.H. 1966. Arsenic as a guide to gold mineralization in laterite covered areas of western Australia. **Trans. Inst. Min. Metdee**; 75 : B286 - B296.
- MEIRELES, E.M. et al. 1984. Geologia das folhas Carajás e Rio Verde, provincia mineral dos Carajás, estado do Pará. In: CONG. BRAS.GEOLOGIA, 33 Rio de Janeiro, 1984. **Anais** ...Rio de Janeiro, SBG v.5, p.2164-2174.
- MELFI, A.J. & CARVALHO, A. 1984. Bauxitization of alkaline rocks in southern Brazil. In: D.NAHON & Y.NOACK (eds). **Petrologie des âlterations et des soil. III: Pedologie, Petrologie appliqué aux substances utiles.** Sci.Géol.Mém., 73, p.161-173.
- MELFI, A.J.; TRESCASES, J.J.; CARVALHO, A.; BARROS DE OLIVEIRA, S.; RIBEIRO, E.; FORMOSO, M.L.L. 1988. **The Lateritic ore Deposits of Brazil** - Sci.Geol., Strasbourg. Bull, 41
- MELFI, A.J.; TRESCASES, J.J.; OLIVEIRA, S.M.B.de. 1979. Nickeliferous "Laterites" of Brazil. Proceeding of the INTERNATIONAL SEMINAR ON LATERITIZATION PROCESSES, Trivandun, India, p.170-184.
- MILLIOTI, C.A. & STUMPFL, E.F. 1993. Inclusões, Texturas e distribuição de Minerais do Grupo da Platina em cromititos do Complexo de Niquelândia, Brasil. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE EGP 1., Brasilia, SBG. 1993, p.33-37
- MILNES, A.R.; BOURMAN, R.P.; FITZPATRICK, R.W. 1987. Petrology and Mineralogy of "laterites" in Southern and Eastern Australia and Southern Africa. In: Y.Ogura (guest editor). Proceeding of An INTERNATIONAL SEMINAR ON LATERITE, october 14-17, 1985, Tokyo Japan. **Chem.Geol.**, 60 : 237-250.

- MIRANDA, J. 1940. Bauxita Fosforosa da Serra do Pirocaua, Maranhão. Rio de Janeiro, DNPM/DGM. 14p
- MULLER, J.P. & BOCQUIER, G. 1986 - Dissolution of kaolinite and accumulation of iron oxides in lateritic ferruginous nodules: mineralogical and microstructural transformation. *Geoderma*, 37:113-136.
- NAHON, D. 1976. Cuirasse ferrugineuse et encroûtements calcaires au Senegal occidental et en Mauritanie, systèmes évolutifs: géochimie, structures, relais et coexistence. Stransbourg, 232 pp. (Sci. Geol. Mem, 44)
- NAIR, N.G.K.; SANTOS H, M.; MAHADEVAN, R. 1985 . Laterization as a possible contributor to gold placers in Nilambur Valley, southwest India. In : Ogura, Proceeding of An INTERNATIONAL SEMINAR ON LATERITE, Tokyo, Japan, *Chem, Geol.* 60 : 309-315.
- NICHOL, I.; JAMES, L.D.; VIEWING, K.A. 1966. Regional geochemical reconnaissance in Sierra Leone, *Trans., Inst. Min. Metall.* London. 75 : B146-161.
- OLIVEIRA, N.P. 1977. Fosfatos da Região de Santa Luzia (Nordeste do Estado do Pará). Belém, Universidade Federal do Pará. Núcleo de Ciências Geofísicas e Geológicas. Tese (mestrado em Geoquímica). Curso de Pós Graduação em Geoquímica, Centro de Geociências, UFPA, 1977.
- OLIVEIRA, N.P. & SCHWAB, R.G. 1980. Itacupim: um exemplo da influência do fósforo sobre o desenvolvimento de perfis lateríticos. CONG. BRAS. DE GEOLOGIA, 31., Balneário Camboriú, Sta. Catarina, 1980. *Anais... SBG.* vol. 1 p. 184-196.
- OLIVEIRA, N.P.; DA COSTA, M.L.; SCHWAB, R.G. 1980. Mineralogy and Geochemistry of the Lateritic phosphates in the Eastern Amazon Region. Mineralium Deposita (in press).
- OLIVEIRA, S.M.B. de. 1986. Gênese da bauxita de Lages-SC. *Bol. IGUSP, Ser. cient.*; 6:46-81.
- OLIVEIRA, S.M.B. & SILVA, M.L.M. 1991 - Comportamento das terras raras em bauxitas derivadas da Laterização das rochas básicas, In: CONG. BRAS. GEOL. 36 Natal, 1991. *Anais... SBG.* . 2, p. 912-915.
- OLIVEIRA, S.M.B. DE; BRUNS, R.; LOPES, L.M. 1988. Análise Fatorial Varimax de dados geoquímicos de materiais lateríticos. Aplicações à prospeção geoquímica. CONG. BRAS. GEOL., 35., Belém, 1988. *Anais.* Belém, SBG v. 4 p. 765-1780.
- PARISOT, J.C. 1980. L'alteration météoriques des sills de pegmatites lithinifères de São João Del Rei et de leur encaissant (Minas Gerais - Brasil). Application ... la prospection géochimique de minéralization de columbo-tantalite e cassiterite non affluerant, Cahs. ORSTOM - *Surv. Geol.* V. 11, n. 7. p. 55-73.

- PARISOT, J.C. & MELFI, A.J. 1982. Lateritic alteration of metasedimentary rocks with copper sulfide mineralization in central Brazil, In: INTERNATIONAL SEMINAR ON LATERITIZATION PROCESS, 2, São Paulo, 1983 p.185-195.
- PARISOT, J.C.; SOUBIES, F.; AUDRY, P.; ESPOURTEILLE, F. 1989. Some Implication of lateritic weathering on geochemical prospecting - two Brazilian examples, Journal of Geochemical Exploration, 32: p.133-147.
- POLLIMANN VON H.; WENDA, R.; DA COSTA, M.L. 1987. Senegalit, Al₂O₃/PO₄.H₂O ein seltenes Phosphat mined von Pirocaua und Cansa Perna/NE - Brasilien, Aufschluss 38 p.303-307 4 Abb. Heidelberg.
- RABELO, C.Q. 1945. Bauxita Fosforosa de Pirocaua, Turiaçu, Maranhão. Min. Met. 9 (51) :123-126.
- RESENDE, N.P. & BARBOSA, A.L. DE M. 1972. **Relatório de Pesquisa de Minério de Ferro, Distrito Ferrífero da Serra dos Carajás, Estado do Pará ;Relatório Final de Pesquisa.** Belém, ANZA v.I.
- REYMÃO, M.F.F. & LIMA, W.N. 1982. Caracterização de Hidroxi-fosfatos por Espectroscopia do Infravermelho e Análise Térmica Diferencial. Amostras de Pirocaua (MA) e Jandiá (PA). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA., 32., **Anais...** V.2, p.682-694.
- REYNOLDS, C.D. et al. 1973. The exploration of the Nickel Laterite Deposits in Irian Barat, Indonesia. Proced. Regl.conf. on Geology of S.E. Asia, Bull. Geol. Soc. of Malaysia 6 :309-323
- RIO DOCE GEOLOGIA E MINERAÇÃO. 1983. **Relatório Final de Pesquisa, setor Bauxita - Carajás, Platô" N-5.** Belém - 46p.
- ROESER, H.; SHURMANN, K.; TOBSCHALL, H.J. JORD EVANGELISTA, H. 1993. Paládio no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. In: I ENCONTRO BRASILEIRO DE EGP, 1., Brasília, p.53-55.
- ROQUIM, C.; DANDJINOU, ; FREYSSINET, Ph., PION J.C. 1989. The correlation between geochemical data and SPOT satellite imagery of lateritic terrain in southern Mali, S.E. Jennes et al (ed I) Geoc. Exp. 32 : 149-168.
- ROY, A. 1981. Application of cluster analysis in the interpretation of geochemical data from the Sergipalli lead-zinc area, Sundergerh. Orissa (India), J. Geochem. Explo., 14 (2/3): 245-264.
- SÁ, J.H.S.; BARNES, S.J.; PRICHARD, H.M.; BOWLES, J.F.W. 1993. Platina e Paládio em rochas ricas em ferro do Complexo Rio Jacaré, Bahia, Brasil. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE EGP. 1, Brasília, p.78-79.

- SAKAMOTO, T. & VARGAS, L. P. C. 1956 . **Relatório final sobre os depósitos de bauxitas fosfatadas da ilha de Trauíra, Serra de Pirocaua e Tromai, Mun. Cândido Mendes. Estado do Maranhão** (Simula organizada por C. Pandolfo). Tomo II. Belém, SPVEA. p. 98-114
- SANTOS S. et al. 1974. Geology and Geochemistry of the Nickeliferous Laterite of Nonoc and adjacent Island, Surigao province, Philippines. Special Project series, publication n. 18, Iron & Nickel, Bureau of Mines, Republic of the Philippines.
- SAXBY, J. D. 1969. Metal organic chemistry of the geochemical cycle Rev. Pure. **Appl. Chem.** 19, 131-150.
- SHELLMANN, W. 1979. Considerations on the definition and classification on Laterites. In: INT. SEMINAR LATERITIZATION PROCESSES, 2., 1979. Trivandrum New Delhi-Bombay, Calcuta. p. 1-10
- SHELLMANN, W. 1986. **A new Definiton of laterites.** Geological Survey of India Vol. 120 p. 1-7.
- SCHORIN, H. & PRUDELET, H. 1987. Geochemistry of a ferruginous bauxite profile from Southeast Venezuela, **Chem. Geol.** 64: 127-142.
- SCHULZE, D. G. 1984. The influence of aluminium on iron oides, VIII unit-cell dimensions of Al - substituted goethite and estimation of Al from them. **Clay and Clay minerals** 19, 9-19.
- SCHULZE, D. G. & SCHWERTMANN, V. 1984. The influence of aluminium on iron oxides. X Properties of Al substuted goethite. **Clay minerals**, 19 (521, 559).
- SCHWAB, R. G.; HEROLD, H.; da COSTA, M. L.; de OLIVEIRA, N. P. 1989: The formation of aluminous phosphates through lateritic weathering vol. II, Products and deposits, _Theophastrus pub. Alhen, 369 - 386.
- SHERMAN, G. D. 1952. The genesis and morphology of alumina-rich laterite clays.: "Problems of clay and laterite genesis " **Am. Inst. Mining Eng.**, P. 154-161.
- SIGOLO, J. B.; BOULANG, B.; MULLER, J. P.; SCNITT, J. M. 1987. Distribuição de elementos terras raras em um perfil de bauxita laterítica sobre rocha alcalina- Maciço de Passa Quatro - MG - CONG. BRAS. GEOQUÍMICA. 1., Porto Alegre, **Anais...** Porto Alegre, p. 71-81
- SILVA, J. L. da. 1988. Mina de managanês do Azul. In : CONG. BRAS . GEOLOGIA, 35, Belém, 1988. **Província Mineral de Carajás, Litoestratigrafia e princiipais depósitos minerais; anexo aos anais**, Belém, SBG, p. 73-94.

- SIQUEIRA, N.V.M. 1982. **O Padrão de Distribuição de Elementos Principais e Traços nas Lateritas Fosfatadas da Chapada de Pirocaua (MA)**. Belém, Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências 200 p. Curso de Pós Graduação em Geoquímica, Centro de Geociências, UFPA, 1982.
- SMITH, R.E. 1987. Currents Research at CSIRO Australia on Multielement laterite Geochemistry for detecting concealed mineral deposits - In: Y.Ogura (guest-editor): Chemical Geology, 60 (1987). 205-211, proceeding of An International Seminar on Laterite, october 14-17, 1985 - Tokyo, Japan.
- SMITH, R.E. 1989. Workshop 4. Geochemical exploration in lateritic enviroments. **J. Geochem. Explo.**, 32:485-491.
- SMITH, R.E. & PEDRIX, J.L. 1985 . Pisolit Lateritic Geochemistry in Golden Grove massive sulphide district, Western Australia. **J. Geochem. Explo.** (18 : 131-164).
- SMITH, R.E.; ZEEGERS, H.; OLIVEIRA, S.M.B. 1991. Workshop report. Geochemistry of precious metals in laterite. **J. Geochem. Explo.**, 41:233-244.
- SOBREIRO NETO, A.P. & CAMPOS, H. C.N.S. 1980. Análise de agrupamento. Um método auxiliar na caracterização de aquíferos. In : CONG. BRAS. DE GEOLOGIA, 31., Camboriu, 1980. **Anais...** Camburiu, SBG vol.2 pp.1041-1055.
- SOMBROEK, W.G. & CAMARGO, M.N. 1983. Grondwater laterite and ironstone solis in Brazil, with example from the Amazon region. In: MELFI, A.J. & CARVALHO, A. (Eds). **Lateritization Process**, São Paulo, 1982 IAG/USP p.541-552.
- STEINBERG, M. & COURTOIS, C. 1976. O comportamento dos ETR nas crostas de alteração e sua consequência. **Bull. Soc. Geol. France**, 1, 13-20.
- TARDY, Y. 1991 - **Diversity and terminology of lateritic profiles in Weathering soils & paleosols** (Editors MARTINI I. P. and CHESWORTHW. CCp. 15 pp. 379-405.
- TARDY, Y. & NAHON D, 1985, Geochemistry of laterites, stability of Al-goelhite, Ai-hematite and Fe-kaolinite in bauxites and ferricretes: an aproach to the mechanism of concretion formation **Ans. J. Sci.** 285: 865-903.
- TAUFEN, P.M. & MARCHETTO, C.M.L. 1989. Tropical weathering control of Ni, Cu, Co, and platinun group elements distributions at the O"Tooole Ni-Cu sulphide deposit, Minas Gerais, Brazil. **J. of Geochem. Exploration**, 32 : 185-197.
- TAYLOR, S.R. 1964. Abundance of Chemical elements in the continental crust : a new table. **Geochem. Cosmochem. Acta** 28, 1273-1284.

- TOLBERT, G.E., TREEMANE, J.W.; MELCHER, G.C. & GOMES, C.B. 1971. The recently discovered Serra dos Carajás iron deposits, northern Brazil. Econ. Geol., v.66: 985-994
- TRESCASSES, J.J. & OLIVEIRA, S.M.B.DE. 1978. Alteração dos serpentinitos do Morro do Níquel (MG). In CONG. BRAS. GEOLOGIA, 30., Recife, Anais.... Recife, SBG v.4.p.1655-1670.
- TRESCASSES, J.J. and OLIVEIRA, S.M.B.da, .1981. A jazida de Níquel de Barro Alto. In: ATA SIMPÓSIO GEOL. CENTRO-OESTE, 1. Goiânia, p.519 - 538.
- TRESCASSES, J.J.; MELFI, A.J.; OLIVEIRA, S.M.B.DE. 1979. Nickeliferous laterites of Brazil - In: INTERNATIONAL SEMINAR ON LATERITIZATION PROCESS, 1, Trivandrum, 1981, Oxford and IPH Publishing Co., Delhi - Bombay - Calcuta. p.170-184.
- TRUCKENBRODT, W. & KOTSCHUBAY, B. 1981. Argila de Belterra - Cobertura Terciária das Bauxitas Amazônicas, Rev. Bras. Geoc. 11,3 p. 203-208.
- TRUCKENBRODT, W., KOTSCHUBAY, B.; SCHELLEMAN, W. 1991. Composition and origin of the clay cover on North Brazilian laterites. Geologische Rundschau 80/3 ; 591-610.
- VALETON, I. 1972. Bauxites, Amsterdam, Elsevier, 222 p.
- VIEILLARD, P.; TARDY, Y.; NAHON, D. 1979. Stability field of clays and aluminium phosphates: paragenesis in lateritic weathering of argillaceous phosphatic sediments. Am. Mineralogist, 64 : 626-634.
- VILLAS BOAS, J.M. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil, Programa Grande Carajás, Folha Cajuapara (SB.23-V-A). CPRM/DNPM (no prelo)
- WEDEPOHL, K.H. 1969. Handbook of Geochemistry. Springer -Verlag. (supplements have been issued in 1970, 1971 and 1972 in the form of loose-reef volumes).
- WILDEMAN, T.R. & HASKIN, L.A. 1973. Rare earths in Precambrian sediments, Geoch. et Cosmoch. Acta, vol.37 pp.419-438.
- ZEEGERS, H. & LEPRUN, J.C. 1979. Evaluation des concepts et altérologie tropicale et conséquences potentielles pour la prospection géochimique en Afrique occidentale soudano-sahélienne. Bull. B.R.G.M. Section II, 2-3 : 229-239.

ZEEGERS, H.; GONI, J.; WILHEM, E. 1981. Geochemistry of lateritic profiles over a disseminated Cu-Mo mineralisation in Upper Volta (West Africa) - preliminary results, 1981. In: M.K. ROYCHOWDHURY, B.P. RADHAKRIHNA, R. VAIDYANADHAM, P.K. BANERJEE AND K. RANGANATHAIR (editors), Lateritization Process, Balkema, Rotterdam pp. 359-368.