



**CORRELAÇÃO GEO-PEDOLÓGICA EM
SOLOS B TEXTURAIS NA REGIÃO DE
LAVRAS, MG**

MARILUSA PINTO COELHO LACERDA

1999

MARILUSA PINTO COELHO LACERDA

**CORRELAÇÃO GEO-PEDOLÓGICA EM SOLOS B TEXTURAIIS NA
REGIÃO DE LAVRAS, MG**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras,
como parte das exigências do Curso de Doutorado em
Agronomia, área de concentração em Solos e Nutrição
de Plantas, para obtenção do título de "Doutor".

Orientador

Prof. Hécio Andrade

LAVRAS

MINAS GERAIS - BRASIL

1999



**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

Lacerda, Marilusa Pinto Coelho

Correlação geo-pedológica em solos B texturais na Região de Lavras,
MG./Marilusa Pinto Coelho Lacerda. --Lavras : UFLA, 1999.
257P.: il.

Orientador: Hécio Andrade

Tese (Doutorado) - UFLA

Bibliografia.

1. Geo-pedologia. 2. Geoprocessamento. 3. Solo B Textural. 4. Alteração. 5.
Mineralogia. 6. Petrografia. 7. Micromorfologia. 8. Geoquímica. 9. Fluorescência
de Raios-X. 10. Espectroscopia ICP. I. Universidade Federal de Lavras. II.
Título.

CDD-631.4

MARILUSA PINTO COELHO LACERDA

**CORRELAÇÃO GEO-PEDOLÓGICA EM SOLOS B TEXTURAIIS NA
REGIÃO DE LAVRAS, MG**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras
como parte das exigências do Curso de Doutorado em
Agronomia, área de concentração em Solos e Nutrição
de Plantas, para obtenção do título de "Doutor".

APROVADA em 21 de dezembro de 1998

Prof. Joel Jean Gabriel Quéméneur	UFMG
Prof. José Marques Correia Neves	UFMG
Prof. Essaïd Bilal	ENSE ¹
Prof. Carlos Ernesto Reynaud Schaefer	UFV
Prof. José Maria Lima	UFLA



Prof. Hélcio Andrade
UFLA
(Orientador)

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL

¹ ENSE - École Nationale Supérieure des Mines de Saint Étienne, França.

Rocha que gera solo

Solo que gera vida

Uma semente plantar

Uma árvore nascerá

Alimentos dará

E a vida resplandecerá

Vinicius Lacerda Ribeiro

Para Adilson e Vinícius

Dedico

AGRADECIMENTOS

Os agradecimentos relativos à execução desta tese, estendem-se a todas as pessoas e instituições que participaram direta ou indiretamente na realização das diversas etapas que culminaram na elaboração deste trabalho.

Agradecimentos à Universidade Federal de Lavras - Departamento de Ciência do Solo pela oportunidade concedida. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais - FAPEMIG pelo apoio financeiro.

Ao orientador Prof. Dr. Hécio Andrade fica meus sinceros agradecimentos pela motivação constante durante o trabalho, assim como ao co-orientador Prof. Dr. Joel Jean Gabriel Quéméneur, não só pela colaboração científica, mas também pela cessão de dados, acompanhamento em campanhas de campo e viabilização da realização das análises químicas no Centro de Pesquisa Manoel Teixeira da Costa - IGC-UFMG, sem as quais a realização deste trabalho não seria possível. Aos demais membros do comitê de orientação, Prof. Dr. José Marques Correia Neves e Prof. Dr. Essaïd Bilal, registro meus agradecimentos pela colaboração e estímulo.

Do Departamento de Ciência do Solo extendo meus agradecimentos a todos os professores e funcionários, particularmente os laboratoristas pela atenção e auxílio sempre dispensados.

Do Departamento de Solos - UFV, agradecimentos ao Prof. Carlos Ernesto Reynaud Schaefer pela colaboração científica e realização de análises de Fluorescência de Raios-X qualitativa e ao Prof. João Carlos Ker, pela realização de análises de Difração de Raios-X.

Agradecimentos sinceros às colegas Helena Maria Ramos Alves e Maria Inês Nogueira Alvarenga pela motivação constante e colaboração científica durante a realização deste trabalho.

Aos bolsistas de iniciação científica do Laboratório de Geoprocessamento EPAMIG/UFLA, Dimas Renato Esteves, Eduardo R. Rosa, João Paulo K. Brasil, Hudson Sousa Marques e Gustavo Motta de Souza, meus agradecimentos pela valiosa colaboração.

Aos colegas do curso de Pós-graduação, agradecimentos pelo coleguismo nas diversas tarefas realizadas. Aos colegas Ricardo José Tavares Pereira de Resende, agradecimentos pela colaboração nas campanhas de campo e Marcos Aurélio Carolino de Sá no auxílio nas análises de Difração de Raios-X.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABELAS	iii
LISTA DE MICROFOTOGRAFIAS	vi
LISTA DE FOTOS	ix
RESUMO	x
ABSTRACT	xii
CAPÍTULO 1	1
1 Introdução Geral	1
2 Referencial Teórico	4
3 Caracterização do Meio Físico	13
3.1 Localização Geográfica e Vias de Acesso	13
3.2 Clima, Vegetação e Geomorfologia	14
3.3 Geologia	17
3.4 Solos	21
4 Referências Bibliográficas	25
CAPÍTULO 2: Correlação Geo-pedológica em Solos B Texturais na Região de Lavras, MG.	36
1 Resumo	36
2 Abstract	37
3 Introdução	38
4 Referencial Teórico	38
5 Material e Métodos	42
5.1 Material	42
5.2 Métodos	43
6 Resultados e Discussão	46

6.1	Correlação entre Classes de Declividade e Classes de Solo	46
6.2	Geologia da Área Estudada	47
6.3	Correlação Geo-pedológica em Solos B Texturais	57
7	Conclusões	64
8	Referências Bibliográficas	64
CAPÍTULO 3: Caracterização Morfológica, Física e Química de Perfis de Solos B Texturais na Região de Lavras, MG.		
1	Resumo	67
2	Abstract	68
3	Introdução	69
4	Referencial Teórico	70
5	Material e Métodos	74
5.1	Material	74
5.2	Métodos	75
5.2.1	Campo	75
5.2.2	Laboratório	77
6	Resultados e Discussão	79
6.1	Caracterização Morfológica	79
6.2	Caracterização Física	92
6.3	Caracterização Química	95
6.3.1	Complexo Sortivo	95
6.3.2	Comportamento de SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 Extraídos pelo Ataque Sulfúrico	98
6.3.3	Comportamento dos óxidos de Fe	104
7	Conclusões	111
8	Referências Bibliográficas	114
CAPÍTULO 4: Mineralogia, Petrografia e Micromorfologia de Perfis de Solos B Texturais na Região de Lavras, MG		
1	Resumo	118

2 Abstract	119
3 Introdução	120
4 Referencial Teórico	121
5 Material e Métodos	124
5.1 Material	124
5.2 Métodos	126
5.2.1 Campo	126
5.2.2 Laboratório	127
6 Resultados e Discussão	129
6.1 - Mineralogia	131
6.1.1 Mineralogia da Fração Argila	131
6.2 Petrografia e Micromorfologia dos Perfis de Alteração	142
6.2.1 Perfil MHL-1 - Podzólico Vermelho-Escuro	142
6.2.2 Perfil MHL-2 - Podzólico Vermelho-Amarelo	152
6.2.3 Perfil MHL-3 - Brunizém Avermelhado	159
6.3 Material de Origem x Evolução dos Perfis de Alteração	174
7 Conclusões	179
8 Referências Bibliográficas	181

CAPÍTULO 5: Geoquímica de Perfis de Solos B Texturais na Região

de Lavras, MG	184
1 Resumo	184
2 Abstract	185
3 Introdução	186
4 Referencial Teórico	187
5 Material e Métodos	199
5.1 Material	199
5.2 Métodos	200
5.2.1 Campo	200
5.2.2 Laboratório	201
6 Resultados e Discussão	203
6.1 Discriminação Petrológica Baseada nos Dados Químicos	205

6.2 Cálculos Volumétricos - Balanço Químico de Massa	209
6.2.1 Teores Absolutos - Perdas e Ganhos ao longo dos Perfis de Alteração	212
6.2.1.1 Elementos Maiores-Óxidos Constituintes	216
6.2.1.2 Elementos Traços	222
6.2.1.3 Elementos das Terras Raras	239
6.3 Comentários sobre Evolução Geoquímica nos Perfis de Alteração	244
7 Conclusões	251
8 Referências Bibliográficas	253

LISTA DE FIGURAS

	Página
CAPÍTULO 1	
FIGURA 1.1 Localização da Área Estudada	15
CAPÍTULO 2	
FIGURA 2.1 Mapa Geológico da Região de Lavras, MG	61
FIGURA 2.2 Mapa de Classes de Declividade da Região de Lavras, MG	62
FIGURA 2.3 Mapa de Classes de Solos, com individualização dos solos B Texturais, da Região de Lavras MG	63
CAPÍTULO 3	
FIGURA 3.1 Localização da Área e Perfis de Alteração Estudados	76
FIGURA 3.2 Diagramas de Distribuição de SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 Extraídos ao Ataque Sulfúrico no Perfis MHL-1, 2 e 3	101
FIGURA 3.3 Diagramas de Distribuição de Fe_a , Fe_o , e Fe_d/Fe_t nos perfis MHL-1, 2 e 3	106
FIGURA 3.4 Diagramas de Distribuição de Fe_2O_3 Extraído no DCB Total na Fração Argila - Fe_a e Corrigido para TFSA - Fe_d (TFSA) para os perfis MHL-1, 2 e 3	107
FIGURA 3.5 Diagramas de Distribuição de Fe_2O_3 Extraído pelo Oxalato de Amônio na Fração Argila Total - Fe_a e Corrigido para TFSA - Fe_o (TFSA) para os Perfis MHL-1, 2 e 3	109
FIGURA 3.6 Diagramas de Distribuição das Relações entre Teores de Fe_2O_3 para os Perfis MHL-1, 2 e 3	110

CAPÍTULO 4

FIGURA 4.1 Difratoogramas de Raios-X da Fração Argila Desferrificada do Perfil MHL-1	134
FIGURA 4.2 Difratoogramas de Raios-X da Fração Argila Desferrificada do Perfil MHL-2	135
FIGURA 4.3 Difratoogramas de Raios-X da Fração Argila Desferrificada do Perfil MHL-3	136
FIGURA 4.4 Difratoogramas de Raios-X da amostra MHL-1B (Perfil MHL-1) com os diversos tratamentos	137
FIGURA 4.5 Difratoogramas de Raios-X da amostra MHL-1C₂ (Perfil MHL-1) com os diversos tratamentos	138
FIGURA 4.6 Difratoogramas de Raios-X da amostra MHL-2BC (Perfil MHL-2) com os diversos tratamentos	139
FIGURA 4.7 Difratoogramas de Raios-X da amostra MHL-3B (Perfil MHL-3) com os diversos tratamentos	140
FIGURA 4.8 Difratoogramas de Raios-X da amostra MHL-3C₃ (Perfil MHL-3) com os diversos tratamentos	141

CAPÍTULO 5

FIGURA 5.1 Diagrama Q-P dos Perfis MHL-1 e 2 (Rocha Fresca de Origem), segundo La Roche (1964) modificado por Debon e Le Fort. (1983)	210
FIGURA 5.2 Diagramas de Discriminação Petroológica para o Perfil MHL-3 (Rocha Fresca de Origem)	210
FIGURA 5.3 Diagramas de Distribuição dos Elementos Maiores em Teores Absolutos em Função da Densidade para o Perfil MHL-1	223
FIGURA 5.4 Diagramas de Distribuição dos Elementos Maiores em	

Teores Absolutos em Função da Densidade para o Perfil MHL-2	224
FIGURA 5.5 Diagramas de Distribuição dos Elementos Maiores em Teores Absolutos em Função da Densidade para o Perfil MHL-3	225
FIGURA 5.6a, b e c Diagramas de Distribuição dos Elementos Traços em Teores Absolutos em Função da Densidade para o Perfil MHL-1	230
FIGURA 5.7a, b e c Diagramas de Distribuição dos Elementos Traços em Teores Absolutos em Função da Densidade para o Perfil MHL-2	233
FIGURA 5.8a, b e c Diagramas de Distribuição dos Elementos Traços em Teores Absolutos em Função da Densidade para o Perfil MHL-3	236
FIGURA 5.9 Diagramas de Distribuição dos Elementos das Terras Raras em Teores Absolutos em Função da Densidade para o Perfil MHL-1	241
FIGURA 5.10 Diagramas de Distribuição dos Elementos das Terras Raras em Teores Absolutos em Função da Densidade para o Perfil MHL-2	242
FIGURA 5.11 Diagramas de Distribuição dos Elementos das Terras Raras em Teores Absolutos em Função da Densidade para o Perfil MHL-3	243

LISTA DE TABELAS

	Página
CAPÍTULO 2	
TABELA 2.1 Correlação entre Classes de Declividade e Classes de Solos da Região de Lavras, MG	45
TABELA 2.2 Composição Química Média (Elementos maiores - %) das Unidades Litoestratigráficas Arqueanas	51
TABELA 2.3 Composição Química Média (Elementos menores - ppm)	

das Unidades Litoestratigráficas Arqueanas	52
TABELA 2.4 Composição Química Média (Elementos maiores - %) dos Maciços Intrusivos e Unidades Litoestratigráficas Transamazônicas	55
TABELA 2.5 Composição Química Média (Elementos menores - ppm) dos Maciços Intrusivos e Unidades Litoestratigráficas Transamazônicas	56
TABELA 2.6 Critério de Correlação entre Material Originário e Classes de Solo B Textural de Acordo com Teor de Fe_2O_3 original	58
TABELA 2.7 Correlação Geo-pedológica da Área Estudada	59
TABELA 2.8 Relações entre Material Originário da Região de Lavras, MG, Subdividido em Classes de Acordo com Conteúdo de Fe_2O_3 Original e Alguns Atributos dos Solos B Texturais	60
 CAPÍTULO 3	
TABELA 3.1 Características Físicas dos Perfis MHL-1, 2 e 3	94
TABELA 3.2 Características Químicas dos Perfis MHL-1, 2 e 3	96
TABELA 3.3 Atividade da Argila no Perfil MHL-3	98
TABELA 3.4 Teores de Óxidos ao Ataque Sulfúrico dos Perfis MHL-1, 2 e 3	100
TABELA 3.5 Teores de Fe Extraídos com DCB e Oxalato de Amônio e Relações	105
 CAPÍTULO 4	
TABELA 4.1 Correspondência entre Amostras e Horizontes do Perfil MHL-1	129
TABELA 4.2 Correspondência entre Amostras e Horizontes do Perfil MHL-2	130
TABELA 4.3 Correspondência entre Amostras e Horizontes do	

Perfil MHL-3	130
CAPÍTULO 5	
TABELA 5.1 Mobilidade de Cátions Comuns em Solos (Loughnan, 1969)	198
TABELA 5.2 Correspondência entre Amostras e Horizontes do Perfil MHL-1	203
TABELA 5.3 Correspondência entre Amostras e Horizontes do Perfil MHL-2	204
TABELA 5.4 Correspondência entre Amostras e Horizontes do Perfil MHL-3	204
TABELA 5.5 Dados Analíticos (FRX e ICP) dos Perfis MHL-1, 2 e 3 - Elementos Maiores/Óxidos Constituintes (% Ponderal)	206
TABELA 5.6 Dados Analíticos (FRX e ICP) dos Perfis MHL-1, 2 e 3 - Elementos Traços (ppm)	207
TABELA 5.7 Dados Analíticos (ICP) dos Perfis MHL-1, 2 e 3 - Elementos das Terras Raras (ppm)	208
TABELA 5.8 Teores absolutos ($g/100cm^3$) dos Elementos Maiores-Óxidos Constituintes - Perfis MHL-1, 2 e 3	213
TABELA 5.9 Teores absolutos ($\mu g/cm^3$) dos Elementos Traços - Perfis MHL-1, 2 e 3	214
TABELA 5.10 Teores absolutos ($\mu g/cm^3$) dos Elementos das Terras Raras - Perfis MHL-1, 2 e 3	215
TABELA 5.11 Balanço Químico (Isovolumétrico) dos Elementos Maiores-Óxidos Constituintes (%) - Perfis MHL-1, 2 e 3	217
TABELA 5.12 Balanço Químico (Isovolumétrico) dos Elementos Traços (%) - Perfis MHL-1, 2 e 3	218

LISTA DE MICROFOTOGRAFIAS

	Página
MICROFOTOGRAFIA 4.1 - PERFIL MHL-1 - AMOSTRA MHL-1R - Fácies rocha fresca. Agregados de anfibólio e plagioclásio em processo de substituição retrógrada, com quartzo intersticial. Feições texturais. (Obj. 6.3x; Oc. 8x, nicóis cruzados).	165
MICROFOTOGRAFIA 4.2 - PERFIL MHL-1 - AMOSTRA MHL-1R ₁ - Fácies rocha alterada. Feições de fraturamento com percolação de óxidos/hidróxidos de ferro e incremento no processo de alteração mineralógica. (Obj. 6.3x; Oc. 8x; nicóis cruzados)	165
MICROFOTOGRAFIA 4.3 - PERFIL MHL-1 - AMOSTRA MHL-1C ₂ - Fácies alterito. Fundo matricial e esqueleto (quartzo e epidoto) com feições texturais litológicas preservadas. (Obj. 6.3x; Oc. 8x; nicóis cruzados).	166
MICROFOTOGRAFIA 4.4 - PERFIL MHL-1 - AMOSTRA MHL-1C ₃ - Fácies alterito. Feições do fundo matricial e esqueleto, com pseudomorfos de anfibólio/biotita. Processos de ferruginização e argilização. (Obj. 6.3x; Oc. 8x, nicóis cruzados).	166
MICROFOTOGRAFIA 4.5 - PERFIL MHL-1 - AMOSTRA MHL-1BC - Fácies de transição. Fundo matricial (caulinita + gibbsita - vermiculita cloritizada) e esqueleto a quartzo, epidoto e mica branca (textura porfírica). (Obj. 6.3x; Oc. 8x, nicóis cruzados).	167

- MICROFOTOGRAFIA 4.6 - PERFIL MHL-1 - AMOSTRA MHL-1B - Fáciesólum - horizonte B₁. Ocorrência de cutans (ferriargilans), evidenciando processo de iluviação. (Obj. 6.3x; Oc. 8x; nicóis cruzados). 167**
- MICROFOTOGRAFIA 4.7 - PERFIL MHL-2 - AMOSTRA MHL-2R - Fácierocha fresca. Agregados de microclina, plagioclásio e quartzo, com biotita intersticial. Processos de substituição no plagioclásio e biotita. (Obj. 6.3x; Oc. 8x, nicóis cruzados). 168**
- MICROFOTOGRAFIA 4.8 - PERFIL MHL-2 - AMOSTRA MHL-2R₁ - Fácierocha alterada. Alteração mineralógica em cristais de plagioclásio (argilização) e biotita (mica branca). (Obj. 6.3x; Oc. 8x; nicóis cruzados). 168**
- MICROFOTOGRAFIA 4.9 - PERFIL MHL-2 - AMOSTRA MHL-2C₁ - Fáciesalterito. Fundo matricial com textura plásmica crística e esqueleto a quartzo e microclina hipidomórfica. Ausência de plagioclásio. (Obj. 6.3x; Oc. 8x, nicóis cruzados). 169**
- MICROFOTOGRAFIA 4.10 - PERFIL MHL-2 - AMOSTRA MHL-2B - Fáciesólum - horizonte B₁. Fundo matricial de estrutura porfírica fechada com esqueleto a quartzo, feldspato potássico e mica branca. (Obj. 6.3x; Oc. 8x; nicóis cruzados). 169**
- MICROFOTOGRAFIA 4.11 - PERFIL MHL-3 - AMOSTRA MHL-3R - Fácierocha fresca. Granoblastos de clinopiroxênio, anfibólio e plagioclásio. Feições texturais. (Obj. 6.3x; Oc. 8x, nicóis cruzados). 170**
- MICROFOTOGRAFIA 4.12 - PERFIL MHL-3 - AMOSTRA MHL-3R - Fácierocha fresca. Granoblastos de clinopiroxênio, anfibólio e plagioclásio. Feições texturais. (Obj. 6.3x; Oc. 8x, nicóis paralelos). 170**
- MICROFOTOGRAFIA 4.13 - PERFIL MHL-3 - AMOSTRA MHL-3R₁ - Fácierocha alterada. Feições de alteração mineralógica (planos de clivagem e**

- microfraturas) em cristais de plagioclásio, clinopiroxênio e anfibólio. (Obj. 6.3x; Oc. 8x; nicóis cruzados). 171
- MICROFOTOGRAFIA 4.14 - PERFIL MHL-3 - AMOSTRA MHL-3C₂ - Fácies alterito. Acréscimo no processo de alteração mineralógica (argilização e ferruginização), com pseudomorfos de minerais *primários*. (Obj. 6.3x; Oc. 8x, nicóis cruzados). 171
- MICROFOTOGRAFIA 4.15 - PERFIL MHL-3 - AMOSTRA MHL-3BC - Fácies de transição. Fundo matricial (talco + esmectita + caulinita + óxidos/hidróxidos de ferro e titânio) com pseudomorfos de clinopiroxênio. (Obj. 6.3x; Oc. 8x; nicóis cruzados). 172
- MICROFOTOGRAFIA 4.16 - PERFIL MHL-3 - AMOSTRA MHL-3BC - Fácies de transição. Fundo matricial (talco + esmectita + caulinita + óxidos/hidróxidos de ferro e titânio) com pseudomorfos de clinopiroxênio. (Obj. 6.3x; Oc. 8x; nicóis paralelos). 172
- MICROFOTOGRAFIA 4.17 - PERFIL MHL-3 - AMOSTRA MHL-3BC - Fácies de transição. Fundo matricial (talco + esmectita + caulinita + óxidos/hidróxidos de ferro e titânio), com ocorrência de ferriargilans de poros. (Obj. 6.3x; Oc. 8x; nicóis cruzados). 173
- MICROFOTOGRAFIA 4.18 - PERFIL MHL-3 - AMOSTRA MHL-3B - Fácies sólum - horizonte B_r. Feições do fundo matricial e ocorrência de cutans (ferriargilans), evidenciando processo de iluviação. (Obj. 6.3x; Oc. 8x; nicóis cruzados). 173

LISTA DE FOTOS

	Página
FOTO 3.1 - PODZÓLICO VERMELHO-ESCURO EUTRÓFICO argila de atividade baixa A moderado textura média/argilosa, formado por intemperização de rocha de composição diorítica - Diorito do Rosário (Perfil MHL-1)	89
FOTO 3.2 - PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO ÁLICO argila de atividade baixa A moderado textura média, formado por intemperização de rocha de composição granítica - Granito de Itutinga (Perfil MHL-2)	90
FOTO 3.3 -BRUNIZÉM AVERMELHADO formado por intemperização de rocha de composição ultrabásica - Piroxenito granulitizado- <i>Greenstone-belt</i> de Lavras (Perfil MHL-3)	91

RESUMO

LACERDA, Marilusa Pinto Coelho. **Correlação geo-pedológica em solos B texturais na região de Lavras, MG.** Lavras: UFLA, 1999. 257 p. (Tese de doutorado em Agronomia - Solos e Nutrição de Plantas)¹

Na região de Lavras, MG, foi realizada uma investigação sobre a correlação entre material originário e classes de solos formados em uma área limitada pelas coordenadas geográficas 21°10'23" e 21°19'22" de latitude sul e 45°04'36" e 44°33'23" de longitude oeste, compreendendo porções das folhas topográficas IBGE Nepomuceno, Carmo da Cachoeira, Lavras, Itumirim, Nazareno e Itutinga. A correlação geo-pedológica foi realizada em solos B texturais de ocorrência regional, selecionados em função do seu estágio de evolução, que permite preservar características das rochas parentais. Tais solos são desenvolvidos na região em relevo ondulado a forte ondulado, originando diferentes classes de solos B texturais diretamente relacionadas ao material de origem. O capítulo 1 apresenta como referencial teórico a revisão da literatura geral e a caracterização do meio físico da área estudada. No capítulo 2, elaborou-se através do SGI/SITIM, o Mapa de classes de solos, com individualização dos solos B texturais, da região de Lavras, MG, através do Mapa geológico, com individualização petrológica/geoquímica dos domínios geológicos e Mapa de classes de declividade da mesma região, juntamente com critérios de correlação geo-pedológica estabelecidos e checados em campanhas de campo. Nas classes de solos mais significativas da região, procedeu-se a estudos de alteração ao longo dos perfis de alteração, visando a estabelecer critérios pedogenéticos associados ao material de origem. Selecionaram-se, então, três perfis de classes de solos B texturais desenvolvidos a partir de materiais geológicos litoquimicamente distintos, ou seja: Podzólico Vermelho-Escuro, originado da alteração de rocha de composição diorítica - Diorito do Rosário; Podzólico Vermelho-Amarelo, formado pela intemperização de rocha de composição granítica - Granito de Itutinga; e Brunizém Avermelhado desenvolvido a partir de rocha básica do *Greenstone-belt* de Lavras. No capítulo 3 realizou-se a caracterização morfológica, física e química desses perfis, observando-se boa correlação com a composição química e mineralógica dos materiais originários. No capítulo 4 realizaram-se, ao longo de cada perfil, análises petrográficas dos fácies rocha fresca e rocha alterada e análises micromorfológicas dos fácies alterito, de transição e sólum, avaliando os processos de alteração, através da evolução das

¹ Comitê orientador: Hécio Andrade - DCS-UFLA (Orientador), Joel Jean Gabriel Quéméneur - IGC-UFMG (Co-orientador), José Marques Correia Neves - IGC-UFMG, Essaïd Bilal - École Nationale des Mines de Saint-Etienne, França.

reações de alteração e feições texturais, com auxílio da difração de raios-X na identificação da mineralogia da fração argila, numa discussão envolvendo material de origem versus processos de alteração pedogenética, possibilitando o estabelecimento da ordem de destruição dos minerais primários. No capítulo 5 realizou-se o estudo geoquímico ao longo de cada perfil, através de análises geoquímicas de elementos maiores, elementos traços e elementos das terras raras (ETR), para análise do comportamento desses elementos durante a alteração pedológica, avaliando-se perdas e ganhos através do balanço químico de massa. As interpretações dos dados geoquímicos nos três perfis estudados revelaram perda moderada de SiO_2 , lixiviação de bases e enriquecimento relativo discreto do Al, Fe e Ti; além do estabelecimento da ordem de perda desses constituintes. Para os elementos traços analisados, apesar da grande mobilidade apresentada, o estudo possibilitou o grupamento desses em classes de acordo com sua mobilidade, caracterizando perdas, enriquecimentos relativos e ganhos ao longo da seqüência de alteração. O comportamento dos ETR revelou grande mobilidade desses elementos ao longo da evolução da alteração.

ABSTRACT

LACERDA, Marilusa Pinto Coelho. **Geo-pedologic correlation of soils with argilic horizons in the region of Lavras in the state of Minas Gerais, Brazil.** Lavras: UFLA, 1999. 257 p. (Doctorate thesis in Agronomy - Soils and Plant Nutrition)¹

The work assessed the correlations between parent material and classes of soils formed in the region of Lavras, state of Minas Gerais in Brazil. The area was limited by the geographic coordinates 21°10'23" and 21°19'22" of latitude south and 45°04'36" and 44°33'23" of longitude west, comprising portions of the IBGE topographic sheets of Nepomuceno, Carmo da Cachoeira, Lavras, Itumirim, Nazareno and Itutinga. The soils with argilic horizons were selected for the correlation because of their state of evolution, they preserve characteristics inherited from the parent rocks. Within the region of Lavras, these soils occur on sloping and hilly landscapes and the different classes formed are directly related to the parent material. Chapter 1 presents the literature review and environmental characterization of the study area. In chapter 2 a GIS (SGI/SITIM) was used to generate the soil map, differentiating the classes of soils with argilic horizons. This was obtained by overlying the geological and slope maps generated for the same region, on the basis of geo-pedogenetic criteria established and checked at several field trips. For the important classes observed, detailed profiles descriptions and studies were carried out, in order to establish the pedogenetic criteria related to the parent material. Three profiles of three different classes of soils with argilic horizons, formed from rocks with different chemical compositions were selected. These were: Dark-Red Podzolic, formed from the alteration of a dioritic rock (Diorito do Rosário); Yellow-Red Podzolic formed from a granitic rock (Granito de Itutinga); and Reddish Brunizem formed from a basic rock of the Greenstone-belt of Lavras. Chapter 3 presents the chemical, physical and morphological characterization of the three profiles selected. The results showed a good correlation with the chemical and mineralogical composition of the parental bedrocks. Chapter 4 presents the results of analyses carried out on all the layers of the profiles, from the consolidated bedrock until the solum (petrographic analyses carried out on the consolidated and weathered bedrocks, micromorphological analyses of C, BC horizons and solum). The objective was the understanding of the the processes of soil formation by the evaluation of weathering reactions and textural features, with the aid of x-ray diffraction analyses to characterize clay mineralogy. Based on the results

¹ Guidance Committee: Hércio Andrade - DCS-UFLA (Major Professor), Joel Jean Gabriel Quémeneur - IGC-UFGM, José Marques Correia Neves - IGC-UFGM, Essaïd Bilal - École Nationale des Mines de Saint-Etienne, France.

obtained, the relationship between parent material and pedogenetic processes was assessed and it allowed the establishment of the order of destruction of primary minerals. Chapter 5 presents the results of geochemical characterization of each profile by geochemical analyses of major elements, trace elements and rare earth elements (REE), to study the behavior of these elements during pedogenesis and evaluate gains and losses through the mass chemical balance. The results showed a moderate loss of SiO_2 , leaching of bases and a slight relative enrichment of Al, Fe and Ti. The leaching order of these elements from the profiles were also established. For the trace elements analyzed, despite their great mobility, it was possible to group them into classes according to this mobility by characterizing losses, relative enrichment and gains throughout the weathering profiles. For the REE the work showed a great mobility.

CAPÍTULO 1

1 - INTRODUÇÃO GERAL

Estudos de gênese e filiação de solos a partir de materiais geológicos perfeitamente mapeados, discriminados e individualizados geoquímica e mineralogicamente, permitem uma correta correlação com classes de solos formados, tornando-se ferramenta ímpar nas atividades de classificação e levantamento pedológico de uma dada área de ocorrência, possibilitando, ainda, informações acerca dos atributos físicos, químicos e mineralógicos dos solos.

Na maioria dos casos, no entanto, o que se observa é que a correlação entre parâmetros de solos e produtos de alteração dos materiais geológicos originais é geralmente genérico, abrangendo grandes grupos de rochas, sem individualização petrológica/litoquímica.

Uma melhor compreensão dessa correlação possibilita a elaboração de modelos preditivos da distribuição das classes de solos em seu ambiente, o que permite maior eficiência aos métodos de levantamento de solos, tanto em termos de tempo gasto como de custos.

Tal fato estimulou a realização de estudos de correlação específicos, através de trabalhos de pesquisa com a individualização de classes de solos formados a partir de materiais geológicos discriminados segundo classificações geoquímicas e petrográficas mais detalhadas, que refletem domínios pedológicos distintos.

Realizaram-se, então, neste trabalho, estudos de correlação geopedológica, objetivando-se correlações específicas entre variações nas classes de solos formados versus material originário, devidamente individualizado através de classificações petrológicas detalhadas. Em classes de solos desenvolvidos a partir de materiais geológicos, petrográfica e litoquimicamente distintos, procedeu-se a estudos detalhados dos processos de alteração, enfocando caracterização morfológica, física, química e mineralógica, além de petrologia/micromorfologia e geoquímica ao longo dos perfis de alteração e sólum, visando a estabelecer parâmetros pedogenéticos associados ao material de origem.

Alteração e solos

Para tanto, selecionou-se uma área na região de Lavras, MG, localizada na porção sul do Cráton São Francisco, apresentando terrenos geológicos relacionados ao Embasamento Pré-Cambriano Granito-Gnáissico-Migmatítico, mostrando intercalações de rochas básicas e ultrabásicas de gerações distintas. A área apresenta mapeamento petrográfico de detalhe, com individualização litoquímica das rochas granitóides (granitos, granodioritos, tonalitos e dioritos) e das rochas básicas/ultrabásicas (rochas ultramáficas: piroxenitos, serpentinitos e outras; e rochas máficas: gabros, diabásios e outras), que refletem em variações nas classes de solos formados.

Nessa área, a seleção de perfis para o estudo de detalhe da alteração e evolução pedogenética foi realizada a partir de solos B texturais, por apresentarem características herdadas do material originário, desenvolvidos em relevo ondulado a forte ondulado, ou seja; Podzólicos Vermelho-Amarelos, Podzólicos Vermelho-Escuros e Terra Roxa Estruturada/Brunizém Avermelhado, evoluindo-se a partir de rochas petrológica e litoquimicamente individualizadas.

Foi realizada a classificação minuciosa desses solos, através de caracterização física, química e mineralógica, detalhando-se estudos de micromorfologia, mineralogia e geoquímica de todos os horizontes que compõem o perfil de alteração e solum, partindo-se de análises petrológicas e geoquímicas das rochas originais, ao longo dos perfis de alteração.

O estudo de alteração de rochas e gênese de solos foi motivado devido a escassez de pesquisas científicas acerca do tema na região proposta, especialmente estudos de correlação de classes de solos versus material geológico originário discriminado petrologicamente.

Este trabalho foi realizado através do programa de Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras, sob a orientação do Prof. Dr. Hércio Andrade.

Contou-se com a colaboração de pesquisadores de outras instituições de pesquisa que ofereceram colaboração técnico-científica, além de estruturas laboratoriais compatíveis com a demanda necessária para o desenvolvimento deste trabalho. Contou-se, também, com a co-orientação do Prof. Dr. Joel Jean Gabriel Quéméneur (Instituto de Geociências, Departamento de Geologia - UFMG), que vem realizando mapeamento geológico de detalhe das rochas do denominado Embasamento Cristalino na região de Lavras, envolvendo estudos geocronológicos e geoquímicos, predominantemente. O intercâmbio científico permitiu a utilização dos laboratórios de análises química, mineralógica e petrográfica do Centro de Pesquisa Manoel Teixeira da Costa - UFMG (microscopia ótica, difração de raios-X, fluorescência de raios-X e ICP).

Os tópicos da pesquisa foram divididos em cinco capítulos, de maneira a individualizar os assuntos abordados, facilitando a leitura e compreensão dos mesmos. Este capítulo 1 apresenta como referencial teórico a revisão da literatura geral e o estado de arte sobre o tema e caracterização do meio físico da área estudada.

O capítulo 2 apresenta o estudo de correlação geo-pedológica da área selecionada na região de Lavras, MG. O capítulo 3 apresenta os perfis de alteração selecionados para o estudo de detalhamento da evolução pedológica dos solos B texturais, de ocorrência na área de investigação e sua caracterização morfológica, física e química, numa discussão enfocando evolução pedológica versus material originário.

No capítulo 4 foram discutidas a mineralogia, petrografia e micromorfologia dos solos relativos aos perfis selecionados no capítulo 3, mostrando a evolução pedológica ao longo dos perfis de alteração, partindo-se da rocha fresca de origem até o sólum. Já a evolução geoquímica dos mesmos foi abordada no capítulo 5.

2 - REFERENCIAL TEÓRICO

ESTADO DE ARTE

A ciência do solo, particularmente a pedologia, trata da gênese, morfologia, distribuição, mapeamento, caracterização das propriedades físicas, químicas e mineralógicas, taxonomia e classificação dos solos, além de

inferências acerca do seu potencial de uso (Buol, Hole e McCracken, 1989; Fontes e Fontes, 1982).

A geologia, mais especificamente a petrologia e geoquímica, consideradas como base das ciências geológicas, estudam as rochas, sua composição e classificação e os fenômenos genéticos formadores da crosta terrestre, assim como o conjunto geral de processos que agem na superfície e interior da Terra, considerados como fatores geológicos endógenos e exógenos (Popp, 1988).

A pedologia *moderna* desenvolveu-se a partir da evolução da química, geografia e geologia, nos séculos dezessete e dezoito, tendo suas raízes nas especulações clássicas acerca da natureza da matéria. Durante o final do século dezanove e início do século vinte, a ramificação da ciência do solo, designada de pedologia, desenvolveu-se como disciplina independente com base nas disciplinas tradicionais como química agrícola, geografia e geologia, na Europa (Rússia) e Estados Unidos. O desenvolvimento e expansão do paradigma dos fatores de formação dos solos em pedologia, levou a uma evolução complexa de interdisciplinaridade. Os pedólogos pioneiros como Fallou, Hilgard, Dokuchaiev, Glinka, Orth, Stremme, Marbut e Jenny, consideraram que tal ciência deveria ser interdisciplinar desde o princípio; tal fato foi atestado pela formação multidisciplinar destes e de tantos outros pedólogos, os quais trabalhavam em diversas áreas da ciência, salientando-se a geologia. Buol, Hole e McCracken (1989) consideram que a pedologia teve suas raízes na geologia, desenvolvendo-se a partir do mapeamento e estudo das rochas. O paradigma dos fatores de formação do solo estimulou, então, a origem interdisciplinar para a pedologia desde os seus primórdios (Tandarich e Sprecher, 1994).

Assim sendo, a geologia, notadamente a petrologia e a geoquímica, através do estudo das rochas, um dos clássicos fatores de formação dos solos (Macias e Chesworth, 1992), reveste-se de grande importância no que diz respeito à gênese e classificação dos solos, pois é sobre as rochas que os demais fatores de formação exercem sua influência no processo de evolução dos solos (Rotta, 1972). A porção externa e superficial da crosta terrestre é formada por vários tipos de corpos rochosos, constituindo o manto rochoso, sujeito aos agentes de intemperização, proporcionando a decomposição das rochas e gênese dos solos (Popp, 1988). As propriedades e evolução dos solos, especialmente nos estágios iniciais, são fortemente afetadas pela composição química e mineralógica, assim como a textura e estrutura das rochas das quais eles se originaram. Alguns autores consideram que a morfologia dos solos, especialmente quando as rochas parentais são metamórficas, é geralmente relacionada à estrutura original das rochas (Macias e Chesworth, 1992). A influência do material de origem nos solos é, então, extremamente importante ao oferecer condições de se predizerem características e propriedades dos solos formados, considerando os fatores de formação que atuam intimamente no processo pedogenético.

A preocupação com material de origem dos solos e processos de alteração pela comunidade pedológica, notadamente no material regolítico, foi objeto do simpósio sobre o regolito em pedologia, realizado em 1992 pela Sociedade Americana de Ciência do Solo - SSSA (Cremeens, Randall e Huddleston, 1994). Constatou-se, então, a existência de diferentes terminologias utilizadas para designar propriedades do material regolítico entre geólogos e pedólogos, ocasionando problemas na descrição de solos, saprolitos e rochas alteradas. Foi ressaltada a necessidade de uniformização de nomenclatura, assim

como a utilização de novas metodologias, adaptando-se aquelas utilizadas em pedologia e geologia (Graham, Guertal e Tice, 1994; Stolt e Baker, 1994).

De acordo com a revisão sobre trabalhos de pesquisa envolvendo alteração de rochas, realizada por Clemente (1988), tais estudos contavam com escassas pesquisas até a década de 60, destacando-se alguns trabalhos localizados sobre alteração de rochas de composição genérica, envolvendo formação de lateritas, bauxitas e minerais argilosos, distribuídos em alguns países, tais como Guiana Francesa, Austrália, Estados Unidos e Japão. A partir da década de 60, os estudos de alteração de rochas em condições tropicais tiveram grande impulso, devido, principalmente, aos trabalhos dos pesquisadores franceses no Continente Africano. Surgiram, então, pesquisas pedológicas e mineralógicas de perfis de alteração, principalmente os desenvolvidos sobre rochas vulcânicas básicas, em estudos sob diversos aspectos, tais como: filiação, variação pedológica e mineralógica, evolução geoquímica e formação de jazidas supérgenas. Entre estes estudos podem-se destacar os trabalhos de Segalen (1957), Delvigne (1960), Sieffermann, Jehl e Millot (1968), Sieffermann e Millot (1968), Gense (1970), Eswaran e De Coninck (1971), Eswaran (1972, 1979), Siffermann (1973), Bain e Russel (1980), Curtin e Smillie (1981), Dejou, Chesworth e Larroque (1982), Glasmann (1982), Chesworth et al. (1983) e Glasman e Simonson (1985). Menor atenção foi dada à evolução intempérica das rochas cristalinas ácidas, sendo os trabalhos geralmente enfocados no estudo da evolução intempérica de minerais isoladamente (Leneuf, 1959; Lelong, 1967; Dejou et al., 1968; Gac, 1968; Tardy, 1969; Delvigne e Martin, 1970; Tsawlassou, 1971 e Meunier et al., 1983). A observação da literatura mostra que a maioria dos trabalhos envolvendo alteração de rochas encontra-se ligada à gênese, evolução e filiação de solos, relacionados à evolução intempérica de rochas numa determinada região, ou seja, envolvendo

diversos materiais de origem sob um mesmo clima. Destacam-se, nesta linha de pesquisa, os trabalhos de Delvigne (1965), Boulet (1978) e Boulangé (1984), entre outros.

A partir desses trabalhos, os estudos de alteração de rochas permitiram o reconhecimento dos mecanismos de formação dos produtos de alteração e processos pedogenéticos, segundo parâmetros de posição dos perfis na paisagem e mecanismos diferenciados de evolução da pedogênese, não correlacionando, porém, classes de solos com materiais originais específicos.

Estudos de alteração de rochas no Brasil são esparsos. Os estudos pioneiros, particularmente em rochas básicas e ultrabásicas, foram realizados por Paiva Neto e Nascimento (1957), Melfi (1967) e Moniz (1967). Outros trabalhos foram realizados posteriormente por Melfi (1978), Carvalho (1970), Melfi e Levi (1971), Levi e Melfi (1972), Moniz, Nascimento e Paiva Neto (1973), Sartori, Maciel Filho e Menegotto (1973), Melfi e Pedro (1978a, 1978b), Gonçalves (1978), Carvalho, Chauvel e Gonçalves (1983), Menegotto (1986), Menegotto e Gasparetto (1987) e Gonçalves (1987), entre outros, citados por Clemente (1988).

Os trabalhos realizados no Brasil, especialmente em rochas básicas e ultrabásicas, apresentaram evolução dos conhecimentos dos mecanismos de formação dos produtos de alteração. Pode-se, no entanto, considerar que os trabalhos sobre o tema são escassos, uma vez que o Brasil apresenta uma grande diversidade litológica, mostrando os mais variados ambientes geológicos.

Os estudos realizados por Gonçalves (1987), em processos de alteração em rochas vulcânicas básicas da região setentrional da Bacia do Paraná, no município de Ribeirão Preto - SP, revelaram que a alteração supérgena associada aos processos pedogenéticos proporcionaram a transformação dos plagioclásios em caulinita e gibbsita, com uma fase amorfa Si-Al intermediária. A alteração dos piroxênios evolui para componentes principais do plasma, inicialmente de composição caulinitica mais oxi-hidróxidos de Fe amorfos ou goethita.

Estudos de alteração nas rochas ultrabásicas de Santa Fé (GO), com enfoque à gênese do depósito niquelífero, levou Oliveira (1980) às seguintes conclusões: a ordem de alteração supérgena dos silicatos é olivina, piroxênio e serpentina; a hidrólise da olivina deixa um resíduo amorfo sílico-ferruginoso que evolui para goethita, ocorrendo neoformação de esmectita; o piroxênio altera-se a nontronita que, posteriormente, é dissolvida, dando lugar à cristalização de goethita e boehmita; a serpentina sofre dissolução com liberação completa de Si e Mg e o Fe evolui para goethita; a cromita sofre dissolução nas bordas; o termo final da evolução dos produtos ferruginosos é a hematita; os minerais hipógenos que permanecem nos horizontes mais alterados são cromita, magnetita e interestratificado vermiculita-clorita sendo neoformados o quartzo, goethita e hematita; o Ni encontra-se nas formas de hidróxido precipitado adsorvido às fibras de serpentina, associado aos amorfos sílico-ferruginosos, pimelita e goethita; a mobilidade dos elementos pode ser escalonada: $Ca > Mg > Si > Ni > Mn > Co, Fe, Al \text{ e } Cr$; o cálculo de isovolume mostrou que Si e Mg são removidos e Fe, Al, Cr e Co permanecem no perfil de alteração.

Com relação às rochas ácidas, poucos trabalhos envolvendo estudos de alteração tem sido realizados, tanto para ambientes geológicos Pré-Cambrianos,

quanto para as rochas vulcânicas ácidas associadas aos derrames basálticos da Bacia do Paraná. Para o primeiro caso, a situação é ainda mais crítica, visto que o Embasamento Cristalino, que recobre cerca de 2/3 do território brasileiro é essencialmente constituído por complexos indiferenciados granito-gnáissico-migmatíticos, originando solos os mais diversos possíveis.

Estudos sobre a intemperização de rochas vulcânicas ácidas da Formação Serra Geral, na região de Santa Maria, realizados por Menegotto e Gasparetto (1987), revelaram que a destruição intempérica sucessiva dos minerais obedece à seguinte ordem: (carbonato = piroxênio = vidro) < plagioclásio < feldspato alcalino < magnetita < quartzo. Os principais produtos de alteração do basalto são esmectita, géis amorfos e, secundariamente, a goethita. Nas rochas vulcânicas ácidas, o vitrófiro origina esmectita e o riólito forma géis amorfos, caulinita, illita e menor proporção de esmectita. O processo inicial é a bissialitização, ocorrendo também a monossililitização parcial.

Clemente (1988), estudando processos de alteração em rochas vulcânicas ácidas da Formação Serra Geral (riodacitos porfíricos e vitrófiros) nos Planaltos de Guarapuava e Palmas (PR), concluiu que os cristais maiores de plagioclásio alteram diretamente para gibbsita e os menores passam por uma fase amorfa resultando em gibbsita ou gibbsita + caulinita. A principal característica de alteração do piroxênio é a formação de *box-works* com acúmulo de goethita ao longo dos sistemas de clivagens e posterior preenchimento por Al que se cristaliza em gibbsita macro e microcristalina. A evolução da matriz vítrea do riodacito é: vítrea ⇒ géis ⇒ gibbsita + caulinita; já a evolução do vitrófiro é caracterizada por quartzo + esmectita; e o principal processo pedogenético é a alitização.

Processos de alteração e pedogênese em rochas graníticas foram estudados por Cerri (1979), objetivando caracterizar e correlacionar as arenas graníticas e solos desenvolvidos a partir dessas rochas submetidas a diferentes condições bioclimáticas brasileiras: 1) quente e úmida - floresta amazônica; 2) semi-árida quente - caatinga; 3) subquente e subúmida - floresta tropical subcaducifólia; 4) subtropical úmida de altitude - floresta subtropical caducifólia; e 5) temperado úmido - campos. As arenas graníticas representaram fenômeno geral de alteração das rochas graníticas de textura grossa, sendo mais importantes as características intrínsecas da rocha do que as condições climáticas; a caulinita é o mineral secundário presente em todas as arenas graníticas, associada à gibbsita nos climas quentes e úmidos, à montmorilonita, illita e vermiculita no clima semi-árido quente e no clima temperado úmido associa-se aos interestratificados regulares mica vermiculita (IMV). A filiação dos minerais secundários é:

- Clima quente e úmido (região norte - Rondônia):

Biotita \Rightarrow Vermiculita/Caulinita \Rightarrow Caulinita

Feldspato \Rightarrow Mica/Caulinita \Rightarrow Caulinita \Rightarrow Gibbsita

- Clima semi-árido e quente (região nordeste - Alagoas e Bahia):

Biotita \Rightarrow Parabiotita \Rightarrow Caulinita

Feldspato \Rightarrow Caulinita

- Clima subquente e subúmido (região sudeste - São Paulo):

Biotita (Retrodiagênese \Rightarrow Clorita) \Rightarrow Parabiotita \Rightarrow Caulinita

Feldspato \Rightarrow Caulinita

- Clima subtropical úmido de altitude (região sudeste - sul de São Paulo):

Biotita \Rightarrow Vermiculita/Interestratificado regular Mica-Vermiculita(IMV)/

Parabiotita \Rightarrow Parabiotita/ IMV/ Caulinita \Rightarrow Gibbsita

Feldspato \Rightarrow Mica/Caulinita \Rightarrow Caulinita \Rightarrow Gibbsita

- Clima temperado e úmido (região sul - Rio Grande do Sul):

Biotita ⇒ Parabiotita/Vermiculita ⇒ IMV/Caulinita

Feldspato ⇒ Mica/Caulinita ⇒ Caulinita

Estudos de evolução geoquímica dos perfis de alteração vêm sendo recentemente realizados, destacando-se os trabalhos de Vieira e Correia Neves (1995) na análise do intemperismo do Complexo Alcalino Carbonatítico de Tapira, MG; Torres e Gaspar (1995) no estudo geoquímico da Mina de fósforo do Complexo Alcalino-Carbonatítico do Barreiro, Araxá, MG; Lima e Antunes (1995) na caracterização química de perfis de alteração em biotita gnaisse no Rio de Janeiro, RJ; Gasparetto e Menegotto (1995) no estudo do comportamento dos elementos Terras Raras na intemperização de rochas vulcânicas ácidas em clima subtropical; e Fontes (1993) na análise químico-mineralógica de intemperismo sobre tufito na região de Patos de Minas, MG.

Nota-se, então, nesse cenário de evolução dos conhecimentos de alteração de rochas no Brasil, a tendência de evolução a partir do inter-relacionamento entre as geociências, notadamente a geologia, mais especificamente a geoquímica, com a pedologia. Observa-se, também, a escassez de estudos que correlaciona classes de solos versus material originário específico, sendo que a maioria dos trabalhos detalha os mecanismos e formação de produtos secundários a partir de rochas de classificação genérica.

Na região de Lavras são comuns trabalhos envolvendo caracterização mineralógica, física e química e por vezes relação dos solos com a paisagem e material de origem genérico, citando-se Bahia (1975), Andrade (1979), Lima (1987), Curi et al. (1990), Silva, Lima e Curi (1993), Chagas (1994) e Giarola (1994), entre outros. Nesta linha, correlacionando solos e material de origem,

podem-se ressaltar os trabalhos de Rocha (1982), Marques Jr. (1988) e Marques Jr., Curi e Lima (1992). Nos dois últimos, os Latossolos Vermelho-Amarelo e Vermelho-Escuro foram diferenciados em função da litologia gnáissica, sendo desenvolvidos a partir da alteração do gnaiss leucocrático e mesocrático, respectivamente. Aos solos influenciados pelo material mesocrático correspondem maiores teores de ferro e argila, maior taxa pedogênese/erosão, resultando em solum mais espesso, com teor de hematita mais elevado, cor mais avermelhada e maior relação gibsita/caulinita, sendo, portanto, enquadrados como solos mais evoluídos.

Assim sendo, justifica-se o estudo de correlação geo-pedológica na região de Lavras - MG, associado a estudos específicos de alteração ao longo de perfis de solos desenvolvidos a partir de materiais geológicos, discriminados petrográfica e litoquimicamente, de forma a estabelecer correlações específicas entre as variações nas classes de solos formados versus material originário, além de contribuir na elaboração de modelos preditivos da distribuição das classes de solos em seu ambiente.

3 - CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO

3.1 - LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA E VIAS DE ACESSO

A área selecionada localiza-se na região sul do Estado de Minas Gerais, abrangendo parte dos municípios de Lavras, Ribeirão Vermelho, Ijaci, Itumirim, Itutinga, Ibituruna e Nazareno, limitada pelas coordenadas geográficas 21°10'23"

e 21°19'22" de latitude sul (coordenadas UTM correspondentes: 7660 e 7642) e 45°04'36" e 44° 33'23" de longitude oeste (coordenadas UTM correspondentes: 492 e 546), compreendendo porções das folhas topográficas IBGE, escala 1:50.000, Nepomuceno, Carmo da Cachoeira, Lavras, Itumirim, Nazareno e Itutinga. (figura 1.1 - Localização da área estudada).

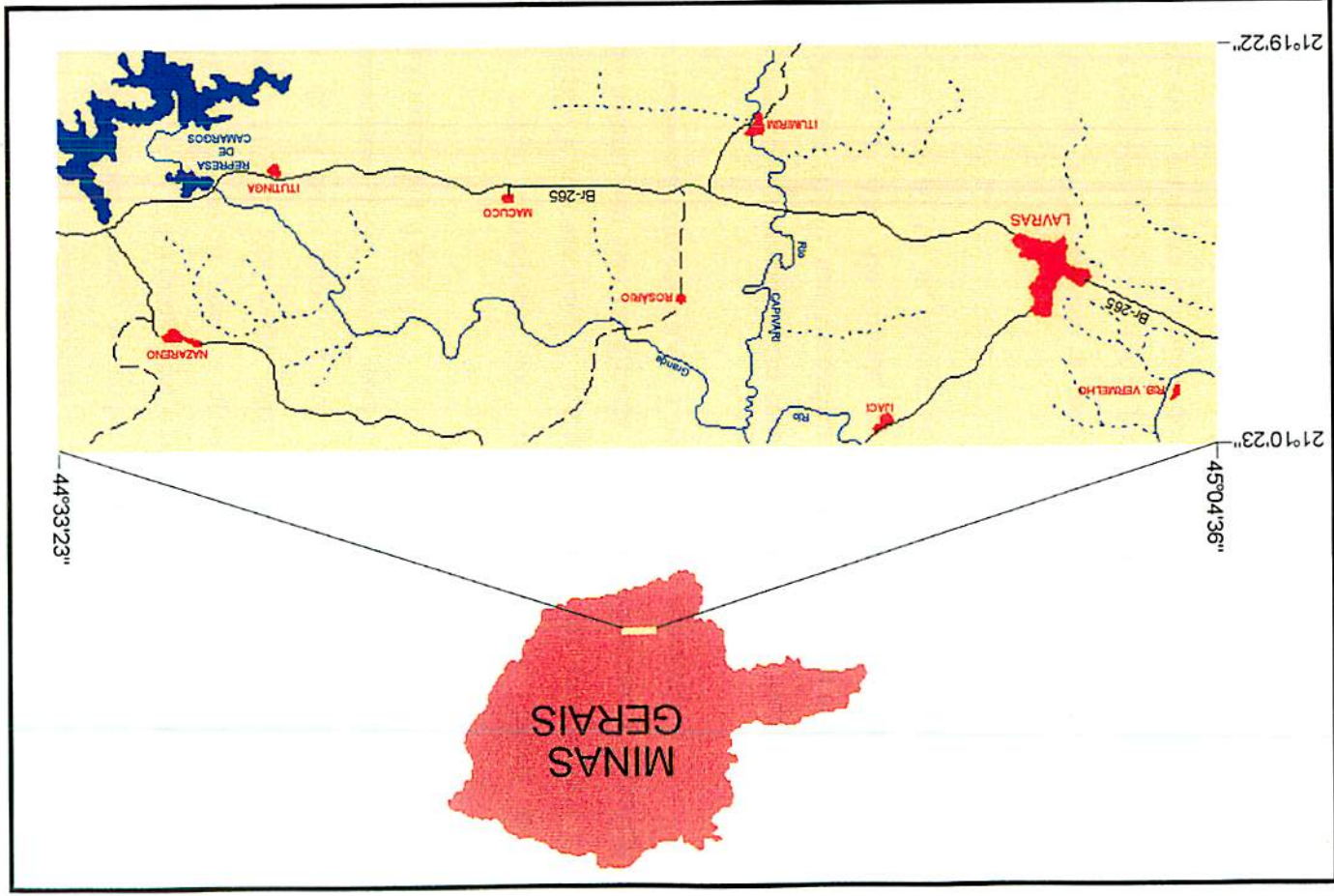
A área localiza-se praticamente equidistante das capitais dos Estados de Minas Gerais (Belo Horizonte, cerca de 240 Km), São Paulo (São Paulo, 350 Km) e Rio de Janeiro (Rio de Janeiro, 400 Km). O principal acesso é feito pela rodovia BR-381 - Fernão Dias, partindo-se de Belo Horizonte, percorrem-se 230 Km até o entroncamento para a rodovia MG-265, atingindo-se a sede do município de Lavras após percurso de cerca de 12 Km.

3.2 - CLIMA, VEGETAÇÃO E GEOMORFOLOGIA

Segundo critérios adotados por Köeppen, pode-se classificar o clima da região no limite entre Cwb e Cwa, caracterizando clima temperado a temperado subtropical, com inverno seco, verões brandos e estação chuvosa no verão. É também denominado, segundo DNPM/CPRM (1979) de tropical de altitude.

A temperatura média do mês mais frio (julho) é de 15,8°C e do mês mais quente (fevereiro) é de 22,1°C, com temperatura média anual de 19,4°C. Os índices pluviométricos médios anuais, em 17 anos de registro na área, efetuado por Vilela e Ramalho (1980), situam-se em torno de 1.530 mm, com maior

FIGURA 1.1 - Localização da área estudada



intensidade de chuvas no período de novembro a fevereiro, mostrando que 66% da precipitação anual ocorrem neste período. Com referência ao número de dias de chuva, os totais anuais superam a 100 dias, com 90% das precipitações incidindo no período chuvoso de outubro a março. Por outro lado, Castro Neto, Sedyama e Vilela (1980) relatam que o período de menos intensidade de chuva é verificado nos meses de junho a agosto, com os totais pluviométricos não superando a 10% do total médio anual. A precipitação máxima observada no intervalo de 24 horas supera a 165 mm. A insolação média anual é de aproximadamente 2.483 horas, com ventos predominantes de leste, com velocidade média de 1,9 m/s.

A região corresponde sob critério florístico à Floresta tropical subperenifólia e subcaducifólia e ao Cerrado, sendo que, grande parte dessa vegetação natural tem sido modificada, geralmente substituída por pastagens, devido à intensa ação antrópica a que a área vem sendo submetida.

Geomorfologicamente a área encontra-se inserida no Planalto Atlântico, segundo Almeida (1966), mais especificamente no Planalto Sul de Minas Gerais, na Superfície do Alto Rio Grande, caracterizada por relevo ondulado, com altitudes em torno de 900 m, podendo-se salientar cristas de cotas superiores a 1.000 m.

Andrade (1979), baseado no modelo proposto pelo Serviço Nacional de Pesquisas Agronômicas (Brasil, 1962), propôs a subdivisão da geomorfologia da região de Lavras em quatro superfícies de aplainamento, ou seja: 1) Superfície de aplainamento dos altos platôs - com altitudes entre 1.200 e 1.300 m; 2) Superfície dissecada de topografia montanhosa e morros residuais - constituída por formas

de relevo acidentado, com altitudes variando de 1.000 a 1.100 m; 3) Superfície rebaixada dos patamares colinosos - altitudes em torno de 900 m; e 4) Superfície dos terraços e aluviões recentes - altitudes entre 800 e 880m.

3.3 - GEOLOGIA

De acordo com levantamentos geológicos executados em 1978 e 1979 pelo Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM), juntamente com a Companhia de Pesquisas e Recursos Minerais (CPRM), denominados Projeto Mantiqueira-Furnas e Projeto Sapucaí, respectivamente, a porção oeste da área estudada encontra-se relacionada à Associação β_1 - Complexo Lavras (gnaisses, migmatitos, rochas granitóides, leptinitos, granulitos básicos e rochas metabásicas) e o restante à Associação Barbacena - Complexo Granito-Gnáissico-Migmatítico Indiviso (rochas gnáissicas, granitóides e migmatíticas), além de ocorrências de unidades litológicas do Complexo São João Del Rei e Complexo Andrelândia (Unidades Metassedimentares) na porção sul da área e Sedimentos Recentes (deposições aluvionares) ao longo das planícies de inundação dos rios mais importantes (DNPM/CPRM, 1978 e 1979).

Recentemente, investigações geológicas, incluindo petrologia, litoquímica e geocronologia, vêm sendo realizadas na região por Quéméneur (inédito), no intuito de elucidar a evolução crustal e individualização petrológica/litoquímica das suas unidades litoestratigráficas. Tal trabalho vem sendo efetuado na região dos Campos das Vertentes, compreendida entre as cidades de Lavras, São João Del Rei, Resende Costa e Santo Antônio do Amparo, na porção mineira do

Cráton São Francisco. Segundo Quéméneur (inédito), a área por ele estudada é constituída por terrenos cristalinos arqueanos de origem ígnea, afetados por metamorfismo de médio e alto grau, cortados por granitóides e diques máficos de um arco magmático transamazônico. Pequenos restos de sedimentos do Proterozóico Superior foram preservados em certas zonas cisalhadas. Esse conjunto é coberto ao sul pelas rochas metassedimentares do Proterozóico Superior ou Médio da Faixa Móvel Mantiqueira. Na frente deste contato ocorrem alguns afloramentos de uma cobertura sedimentar subautóctone, representada pelo Grupo São João Del Rei.

Os terrenos Arqueanos, que representam cerca de 70% da área, são constituídos por gnaisses, granulitos, granitóides, formações do tipo *greenstone-belts* e possivelmente rochas máficas intrusivas associadas, divididos em dois blocos estruturais separados pela zona de cisalhamento da Serra de Bom Sucesso. O bloco leste é ocupado, em sua maior parte, pelo *Greenstone-belt* Rio das Mortes, extremidade ocidental do *Greenstone-belt* Barbacena (Pires, Ribeiro e Barbosa, 1990). O bloco oeste (região de Lavras) é caracterizado pela predominância de terrenos granito-gnáissicos afetados por metamorfismo granulítico. Na sua borda meridional, os granulitos e gnaisses félsicos são intercalados por faixas de rochas máficas e ultramáficas do *Greenstone-belt* de Lavras. No nordeste do mesmo bloco afloram maciços graníticos, tal como o Granito de Bom Sucesso (Quéméneur, inédito).

Esse mesmo autor considera difícil estabelecer uma estratigrafia precisa nesse conjunto, pois os dados geocronológicos são ainda escassos; somente o Granito de Bom Sucesso e os granulitos foram datados, assim como os metabasaltos do *Greenstone belt* Rio das Mortes. As formações mais antigas são

representadas pelos gnaisses de composição trondhjemitica-tonalítica-granodiorítica ou TTG, caso eles forem equiparáveis aos gnaisses da região de Barbacena, datados de pelo menos 3.130 ± 8 Ma por Sölner, Lammerer e Weber-Diefenbach (1991). Como os *greenstone-belts* da região apresentam o mesmo padrão de deformação dos gnaisses TTG, poderiam apresentar idade da mesma ordem.

Os gnaisses homogêneos de composição granodiorítica a granítica e aparentemente não dobrados, tais como os Gnaisses de Lavras, parecem corresponder a corpos intrusivos pós-*greenstone*. Os dioritos e gabros associados ao *Greenstone-belt* Rio das Mortes, tais como o Diorito do Rosário, Gabro da Fazenda Martins, Gabro de São Sebastião da Vitória, Diorito de Ibitutinga, Gabro de Dores do Campo e Diorito de Ibituruna, poderiam ser corpos sindeformacionais intrudidos no final do metamorfismo arqueano ao início do Transamazônico. As datações dos Charnockitos da Babilônia e dos Granitos de Bom Sucesso através do método Rb/Sr (Quéméneur e Vidal, 1990 e Quéméneur, inédito) forneceram idade de 2.661 ± 36 Ma e 2.787 ± 143 Ma, respectivamente; consideradas como possivelmente as últimas formações arqueanas da região.

Os granitóides transamazônicos (Proterozóico Inferior) formam uma série de plutons intrusivos no Arqueano, alinhados E-W. Os principais maciços ocorrendo na área investigada por Quéméneur (inédito) são: Granito de Ritápolis, Granito de Porto Mendes, Granito de Perdões, Granito de Itutinga, Trondhjemitó de Tabuões e Trondhjemitó de Cassiterita. O Granito de Ritápolis é essencialmente constituído por um granito branco peraluminoso do tipo altamente fracionado, caracterizado por baixos teores de Ba, Ti, Fe e Mg e conteúdo relativamente alto em U. O Granito de Porto Mendes, o maior maciço da região, é geoquimicamente

o menos evoluído dos granitos, como mostra seus altos teores em Ba, Fe e Ti. Os Granitos de Itutinga e Perdões são relativamente evoluídos e apresentam composição semelhante ao Granito de Ritópolis. Os diagramas de Pearce, Harris e Tindle (1984) colocam esses granitos no campo do magmatismo pós-orogênico intra-placa. O Trondhjemitó Tabuões pertence à suíte tonalítica-trondhjemitica definida no arco magmático transamazônico de Minas Gerais, correspondendo a um evento anterior ao dos granitos, sendo datado em 1.932 ± 21 Ma por Quéméneur e Vidal (1990).

Também do Proterozóico Inferior, encontram-se os metassedimentos da Serra de Bom Sucesso (quartzo-biotita-moscovita-xistos, itabiritos, quartzitos, quartzitos micáceos e ferruginosos). Os quartzitos da Serra de Bom Sucesso podem ser considerados equivalentes à Formação Moeda (Quadrilátero Ferrífero, MG), que apresentam idade mínima 2.560 Ma (Machado, Noce e Feng, 1993).

As formações metassedimentares que ocorrem ao sul do Cráton São Francisco, atribuídas ao Proterozóico Superior, foram qualificadas como pós-transamazônicas na região estudada por Quéméneur (inédito), devido à escassez de datações. Ocorrem recobrando o embasamento arqueano e transamazônico, sendo pertencentes aos Grupos São João Del Rei (Ebert, 1957 e Karfunkel e Noce, 1983) e Grupo Carrancas (Trouw et al., 1984). Na região em questão, o Grupo São João Del Rei encontra-se representado por quartzitos, calcários, xistos e filitos. Uma ocorrência localizada, possivelmente pertencente ao Grupo São João Del Rei, é representada pelo pequeno maciço de Ijaci, alojado em um pequeno *graben* constituído por calcários, calco-xistos e xistos com intercalações de quartzitos. Todas as serras limitando ao sul, em contato tectônico, o embasamento arqueano e transamazônico, pertencem ao Grupo Carrancas,

constituído predominantemente por quartzitos e filitos grafitosos. Este contato tectônico é marcado por uma zona milonitizada que afeta as rochas arqueanas e transamazônicas, particularmente o Granito de Itutinga e parte meridional do *Greenstone-belt* do Rio das Mortes.

3.4 - SOLOS

Na região de Lavras são observadas quatro superfícies de erosão, segundo Brasil (1962) e Andrade (1979), sendo que os solos da região de Lavras podem ser relacionados a essas superfícies geomórficas.

Assim, a primeira superfície ou Superfície de Aplainamento dos Altos Platôs (Brasil, 1962 e Andrade, 1979) é a mais antiga da área e está representada por altitudes variando entre 1.100 e 1.300 m. Esta superfície situa-se sobre quartzitos e mica-xistos do Grupo Andrelândia. Nesse compartimento predominam Solos Lítólicos e Cambissolos, sendo comum a ocorrência de afloramentos rochosos.

Em um nível altimétrico inferior, entre 990 e 1.090 m, identifica-se uma segunda superfície, denominada de Superfície Dissecada de Topografia Montanhosa e Morros Residuais (Brasil, 1962 e Andrade, 1979), esculpida em rochas do Embasamento Granito-Gnáissico e mais restritamente em quartzitos e mica-xistos do Grupo Andrelândia. Ao contrário da primeira, esta superfície não se apresenta contínua, ocorrendo na área morros isolados referentes à mesma. Em termos de solos, predominam Podzólicos Vermelho-Amarelos, além de Podzólico

Vermelho-Escuro e eventualmente Terra Roxa Estrutura, além de Cambissolos e Solos Litólicos. Também são comuns os afloramentos de rochas nessa unidade.

A uma altitude ligeiramente acima de 900 m, ocorre uma outra superfície denominada por Brasil (1962) e Andrade (1979) de Superfície Rebaixada de Patamares Colinosos, constituindo uma topografia dicíclica que reúne topos aplainados e vales de dissecação. Apresenta concordância de topos facilmente perceptível. Predominam Latossolo Vermelho-Escuro, Latossolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Roxo que ocorrem no topo e descem em direção ao fundo dos vales, cedendo lugar a Podzólicos Vermelho-Amarelos, Podzólicos Vermelho-Escuro e localmente Terra Roxa Estruturada, além de Cambissolos a meia encosta.

O piso da região é constituído pela Superfície dos Terraços e Aluviões recentes (Brasil, 1962 e Andrade, 1979), que compreende o fundo aplainado dos vales, conectados ou não ao aluvião do Rio Grande, nível base regional de erosão. Ocorrem nessa superfície Solos Aluviais e Hidromórficos.

Os solos B texturais de ocorrência na região são, portanto, Podzólico Vermelho-Amarelo, Podzólico Vermelho-Escuro, Terra Roxa Estruturada e ocorrências localizadas de Brunizém Avermelhado detectadas neste trabalho. Estes solos são formados pelo processo pedogenético de podzolização, que consiste essencialmente na translocação de argila silicatada do horizonte A, acumulando-se no horizonte B, denominado, então, de horizonte diagnóstico B textural (Resende et al., 1995). No entanto, segundo EMBRAPA (1997), considera-se horizonte diagnóstico B textural aquele onde houve incremento de fração argila (fração < 0,002 mm) resultante da acumulação ou concentração

absoluta ou relativa decorrente de processos de iluviação e/ou formação *in situ* e/ou herdado do material de origem e/ou infiltração de argila ou argila mais silte, com ou sem matéria orgânica e/ou destruição de argila do horizonte A e/ou perda de argila no horizonte A por erosão diferencial. O conteúdo de argila no horizonte B textural é, então, maior que o do horizonte A. Como os solos B texturais constituíram o objeto deste trabalho, suas principais características são descritas a seguir:

- **Podzólico Vermelho-Amarelo (PV)** - Compreende solos minerais não hidromórficos, com horizonte A ou E seguidos de horizonte B textural não plântico, argila de atividade alta ou baixa, teores de $Fe_2O_3 < 11\%$. Quando a atividade da argila do horizonte B é baixa, o horizonte A pode ser de qualquer tipo, exceto turfoso, porém quando é alta, ficam excluídos o A chernozêmico e o húmico. Caracteriza-se pelo aumento do teor de argila com a profundidade o que implica em uma diferença de permeabilidade entre os horizontes superficiais e os subsuperficiais. Podem ser eutróficos, distróficos ou álicos (Oliveira, Jacomine e Camargo, 1992 e EMBRAPA, 1988). Na região de Lavras esses solos são distróficos ou eutróficos epidistróficos, de textura argilosa ou média/argilosa, desenvolvidos de gnaiss granítico leucocrático e ocorrem em área de relevo ondulado e forte ondulado, onde os afloramentos de rocha são frequentes (Andrade, 1979; Curi et al., 1990; Rocha, 1982; Silva, 1990).

- **Podzólico Vermelho-Escuro (PE)** - Compreende solos minerais não hidromórficos, com horizonte B textural de cores avermelhadas com tendência a tonalidade escura, usualmente matiz mais vermelho que 5YR e com valor inferior a 5, croma menor que 7 e teores de Fe_2O_3 inferiores a 15%. Possuem seqüência de horizontes A-Bt-C ou A-E-Bt-C, cuja característica determinante é a presença de

horizonte B textural com cor vinculada a teor e natureza de óxidos de ferro, de tal forma que se apresenta mais vermelho e, em equidade de teor de argila, com teor de Fe_2O_3 normalmente mais elevado do que os PV. Camargo et al. (1982) propuseram, em caráter preliminar, a equação $\text{Fe}_2\text{O}_3 > 3,75 + (0,0625 \times \text{porcentagem de argila})$ para discriminá-los dos Podzólicos Vermelho-Amarelos. Pode apresentar diversos tipos de horizonte A, excluindo o A chernozêmico ou A fraco, quando o horizonte B₁, igualmente avermelhado, apresentar alta atividade de argila. É incomum mudança textural abrupta. Podem ser eutróficos, distróficos ou álicos (Oliveira, Jacomine e Camargo, 1992 e EMBRAPA, 1988). Na região de Lavras, ocorrem química e morfologicamente semelhantes aos PV, ocupando porções mais restritas de paisagens similares, desenvolvidos, possivelmente, de porções mais máficas dos gnaisses ou em áreas com contribuição de rochas intrusivas máficas.

- **Terra Roxa Estruturada (TR)** - Compreende solos minerais não hidromórficos, cor vermelho-escura de tonalidade purpúrea - efeito arroxeadado (bruno-avermelhado-escuro no matiz 2,5 YR), argilosos a muito argilosos, derivados de rochas básicas ou ultrabásicas, com teores relativamente altos de Fe_2O_3 (> 15%) e TiO_2 (> 1,5%), baixo gradiente textural, horizonte B textural com argila de atividade baixa, estrutura em blocos e cerosidade moderadamente a bem desenvolvida. Apresentam sequência A-B_r-C, sendo o A moderado ou proeminente e eventualmente chernozêmico. Pode ser eutrófica, distrófica ou álica, sendo mais comum a primeira. O eutrofismo é caracterizado por valores relativamente altos de soma de bases, conferindo aos solos eutróficos desta classe apreciável potencial nutricional. A capacidade de troca de cátions no horizonte B, por definição, é inferior a 24 meq/100g de argila. Há registros de solos com CTC ligeiramente superior a 18; estes, quando com A chernozêmico, podem ser

considerados intermediários com os Brunizéns Avermelhados (Oliveira, Jacomine e Camargo, 1992). Na região de Lavras ocorrem associadas às rochas básicas, dispostas geralmente em diques.

- **Brunizém Avermelhado** - Solos minerais não hidromórficos, com horizonte A chernozêmico sobre B textural avermelhado, com argila de atividade alta e saturação por bases superior a 50%. A seqüência de horizontes é A-B_t-C com o solum raramente atingindo espessuras superiores a 100 cm. A diferenciação de horizontes é modesta. A cerosidade é geralmente forte e abundante e a estrutura prismática ou blocos angulares de desenvolvimento forte. O aumento de argila do A para o horizonte B_t é normalmente discreto, sendo a textura argilosa a mais comum. O material de origem provém de rochas básicas, gnaisses de caráter básico e calcários. A capacidade de troca de cátions é relativamente elevada, sendo comuns CTC de 30 meq/100g de argila (Oliveira, Jacomine e Camargo, 1992).

4 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F. F. M. Origem e evolução da plataforma brasileira. SEDEGEO-Divisão Geol. Mineradora, DNPM, Rio de Janeiro, Bol. 241, v. 2, p. 46-89, 1966.
- ANDRADE, H. Caracterização genética, morfológica e classificação de dois solos do município de Lavras - MG em correlação com a geomorfologia da área. Lavras, MG: ESAL, 1979. 79 p. (Tese de mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- BAIN, D. C.; RUSSEL, J. D. Swelling materials in a basalt and its wethering products from Movern Scotland: I. Insterestratified montmorillonite-vermiculite-illite. *Clay Minerals*, v. 15, p. 445-451, 1980.

- BAHIA, V. G. Gênese e classificação de um solo no Município de Lavras-MG.** Lavras: ESAL, 1975. 67 p. (Tese de mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- BOULANGÉ, G. Les fomations bauxitiques lateritiques de Côte-D'Ivoire.** Paris: Mémoires ORSTOM, n. 175, 1984. 363p.
- BOULET, R. Toposéquences de sols tropicaux en Haute Volta - Équilibre et déséquilibre pédobioclimatique.** Paris: Mémoires ORSTOM, n. 85, 1978. 272p.
- BRASIL - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. Levantamento de Reconhecimento dos Solos da Região sob influência do Reservatório de Furnas.** Rio de Janeiro: CNEPA, 1962. 462p. (Boletim técnico, 13).
- BUOL, S. W.; HOLE, F. D.; McCRAKEN, R. J. Soil Genesis and Classification.** 3. ed. Iowa: Iowa University Press, 1989. 446p.
- CAMARGO, M. N.; JACOMINE, P. K. T.; OLMOS, I. L. J.; CARVALHO, A. P. Proposição preliminar de conceituação e distinção de Podzólicos Vermelho-Escuros.** In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA: Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Conceituação sumária de algumas classes de solos recém-reconhecidos nos levantamentos e estudos de correlação no SNLCS. Rio de Janeiro: EMBRAPA/SNLCS, 1982. p. 7-20 (Circular Técnica, 1).
- CARVALHO, A. Study of Terra Roxa Estruturada and Latossolo Roxo on a topographic sequence in São Paulo State, Brasil.** England: University of Newcastle upon Tyne, 1970. 93p. (Master's Thesis in Soil Science).
- CARVALHO, A.; CHAUVEL, A.; GONÇALVES, N. M. M. Alterations of basalt and formation of kaolinitic and gibsitic material in the region of Ribeirão Preto (SP), Brazil.** In: MELFI, A. J.; CARVALHO, A. eds. II International Sem. on Lateritisation Processes. São Paulo, 1983. p. 477-489.
- CASTRO NETO, P.; SEDIYAMA, G. C.; VILELA, E. A. Probabilidade de ocorrência de períodos chuvosos em Lavras, Minas Gerais.** *Ciência e Prática*, v. 1, n. 4, p. 56-57, 1980.

- CERRI, C. C. **Alteração e pedogênese em áreas graníticas situadas sob diferentes condições bioclimáticas encontradas no Brasil.** São Paulo: IGC-USP, 1979. 241p. (Tese de doutoramento).
- CHAGAS, C. S. **Associação de Latossolo variação Una e Latossolo Vermelho-Escuro: Efeito diferencial da orientação dos estratos de rochas pelíticas pobres.** Lavras: ESAL, 1994. 124p. (Dissertação de mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)
- CHESWORTH, H.; DEJOU, J.; KIMPE, C. de; MACIA VASQUES, F. CANTAGREL, J. M.; LARROQUE, P.; GARCIA PAZ, C.; GARCIA RODEJA. E. Importance de la fersiallisation sur les basaltes miocenes du Massif Central. Principales caracteristiques de cette pedogenese. *Sci., Geol., Mém.*, v. 73, p. 53-67, 1983.
- CLEMENTE, C. A. **Alterações e solos desenvolvidos sobre rochas vulcânicas ácidas da Formação Serra Geral nos Planaltos de Guarapuava e Palmas, Região Centro Sul do Estado do Paraná.** Piracicaba: ESALQ, 1988. 211p.(Tese de doutoramento).
- CREMEENS, D. L.; RANDALL, B. B.; HUDDLESTON, J. H. ed. **Whole Regolith Pedology.** Madison: SSSA, Special Publication nº 34, 1994. 133 p.
- CURI, N.; LIMA, J. M. de; ANDRADE, H.; GUALBERTO., V. Geomorfologia, física, química e mineralogia dos principais solos da região de Lavras (MG). *Ciência e Prática*, Lavras, v. 14, n. 3, p. 297-307, 1990.
- CURTIN, D.; SMILLIE, G. W. Composition and origin of smectite in soils derived from basalt in northern Ireland. *Clay and Clays Minerals*, v. 29, n. 4, p. 277-284, 1981.
- DEJOU, J. CHESWORTH, W.; LARROQUE, P. **Donnés nouvelles sur l'évolution supercielle fersiallitique subie par les basalts pontiens du Bassin D'Aurillac (Cantal, France). Cas du profil de Saint Etienne de Carlat e consideration paleoclimatiques.** *Pedologie*, v. XXXII, n. 1, p. 67-83, 1982.
- DEJOU, J.; GUYOT, J. PEDRO, G.; CHAUMONT, C.; ANTOINE, H. **Nouvelles données concernant la presence de gibbsite dans les formations d'altération superficielle des massifs granitiques (cas du Cantal et du Limousin).** *C. R. Acad. Sci., Paris*, v. 266D, p. 1825-1827, 1968.

- DELVIGNE, J. L'altération des basaltes du Kivu Méridional (Congo Belge). Mém. Lic. Géol. Min., Univ. Cath Louvain, 1960. 198p.**
- DELVIGNE, J. Pédogenèse en zone tropicale - La formation des minéraux secondaires em milieu ferrallitique. Paris: Office de la reserche scientifique et technique outre-mer, Mémoires ORSTOM, 1965. 177p.**
- DELVIGNE, J.; MARTIN, H. Analyse a la microsonde electronique de l'altération d'un plagioclase in kaolinite par l'intermédiaire d'une phase amorphe. Cah. ORSTOM. Sèrv. Geol., v. II, n. 2, p. 259-295, 1970.**
- DNPM/CPRM - Departamento Nacional da Produção Mineral/ Companhia de pesquisas e recursos minerais. Projeto Mantiqueira-Furnas. Belo Horizonte: DNPM/CPRM, 7v., 1978.**
- DNPM/CPRM - Departamento Nacional da Produção Mineral/ Companhia de pesquisas e recursos minerais. Projeto Sapucaí. São Paulo: DNPM/CPRM, Série geologia, 5v., 1979. 299p.**
- EBERT, H. Beitrag zur Gliederung des Prekambriums in Minas Gerais. Geol. Rundschau, v. 45, n. 3, p. 471-521, 1957.**
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Critérios para distinção de classes de solos e de fases de unidades de mapeamento: normas em uso pelo SNLCS. Rio de Janeiro: SNLCS, 1988. 67p. (EMBRAPA/SNLCS, Documentos, 11).**
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de solos: 4a aproximação. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1997. 169p.**
- ESWARAN, E. Micromorphological indicators of pedogenesis in some tropical soils derived from basalt from Nicaragua. Geoderma, v. 7, p. 15-31, 1972.**
- ESWARAN, E. The alteration of plagioclases and augites under differing pedo-environmental conditions. Journal of Soil Sciences, v. 30, p. 547-555, 1979.**

- ESWARAN, E.; DE CONINCK, F. Clay mineral formations and transformations in basaltic soils in tropical environments. *Pedologie*, v. XXI, n. 2, p. 181-210, 1971.
- FONTES, L. E. F.; FONTES, M. P. F. **Glossário de termos e expressões em Ciência do Solo**. Viçosa: Imprensa Universitária da UFV, 1982. 97p.
- FONTES, M. de F. **Análise químico-mineralógica de uma sequência de intemperismo sobre tufito da região de Patos de Minas (MG)**. Viçosa: UFV, 1993. 92p. (Tese de mestrado)
- GAC, J. Y. **Les altérations de quelques roches cristallines des Voges - Étude mineralogique et géochimique**. Strasburg, 1968. 77p. (These 3^o Cycle).
- GASPARETTO, N. V. L.; MENEGOTTO, E. Comportamento dos elementos Terras Raras na intemperização de rochas vulcânicas ácidas em clima subtropical. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 5 e CONGRESSO DE GEOQUÍMICA DOS PAÍSES DE LÍNGUA PORTUGUESA, 3, 1995, Niterói. Resumos..., Niterói: SBG, 1995.
- GENSE, C. Premières observations sur l'alteration de quelques roches des Hautes Terres Malgaches. *Cah. ORSTOM, Sér. Pedol.*, v. VIII, n. 4, p. 451-467, 1970.
- GIAROLA, N. F. B. **Levantamento pedológico, perdas de solo e aptidão agrícola das terras da região sob influência do reservatório de Itutinga/Camargos (MG)**. Lavras: UFLA, 1994. 226 p. (Dissertação de mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- GLASMANN, J. R. Alteration of Andesite in wet unstable soils of Oregon's Western Cascades. *Clays and Clay Minerals*, v. 30, n. 4, p. 253-263, 1982.
- GLASMANN, J. R.; SIMONSON, G. H. Alteration of basalt in soils of Western Oregon. *Soil Science Society of America Journal*, v. 49, p. 262-273, 1985.
- GONÇALVES, N. M. M. **Estudo dos materiais superficiais da Região de Ribeirão Preto - SP e suas relações morfológicas da paisagem**. São Paulo: IGC-USP, 1978. 177p. (Tese de Mestrado).

- GONÇALVES, N. M. M. Transformações Mineralógicas e Estruturais relacionadas à alteração hidrotermal e intempérica de rochas vulcânicas básicas da Bacia do Paraná Setentrional - Região de Ribeirão Preto -SP, Brasil. São Paulo: IGC-USP, 1987, 212p. (Tese de doutoramento)
- GRAHAM, R. C.; GUERTAL, W. R.; TICE, K. R. The Pedologic Nature of Weathered Rock. In: CREMEENS, D. L.; RANDALL, B. B.; HUDDLESTON, J. H. ed. *Whole Regolith Pedology*. Madison: SSSA, Special Publication número 34, 1994. p. 21-40.
- KARFUNKEL, J.; NOCE, C. M. Desenvolvimento faciológico do Precambriano Superior da região de Carandaí-São João Del Rei, Minas Gerais. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, 2, 1983, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: SBG, Boletim 3, 1983. p. 16-26.
- LELONG, F. Nature et genèse des produits d'altération de roches cristallines sous climat tropical humide (Guyane française). These Fac. Sci., Nancy et Mèm., Sci. de la terre, v. 14, 1967, 188p.
- LENEUF, N. L'altération des granites calco-alkalins et des granodiorites en Côte d'Ivoire forestiere et les sols qui en sont dèrives. Paris: ORSTOM, 1959, 210p. (These Sci.)
- LEVI, F.; MELFI, A. J. Geochemical and Mineralogical studies on the first stage of weathering of basic and related rocks. Part 2. Geochemical study. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 2, n. 1, p. 1-7, 1972.
- LIMA, E. M. B.; ANTUNES, F. S. Caracterização química de perfis de alteração em biotita-gnaise, no município do Rio de Janeiro (Brasil). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 5 e CONGRESSO DE GEOQUÍMICA DOS PAÍSES DE LÍNGUA PORTUGUESA, 3, 1995, Niterói. Resumos..., Niterói: SBGq, 1995.
- LIMA, J. M. de Relação entre erosão, teor de ferro, parâmetros físicos e mineralógicos de solos da região de Lavras (MG). Lavras: ESAL, 1987. 86p. (Tese de mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- MACHADO, N; NOCE, C. M.; FENG, R. Idades $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ de zircões detriticos das rochas metassedimentares da região do Quadrilátero Ferrífero, sul do Cráton São Francisco, considerações sobre a área-fonte e

a sedimentação. In: SIMPÓSIO SOBRE O CRÁTON SÃO FRANCISCO, 2, 1993, Salvador. Anais...Salvador: SBG, 1993. p. 149-151.

MACIAS, F.; CHESWORTH, W. Weathering in humid regions, with emphasis on igneous rocks and their metamorphic equivalents. In: MARTIN, I. P. & CHESWORTH, W., ed. *Weathering, Soils & Paleosols*. New York: Elsevier, 1992. p.283-306.

MARQUES Jr., J. Litocronosequência de solos da Região de Lavras (MG). Lavras: ESAL, 1988. 78p. (Tese de mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).

MARQUES Jr., J.; CURTI, N.; LIMA, J.M. Evolução diferenciada de Latossolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho-Escuro em função da litologia gnáissica na região de Lavras (MG). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 16, p. 235-240, 1992.

MELFI, A. J. *Intemperismo de granitos e diabásios do Município de Campinas e arredores*. São Paulo: USP, 1967. 166p. (Tese de doutoramento)

MELFI, A. J. Natureza e origem dos constituintes secundários dos solos desenvolvidos sobre rochas básicas da Bacia do Paraná. *Cerâmica*, v. 24, n. 105, p. 347-354, 1978.

MELFI, A. J.; LEVI, F. Geochemical and Mineralogical study on the first stages of weathering of basic and related rocks - Part 1. *Mineralogical Study*. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 1, n. 1, p. 22-28, 1971.

MELFI, A. J.; PEDRO, G. Estudo geoquímico dos solos e formações superficiais no Brasil. Parte 1. Caracterização e repartição dos principais tipos de evolução pedogequímica. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 7, n. 42, p. 272-286, 1978a.

MELFI, A. J.; PEDRO, G. Estudo geoquímico dos solos e formações superficiais do Brasil. Parte 2. Considerações sobre os mecanismos envolvidos na alteração superficial e sua repartição no Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 8, n. 1, p. 11-12, 1978b.

- MENEGOTTO, E. Alteração intempérica das rochas básicas faneríticas de Pedras Pretas, São Sepé (RS). *Acta Geológica Leopoldensia*, 1986. (no prelo).
- MENEGOTTO, E.; GASPARETTO, N. V. L. Intemperização de rochas vulcânicas básicas e ácidas na região de Santa Maria - RS. In: CONGRESSO BRASILEIRO GEOQUÍMICA, 1. Anais..., SBG, v. 2, p. 69-83, 1987.
- MEUNIER, A.; VELDE, V.; DUCOIGNON, P.; BEAUFORT, D. Identification of weathering and hidrothermal alteration in acidic rocks: Petrography and Mineralogy of clay minerals. *Sci., Geol., Mém.*, v. 72, p. 93-99, 1983.
- MONIZ, A. C. **Quantitative Mineralogical Analysis of Brazilian soils developed from basic rocks and slate.** USA: University of Wisconsin, 1967. 75p. (Master's These)
- MONIZ, A. C.; NASCIMENTO, A. C.; PAIVA NETO, J. E. Mobilidade dos constituintes de rochas básicas de São Paulo durante o intemperismo. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 3, p. 201-213, 1973.
- OLIVEIRA, J. B. de; JACOMINE, P.K.T.; CAMARGO, M.N. **Classes gerais de solos do Brasil: guia auxiliar para seu reconhecimento.** Jaboticabal: FUNEP, 1992. 201p.
- OLIVEIRA, S. M. B. de. **Alteração intempérica das rochas ultrabásicas de Santa Fé (GO) e gênese do depósito niquelífero.** São Paulo: IGC-USP, 1980. 216p. (Tese de doutoramento).
- PAIVA NETO, J. E.; NASCIMENTO, A. C. Diabásios e seus produtos de decomposição. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 11, Salvador, 1957. (mineografado), Salvador: SBG, 1957.
- PEARCE, J. A.; HARRIS, N. B. W.; TINDLE, A. G. Trace elements discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology*, v. 25, n. 4, p. 956-983, 1984.
- PIRES, F. R. M.; RIBEIRO, A.; BARBOSA, M. I. M. Distribuição do "Greenstone-belt Barbacena" na região de São João Del Rei, Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36, 1990, Natal. Anais..., Natal: SBG, v. 6, 1990. p. 2941-2951.



POPP, J. H. **Geologia Geral**. 4.ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 1988. 299 p.

QUÉMÉNEUR, J. J. G. **Os magmatismos de idade arqueana e transamazônica na região Campos das Vertentes. MG (Sul do Cráton do São Francisco), com base em geoquímica e geocronologia**. Belo Horizonte: CPMTC-IGC-UFGM, (inédito).79p.

QUÉMÉNEUR, J. J. G.; VIDAL, P. Primeiras datações radiométricas dos granitos da região de São João Del Rei, MG. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, 10, 1989, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: SBG, 1990. p. 50-59.

RESENDE, M.; CURTI, N.; REZENDE, S. B. de; CORRÊA, G. F. **Pedologia: base para distinção de ambientes**. Viçosa: NEPUT, 1995. 304 p.

ROCHA, G.C. **Geologia, Geomorfologia e Pedologia de uma catena de solos situada no campus da Escola Superior de Agricultura de Lavras, MG**. Lavras: ESAL, 1982. 109p. (Tese de mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).

ROTTA, C. L. Noções gerais de geologia. In: MONIZ, A. C. ed. **Elementos de Pedologia**. São Paulo: Polígono, 1972. p. 289-303.

SARTORI, R. L. P.; MACIEL FILHO, C. L.; MENEGOTTO, E. **Contribuição ao estudo das rochas basálticas e seus produtos de alteração. Região de Santa Maria, RS**. Relatório inédito: F.A.P.E.R.G.S., 1973, 101p.

SEGALEN, P. **Étude des sols d'érives des roches volcaniques basiques à Madagascar**. Madagascar: Institute Science Madagascar, v. 8, n. D, 1957. 182p. (These et Mémoire Institute Science Madagascar)

SIEFFERMAN, G. **Les sols de quelques régions volcaniques du Cameroun. Variations pédologiques et mineralogiques du milieu équatorial au milieu tropical**. Paris: Mém. ORSTOM, v. 66, 1973. 183p. (These).

SIEFFERMAN, G.; JEHL, G.; MILLOT, G. Allophanes et minéraux argileux des altérations récents des basaltes du Mont Cameroun. **Bulletim Ge. Franç. Argiles**, v. XX, p. 109-129, 1968.

- SIEFFERMAN, G.; MILLOT, G. L'hallyosite des sols jeunes sur basaltes récents du Contre Cameroun. *Bulletim Ge. Franç. Argiles*, v. XX, pp. 25-38, 1968.
- SILVA, A. C. *Relação entre voçorocas e solos na região de Lavras, MG.* Lavras:ESAL, 1990. 124 p. (Tese de mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- SILVA, A. C.; LIMA, J. M.; CURI, N. Relações entre voçorocas, usos da terra, solos e materiais de origem na região de Lavras (MG). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 17, p. 459-464, 1993.
- SÖLLNER, F.; LAMMERER, B.; WEBER-DIEFENBACH, K. Die Krustenentwicklung in der Küstenregion nördlich von Rio de Janeiro (Brasilien). *Münschner Geologische Hefte*, v. 4, p. 1-100, 1991.
- STOLT, M. H.; BAKER, J. C. Strategies for Studying Saprolite and Saprolite Genesis. In: CREMEENS, D. L.; RANDALL, B. B.; HUDDLESTON, J. H. ed. *Whole Regolith Pedology*. Madison: SSSA, Special Publication n° 34, 1994. p.1-18.
- TANDARICH, J. P.; SPRECHER, S. W. The Intellectual Background for the Factors of Soil Formation. In: LUXMOORE, R. J. ed. *Factors of Soil Formation: A Fiftieth Anniversary Retrospective*. Madison: SSSA, Special Publication n° 3, 1994. p.1-15.
- TARDY, Y. *Géochimie des altérations. Étude des arènes et des eaux de quelques massifs cristallins d'Europe et d'Afrique.* Strasbourg: Mémoires du Service de la Carte Géologique D'Alsace et de Lorraine, n. 31, 1969. 199p.
- TORRES, M. G.; GASPAR, J. C. Geoquímica do manto de intemperismo da mina de fosfato do Complexo Alcalino-Carbonatítico do Barreiro, Araxá - MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 5 e CONGRESSO DE GEOQUÍMICA DOS PAÍSES DE LÍNGUA PORTUGUESA, 3, 1995, Niterói. Resumos... Niterói: SBGq, 1995.
- TROUW, R. A. J.; RIBEIRO, A.; PACIULLO, F. V. P.; HEILBRON, M. Os grupos São João Del Rei, Carrancas e Andrelândia como continuação dos grupos Canastra e Araxá. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33, 1984. Anais..., SBG, 1984. p. 3.227-3.240.

TSAWLASSOU, G. Géochimie de l'altération des roches granitiques et gnaissiques en pays tropical et équatorial. Evolution des biotites et des feldspaths. Strasbourg: ULP, 1971. 68p. (These 3° Cycle).

VIEIRA, M. A. de M.; CORREIA NEVES, J. M. Análise do intemperismo do Complexo Carbonatítico-Alcalino de Tapira (CCCT) - Minas Gerais. I - Mineralogia e Gequímica dos Elementos Maiores. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 5 e CONGRESSO DE GEOQUÍMICA DOS PAÍSES DE LÍNGUA PORTUGUESA, 3, 1995, Niterói. Resumos..., Niterói: SBG, 1995.

VILELA, E. A.; RAMALHO, M. A. P. Análise das temperaturas e precipitações pluviométricas de Lavras, Minas Gerais. Ciência e Prática, v. 1, n. 3, p. 71-79, 1980.

CAPÍTULO 2 - CORRELAÇÃO GEO-PEDOLÓGICA EM SOLOS B TEXTURAIIS NA REGIÃO DE LAVRAS, MG.

1 - RESUMO

Na região de Lavras, MG, foi realizada uma investigação sobre a correlação entre material originário e classes de solos formadas em uma área limitada pelas coordenadas geográficas 21°10'23" e 21°19'22" de latitude sul (coordenadas UTM correspondentes: 7.660 e 7.642) e 45°04'36" e 44°33'23" de longitude oeste (coordenadas UTM correspondentes: 492 e 546), compreendendo porções das folhas topográficas IBGE, escala 1:50.000, Nepomuceno, Carmo da Cachoeira, Lavras, Itumirim, Nazareno e Itutinga. A correlação geo-pedológica foi realizada em solos B texturais de ocorrência regional, selecionados para este estudo em função do estágio de evolução destes solos, que permite preservar características das rochas parentais. Tais solos são desenvolvidos na região em relevo ondulado (declive entre 12 a 24%) a forte ondulado (declive entre 24 a 45%), originando diferentes classes de solos B texturais diretamente relacionadas ao material de origem. Através do Mapa Geológico da Região de Lavras, MG, em escala 1:50.000, com individualização petrológica/geoquímica dos domínios geológicos, Mapa de Classes de Declividade da Região de Lavras, MG, e critérios de correlação geo-pedológica estabelecidos e checados em campanhas de campo, elaborou-se, através do SGI/SITIM, o Mapa de Classes de Solos, com individualização de solos B Texturais, da Região de Lavras, MG.

2 - ABSTRACT

The work assessed the correlation between parent material and classes of soils formed in the region of Lavras, state of Minas Gerais in Brazil. The area was limited by the geographic coordinates 21°10'23" and 21°19'22" of latitude south (UTM coordinates: 7.660 and 7.642) and 45°04'36" and 44°33'23" of longitude west (UTM coordinates: 492 and 546), comprising portions of the IBGE topographic sheets of Nepomuceno, Carmo da Cachoeira, Lavras, Itumirim, Nazareno and Itutinga. The soils with argilic horizons were selected for the correlation because of their state of evolution, they preserve characteristics inherited from the parent rocks. Within the region of Lavras, these soils occur on slopes between 12 to 45%, and the different classes of residual soils formed are directly related to the parent material *in situ*. A GIS (SGI/SITIM) was used to generate the Map of Soils of the region of Lavras, differentiating Classes of Soils with argilic horizons. This was obtained by overlying the geological with geochemically and petrologically individualized and slope maps, scale 1:50.000, generated for the same region, on the basis of geo-pedogenetic criteria established and checked at several field trips.

3 - INTRODUÇÃO

Na região de Lavras a correlação entre material originário e classes de solos formados permite a individualização destas últimas, partindo-se da discriminação petrológica/litoquímica das rochas originais, respeitando-se o relevo, através de suas classes de declividade. Foi realizada uma interpretação sobre as correlações geo-pedológicas dos solos com horizonte B textural, sendo que estes foram selecionados para este estudo, dado seu estágio de evolução que permite preservar características das rochas parentais. Na região de Lavras, estes solos são formados em relevo ondulado (declive entre 12 a 24%) a forte ondulado (declive entre 24 a 45%), proporcionando a formação de diferentes classes de solos B texturais diretamente vinculadas ao material de origem. A área investigada localiza-se no sul do Estado de Minas Gerais, na região de Lavras, MG, compreendida pelas coordenadas geográficas 21°10'23" e 21°19'22" S e 45°04'36" e 44°33'23" W.

4 - REFERENCIAL TEÓRICO

A geologia, através do estudo do material de origem dos solos, reveste-se de grande importância no que diz respeito à gênese e classificação dos solos, pois é sobre as rochas que os fatores de formação exercem sua influência no processo de evolução dos solos (Rotta, 1972).

A porção externa e superficial da crosta terrestre é formada por vários tipos de corpos rochosos, sujeitos aos agentes de intemperização (Popp, 1988),

proporcionando a decomposição das rochas e gênese dos solos. A influência do material de origem nos solos formados é extremamente importante ao oferecer condições de se predizerem características e propriedades dos solos formados, considerando os fatores de formação que atuam intimamente no processo pedogenético.

O material originário do solo pode, em geral, ser agrupado em classes principais, segundo Marques (1971), englobando os principais tipos de rochas: (1) Material formado *in situ* pela desintegração e decomposição das rochas; (2) material formado *in situ* pela desintegração e decomposição de rochas desagregadas ou não consolidadas; (3) material transportado e redepositado antes ou durante processos de formação do solo (Depósitos glaciais, Depósitos aluviais, Depósitos coluviais, Depósitos eólicos); e (4) Depósitos orgânicos.

Podem-se, então, considerar as rochas e suas modificações no ciclo exógeno como material originário dos solos, excetuando-se os depósitos orgânicos. As rochas ígneas, precursoras dos demais tipos de rochas, correspondem às rochas formadas pelo resfriamento e consolidação do magma, no interior da crosta terrestre (Rochas Plutônicas ou Intrusivas) ou no seu exterior (Rochas Vulcânicas ou Extrusivas). De uma maneira genérica, as rochas ígneas podem ser classificadas de acordo com o conteúdo em sílica (SiO_2), que se correlaciona também à composição do magma parental, em: (1) rochas ígneas ácidas - teor de $\text{SiO}_2 > 66\%$; (2) rochas ígneas intermediárias - 55 a 66 % de SiO_2 ; (3) rochas ígneas básicas - 45 a 55% de SiO_2 ; e (4) rochas ígneas ultrabásicas - teor de $\text{SiO}_2 < 45\%$. Esta classificação correlaciona-se com a composição mineralógica essencial dos tipos petrográficos individualizados, que são reflexo do conteúdo em sílica da fusão magmática (Willians, Turner e Gilbert, 1982).

A classificação das rochas ígneas é baseada nos minerais essenciais, que refletem a composição química, cujo tipo e proporção são de grande importância por serem determinados pela composição e história da matriz magmática. O comportamento geoquímico de uma rocha ígnea está vinculado à sua gênese, tanto na distribuição dos elementos maiores, quanto na distribuição de elementos traços e elementos das terras raras. Para a classificação específica de uma rocha, precisa-se recorrer à sua análise geoquímica, estabelecendo-se uma classificação petrológica específica.

A intemperização das rochas envolve processos físicos de desagregação, bem como transformações químicas, que determinam alterações mineralógicas e químicas, cujo processo global envolve apenas ionização, adição de água e CO_2 , hidrólise e oxidação. As dificuldades surgem da perfeita classificação das rochas, assim como da sua composição geoquímica e mineralógica e não pelas reações em si (Moniz, 1972 e Krauskopf, 1972).

Os minerais, quando expostos à superfície da terra apresentam uma resistência variável à decomposição. Goldich (1938) estabeleceu a série de estabilidade de minerais face à meteorização, mostrando que ela é semelhante à ordem de cristalização da série de Bowen (1928), onde os primeiros minerais a se formarem pela consolidação do magma são os menos estáveis, devido à grande diferença entre as condições físico-químicas do meio em que se cristalizaram e as do meio ambiente.

O produto final do intemperismo de rochas e sedimentos é o *SOLO* - um indivíduo multifásico, multicomponente, multivariável e tridimensional, que se situa na interface atmosfera-litofera. Os fatores ativos (clima e organismos) atuam de cima para baixo, isto é, os solos são geralmente mais intemperizados à

superfície do que em camadas mais profundas. Os processos de pedogênese estão ligados ao tempo, que por sua vez é controlado pelos processos de erosão, diretamente relacionados com o tipo de relevo, através de suas classes de declividade. O relevo apresenta papel crítico como controlador do tempo de exposição aos agentes bioclimáticos. Na formação dos solos ocorrem reações físicas, químicas e biológicas que determinam os diferentes horizontes com suas características peculiares. A composição mineralógica do solo será função da constituição geoquímica do material originário, considerando o processo atuante na sua formação, assim como as reações químicas envolvidas. A seqüência básica de evolução dos solos é a seqüência de idade (cronosseqüência), no que se refere ao grau de intemperização: Litossolos < Cambissolos < Solos com horizonte B textural < Latossolos (Resende et al., 1995).

O reconhecimento do material de origem indica, então, características e propriedades do solo formado, considerando os fatores de sua formação, assim como o grau de intemperização em que se encontram. De uma maneira genérica podem-se estimar algumas destas características e propriedades dos solos formados, a partir do tipo de substrato rochoso pelo qual ele se desenvolveu e vice-versa (Resende et al., 1995).

A correlação entre classes de solos e material originário pode, então, ser empregada na geração de mapas de classes de solos de uma dada região. Atualmente, o uso de computador para auxiliar o manuseio das informações geográficas é fundamental. A utilização de técnicas modernas de tratamento e armazenamento de dados, permite a centralização da informação e sua integração, tornando-se ferramenta poderosa na manipulação de informações geográficas (Medeiros e Tomás, 1994). Muitas das técnicas quantitativas e analíticas desenvolvidas nas geociências, no manejo de recursos naturais, estariam limitadas

na sua aplicação prática, sem a capacidade e o rápido processamento que os computadores podem proporcionar, tendo em vista os grandes volumes de observações que esse campo requer (Calijuri, 1995).

Essa demanda é responsável pelo desenvolvimento tecnológico dos Sistemas de Informações Geográficas (SIGs). Através do uso dessa ferramenta, dados espaciais podem agora ser transformados, combinados e apresentados no formato requerido pelo usuário. Nesses sistemas, conjuntos de dados extremamente complexos e volumosos podem ser armazenados de modo compacto e acessados rapidamente com grande precisão.

Atualmente os SIGs são o resultado de mais de três décadas de desenvolvimento científico e tecnológico e as inúmeras inovações tecnológicas têm aumentado rapidamente sua taxa de adoção, após muitos anos de crescimento lento (Calijuri, 1995). Existem bons programas para a análise da informação geográfica, podendo-se citar o SGI/SITIM e o SPRING, ambos do INPE (Instituto Nacional de Pesquisa Espacial) que são amplamente utilizados no Brasil.

5 - MATERIAL E MÉTODOS

5.1 - MATERIAL

A área selecionada para o estudo de correlação geo-pedológica, denominada genericamente de região de Lavras, MG, acha-se limitada pelas

coordenadas geográficas 21°10'23" e 21°19'22" de latitude sul (coordenadas UTM correspondentes: 7.660 e 7.642) e 45°04'36" e 44°33'23" de longitude oeste (coordenadas UTM correspondentes: 492 e 546), compreendendo porções das folhas topográficas IBGE, escala 1:50.000, Nepomuceno, Carmo da Cachoeira, Lavras, Itumirim, Nazareno e Itutinga.

O material utilizado neste estudo foi o mapa de classes de declividade da região em questão, representando suas feições morfológicas; bem como o mapa geológico e os dados de análise geoquímica e petrológica, além de dados físicos, químicos e morfológicos dos perfis de solos correlacionados.

Os dados geológicos utilizados foram cedidos pelo Prof. Dr. J. J. G. Quéméneur, que vem realizando levantamento geológico de detalhe na região, incluindo, além do mapa geológico em escala 1:50.000, análises geoquímicas, petrológicas e geocronológicas.

O mapa de classes de declividade foi elaborado a partir das folhas topográficas IBGE, escala 1:50.000, que englobam a área investigada neste trabalho, ou seja: Nepomuceno, Carmo da Cachoeira, Lavras, Itumirim, Nazareno e Itutinga.

5.2 - MÉTODOS

Várias campanhas de campo foram realizadas, observando-se a correlação entre os domínios geológicos e as classes de solo correspondentes,

partindo-se da classificação petrológica das rochas originais, intensificando-se as observações em classes de declive entre 12 e 45%, que correspondem a ocorrência de solos B texturais na região estudada. Realizou-se o reconhecimento das classes de solo no campo em cerca de 200 pontos e, naqueles de maior interesse, foi realizada a descrição morfológica dos perfis segundo critérios descritos em Lemos e Santos (1984), assim como análises físicas e químicas em auxílio à sua caracterização.

Para a análise e interpretação dos dados obtidos através do mapa geológico e mapa de classes de declividade, juntamente com as correlações observadas entre material originário e classes de solos formados, utilizou-se um Sistema de Informações Geográficas-SIG do INPE (Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais) através do software SGI/SITIM.

O mapa geológico constituiu o mapa temático I - Mapa geológico da região de Lavras, MG. (figura 2.1).

O mapa de classes de declividade foi elaborado a partir do Método do Ábaco, segundo De Biasi (1970), sendo estabelecidas cinco classes: (1) 0 - 3%; (2) 3 - 12%; (3) 12 - 24%; (4) 24 - 45 %; e (5) > 45%, constituindo o mapa temático II - Mapa de classes de declividade da região de Lavras, MG.

O mapa temático I foi representado computacionalmente em forma vetorial, através da digitalização em mesa digitalizadora. O mapa temático II foi representado através de forma matricial ou raster, que consistiu no uso de uma malha quadriculada regular de 0,25 x 0,25 cm sobre a qual se construíram célula a célula os elementos representados.

A partir do mapa de classes de declividade da região de Lavras, MG. (mapa temático II), foi elaborado um terceiro mapa temático, denominado de Mapa de classes de solos, com individualização de solos B texturais, da região de Lavras, MG., por intermédio da correlação entre as classes de declividade e classes de solos, seguindo o modelo utilizado pelo Departamento de Ciência do Solo da UFLA (Andrade, comunicação verbal), de acordo com a tabela 2.1, juntamente com o cruzamento através do SGI/SITIM com o mapa temático I - Mapa geológico da região de Lavras, MG, segundo regras de cruzamento estabelecidas na correlação geo-pedológica da região em questão.

TABELA 2.1 - Correlação entre classes de declividade e classes de solo da região de Lavras, MG (Andrade, comunicação verbal).

Classes de declividade (%)	Classes de solos
0-3 (Topo)	Latossolos
0-3 (Várzea)	Solos Hidromórficos e Aluviais
3-12	Latossolos
12-24	Solos B Texturais
24-45	Solos B Texturais e esporadicamente Cambissolos
> 45	Cambissolos e Solos Litólicos

6 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 - CORRELAÇÃO ENTRE CLASSES DE DECLIVIDADE E CLASSES DE SOLO

Durante as campanhas de campo, confirmou-se a correlação entre classes de declividade e classes de solos, em uso no Departamento de Ciência do Solo da UFLA (Andrade, comunicação verbal).

As classes de declividade de 0 a 3% e 3 a 12 %, relativas a relevo plano e suave ondulado, respectivamente, correspondem à ocorrência de Latossolos, sendo que na primeira, quando em terrenos relacionados a planícies de inundação, ocorrem Solos Hidromórficos e Aluviais. Nas classes de declive entre 12 a 24% e 24 a 45% (relevos ondulado e forte ondulado, respectivamente) verifica-se a ocorrência de solos com horizonte B textural, distinguindo-se Podzólico Vermelho-Amarelo, Podzólico Vermelho-Escuro e Terra Roxa Estruturada/Brunizém Avermelhado, de acordo com o tipo de material originário, sendo que na classe de 24 a 45 % pode-se observar ocorrência local de Cambissolos.

Na última classe de declividade, > 45% (relevo montanhoso) predominam ocorrências de Cambissolos e Solos Litólicos (figura 2.2 - Mapa de classes de declividade da região de Lavras, MG).

6.2 - GEOLOGIA DA ÁREA ESTUDADA

Dentro dos limites da área selecionada para estudos de correlação geopedológica, ocorrem segundo Quéméneur (inédito), terrenos Arqueanos constituídos por gnaisses de composição trondhjemitica-tonalítica-granodiorítica (TTG), gnaisses de composição granodiorítica a granítica, granulitos, granitóides e formações do tipo *greenstone-belts* (*Greenstone-belt* Rio das Mortes e *Greenstone-belt* de Lavras) com rochas de composição intermediária à básica possivelmente associadas, como o Diorito do Rosário. Do Transamazônico, ocorre uma série de plútons graníticos intrusivos no Arqueano, tal como o Granito de Itutinga, além de formações metassedimentares da Serra de Bom Sucesso. As formações metassedimentares recobrem o embasamento arqueano e transamazônico no sul da área, pertencentes aos Grupos São João Del Rei e Carrancas, sendo atribuídas como pós-transamazônicas. Estas últimas não foram consideradas no estudo de correlação geopedológica.

As unidades litoestratigráficas aflorantes na área selecionada para o estudo (figura 2.1 - Mapa geológico da região de Lavras, MG) foram criteriosamente identificadas no campo, assim como foi realizada a interpretação dos dados referentes à análise geoquímica e composição mineralógica das mesmas, individualizadas conforme se descreve a seguir, ressaltando-se que, conforme mencionado anteriormente, o mapa geológico, as descrições das unidades litoestratigráficas e dados de geoquímica foram extraídos de Quéméneur (inédito).

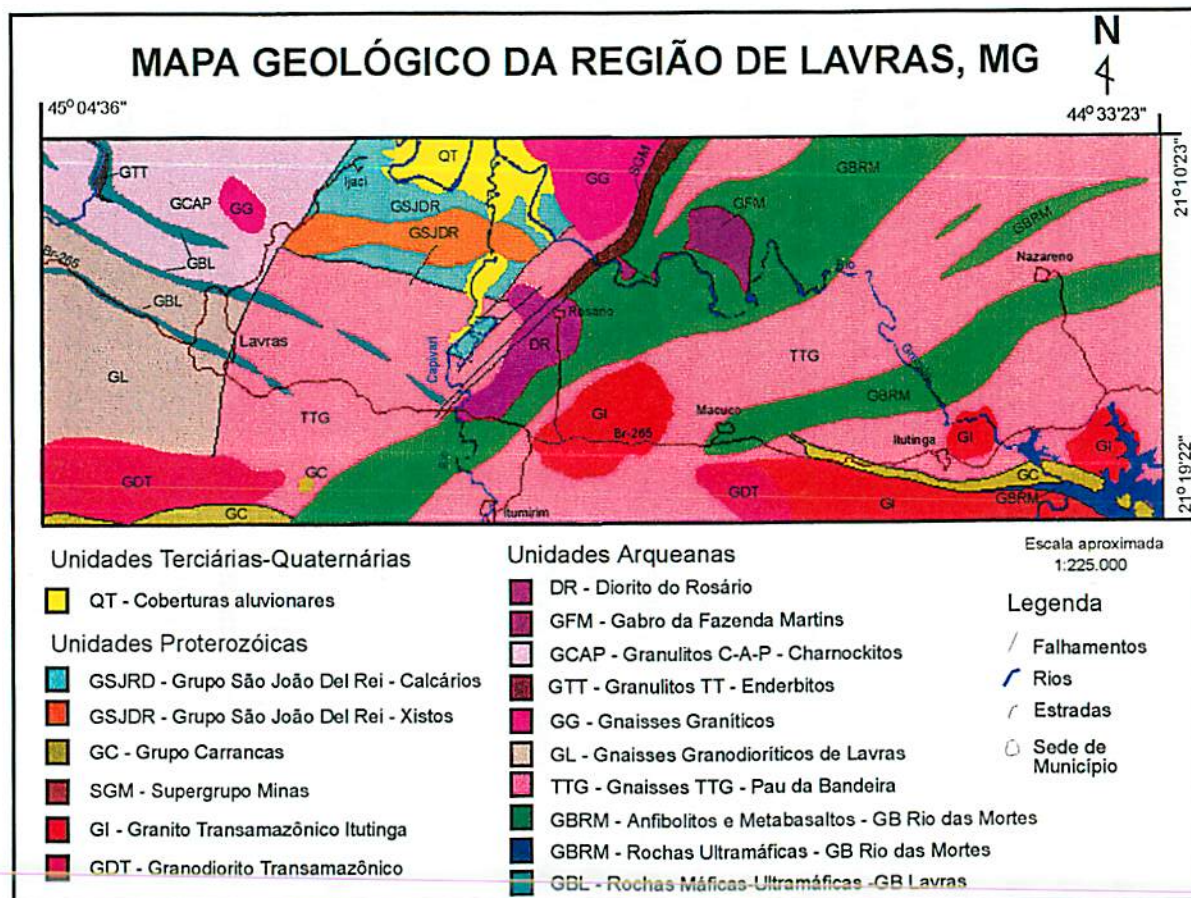
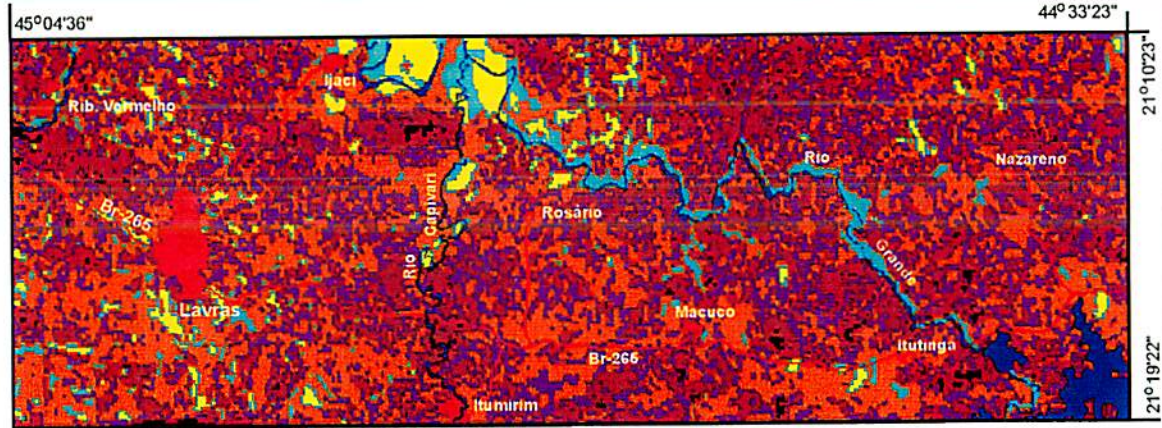


FIGURA 2.1 - Mapa Geológico da Região de Lavras, MG (Quémeneur, inédito)

MAPA DE CLASSES DE DECLIVIDADE DA REGIÃO DE LAVRAS, MG

N
4



Classes de Declividade - Relevo

- 0 - 3 % (várzea) - Plano
- 0 - 3 % (topo) - Plano
- 3 - 12 % - Suave Ondulado
- 12 - 24 % - Ondulado
- 24 - 45 % - Forte Ondulado
- > 45 % - Montanhoso

Legenda

- Rios
- Estradas
- Sede de Município

Escala aproximada
1:225.000

FIGURA 2.2 - Mapa de Classes de Declividade da Região de Lavras, MG

UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS ARQUEANAS - FÁCIES ANFIBOLITO

1) Gnaisses Tonalítico-Trondhjemítico-Granodioríticos (TTG)

Esta unidade litoestratigráfica é representada por gnaisses, migmatíticos ou não, cuja composição varia de trondhjemítica-tonalítica a granodiorítica, sendo o principal representante na área em epígrafe denominado de Gnaisse Pau da Bandeira. As litologias desta unidade litoestratigráfica apresentam composição química relativamente homogênea, apesar do bandamento das mesmas. (tabelas 2.2 e 2.3).

2) Gnaisses de Composição Granítica a Granodiorítica

Correspondem a maciços intrusivos nos Gnaisses TTG, sendo constituídos por rochas homogêneas, com textura foliada gnaíssica ou milonítica. Na área em questão, estão representados pelo Gnaisse de Lavras, constituído por rochas porfíricas de granulação grosseira e composição granodiorítica, cujos fenocristais são constituídos por feldspatos potássicos tectonizados. O Gnaisse de Lavras parece gradar ao norte, na região de Ribeirão Vermelho, para gnaisses granulíticos. Os representantes do Gnaisse de Lavras apresentam composição química granodiorítica, segundo dados apresentados nas tabelas 2.2 e 2.3.

Gnaisses graníticos também ocorrem na área estudada, sendo representados por rochas pouco deformadas, caracterizadas por textura porfírica com porfiroblastos de feldspato potássico, de composição química nitidamente

granítica (tabelas 2.2 e 2.3), com baixos teores de Ba e Ti, traduzindo seu caráter relativamente evoluído.

3) Anfibolitos e Rochas Ultramáficas dos *Greenstone-belts*

Na área existem duas seqüências que podem ser classificadas como do tipo *greenstone-belts*: O *Greenstone-belt* do Rio das Mortes (parte ocidental do *Greenstone-belt* Barbacena (Pires, Ribeiro e Barbosa, 1990)) e o *Greenstone-belt* de Lavras. Ambos são essencialmente constituídos por anfibolitos com intercalações de gnaisses TTG e rochas ultramáficas.

O *Greenstone-belt* do Rio das Mortes é constituído por duas faixas distintas (Quéméneur e Baraud, 1983): a faixa norte, essencialmente formada por metabasaltos toleíticos e maciços isolados de rochas ultramáficas de composição komatiítica (Morro das Almas); e a faixa sul, mais diversificada, é formada por metabasaltos toleíticos, metabasaltos komatiíticos (perto do município de Nazareno) e rochas ultramáficas de composição komatiítica, contendo spinifex (próximo a Macuco de Minas). (tabelas 2.2 e 2.3). O *Greenstone-belt* de Lavras apresenta uma composição semelhante à faixa sul do *Greenstone-belt* do Rio das Mortes, apresentando mais termos komatiíticos na sua porção meridional.

UNIDADES LITOSTRATIGRÁFICAS ARQUEANAS - FÁCIES GRANULITO

Existe uma grande variedade petrográfica na área afetada pelo metamorfismo granulítico: charnockitos, enderbitos, gnaisses charnockíticos,

piroxênio-granulitos ou piriclasitos (segundo Katz, 1972) e ultramafitos, mas os dados geoquímicos (tabelas 2.2 e 2.3) permitem dividir os granulitos em três grandes grupos: (1) Granulitos cálcio-alcálico potássicos; (2) Granulitos trondhjemítico-tonalíticos; e (3) Granulitos máficos e ultramáficos.

1) Granulitos Cálcio-Alcálico Potássicos - Charnockitos e Gnaisses Charnockíticos

Os granulitos félsicos predominam na suíte Granulitos cálcio-alcálico potássicos, apresentando pequenas intercalações máficas e ultramáficas. Em função de sua composição mineralógica e textura, podem-se definir charnockitos e gnaisses charnockíticos. Os Charnockitos são litologias de coloração cinza clara esverdeada, de granulação média a grosseira e com orientação mineral incipiente, cuja composição mineralógica situa estas rochas no campo dos granitos de Streckeisen (1976).

Os Gnaisses charnockíticos diferenciam-se pela textura fortemente orientada, apresentando, muitas vezes, feldspatos potássicos sigmoidais. São rochas de coloração cinza claro levemente esverdeadas, mas podem apresentar tonalidades escuras nas variedades ricas em minerais ferromagnesianos. A composição mineralógica é semelhante à dos charnockitos granitóides.

2) Granulitos Trondhjemítico-Tonalítico - Enderbitos

Esta suíte é predominantemente formada por rochas de composição trondhjemítica, mas compreende, também, termos mais básicos, tais como

TABELA 2.2 - Composição química média (Elementos maiores - %) das Unidades Litoestratigráficas Arqueanas (Quéméneur, inédito)

ELEMENTOS MAIORES (%)	UNIDADES ARQUEANAS						
	FÁCIES ANFIBOLITO					FÁCIES GRANULITO	
	Gnaisses TTG - Gnaisses Pau da Bandeira	Gnaisses Granodioríticos - Gnaisses de Lavras	Gnaisses Graníticos	Anfibolitos - Basaltos Toleíticos - Greenstone- belt Rio das Mortes	Rochas Ultramáficas Komatíticas - Greenstone- belt Rio das Mortes	Granulitos Cálcio-Alcalino- Potássicos - Charnockitos e Gnaisses Charnockíticos	Granulitos Tonalítico- Trondhjémíticos - Enderbitos
SiO ₂	70,27	71,08	74,11	48,54	46,00	69,02	70,00
Al ₂ O ₃	14,89	13,58	13,09	13,26	7,51	13,48	15,81
Fe ₂ O ₃	2,43	3,63	2,35	3,25	12,87	4,40	2,31
FeO	-	-	-	11,95	-	-	-
MnO	0,064	0,04	0,049	0,25	-	0,065	0,036
MgO	0,57	0,62	0,53	6,39	18,35	0,64	0,86
CaO	1,94	1,75	1,34	10,16	6,71	2,38	2,81
Na ₂ O	4,77	4,04	3,68	2,09	-	3,64	5,71
K ₂ O	2,75	3,96	4,12	0,41	0,45	4,20	1,45
TiO ₂	0,26	0,47	0,37	1,93	0,45	0,68	0,30
P ₂ O ₅	0,09	0,14	0,11	0,24	-	0,19	0,10
Cr ₂ O ₃	-	-	-	0,031	-	-	-
NiO	-	-	-	0,029	-	-	-

TABELA 2.3 - Composição química média (Elementos menores - ppm) das Unidades Litoestratigráficas Arqueanas (Quéméneur, inédito)

ELEMENTOS MENORES (ppm)	UNIDADES ARQUEANAS						
	FÁCIES ANFIBOLITO					FÁCIES GRANULITO	
	Gnaisses TTG - Gnaiss Pau da Bandeira	Gnaisses Granodioríticos - Gnaiss de Lavras	Gnaisses Graníticos	Anfibolitos - Basaltos Toleíticos - <i>Greenstone- belt</i> Rio das Mortes	Rochas Ultramáficas Komatiíticas - <i>Greenstone- belt</i> Rio das Mortes	Granulitos Cálcio-Alcalino- Potássicos - Charnockitos e Gnaisses Charnockíticos	Granulitos Tonalítico- Trondhjemíticos - Enderbitos
Rb	101,85	121,40	221,75	-	-	93,33	40,28
Sr	450,65	151,75	107,70	-	-	204,50	574,14
Zr	171,00	301,00	179,45	-	-	312,34	147,57
Y	9,45	41,35	68,10	-	-	27,67	11,34
Ba	1.136,5	902,00	304,77	-	-	1.195,34	551,00
Ce	67,75	202,00	98,35	-	-	92,60	69,80
Th	-	189,40	29,40	-	-	5,06	12,83
U	-	< 3,00	8,70	-	-	3,80	< 3,00
Zn	-	-	-	-	-	70,00	60,5

granulitos de composição diorítica, gabróica e anortositos. Os granulitos de composição trondhjemítica e tonalítica foram denominados de enderbitos.

3) Granulitos Máficos e Ultramáficos

As Rochas Máficas - Piriclasitos são representadas pelos metabasaltos, além dos termos máficos das duas suítes precedentes. Os metabasaltos formam níveis tabulares e lentes nitidamente diferenciadas das outras litologias. Os metabasaltos ou piriclasitos (segundo Katz, 1972), mostram composição mineralógica semelhante à dos enderbitos; contudo, o plagioclásio é mais cálcico e a proporção de minerais ferromagnesianos é geralmente mais alta (50-70), apresentando frequentemente associação orto-clinopiroxênio.

As Rochas Ultramáficas afloram essencialmente na parte oeste da área. Na região de Lavras, as rochas ultramáficas formam 3 faixas importantes entre os granulitos félsicos. Elas apresentam composição diferente em cada faixa: peridotitos geralmente serpentinizados, piroxenitos com orto e clinopiroxênio, com proporções variadas de tremolita e serpentina.

MACIÇOS DE DIORITOS E GABROS INTRUSIVOS NO *GREENSTONE-BELT* DO RIO DAS MORTES

Dentre os maciços de diorito e gabro, distribuídos segundo um alinhamento EW acompanhando o *Greenstone-belt* do Rio das Mortes, na área

em questão ocorre o Diorito do Rosário e Gabro da Fazenda Martins. A composição química média dessas rochas encontra-se nas tabelas 2.4 e 2.5.

UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS TRANSAMAZÔNICAS

1) Granito de Itutinga

Maçiços graníticos intrusivos transamazônicos são representados na área em epígrafe pelo Granito de Itutinga, constituído por rochas homogêneas de granulação grosseira e coloração levemente rosada. Apresentam-se milonitizadas em função das deformações tectônicas ocorridas na Orogênese Brasileira, mostrando uma foliação milonítica E-W. Nas porções mais preservadas é possível identificar uma textura porfiroblástica a feldspato potássico. A composição química corresponde a um granito muito evoluído com baixos teores de Mg, Ti, Ca e Ba e valores relativamente altos de U. (tabelas 2.4 e 2.5).

2) Granodioritos

Os maciços de composição granodiorítica são representados por rochas de coloração cinza relativamente escura, de granulação fina, constituídas por cristais de plagioclásio e feldspatos potássicos em uma matriz de quartzo poligonal e biotita. No diagrama de Streckeisen (1976) estas rochas situam-se no campo dos granodioritos. Geoquimicamente, é uma rocha primitiva, caracterizada por altos teores de Fe, Mg, Ca, Ti e Zr e teores muito baixos de Ba, Sr, Th e U (tabelas 2.4 e 2.5).

TABELA 2.4 - Composição química média (Elementos maiores - %) dos Maciços Intrusivos no *Greenstone-belt* Rio das Mortes e Unidades Litoestratigráficas Transamazônicas. (Quéménéur, inédito)

ELEMENTOS - MAIORES (%)	MACIÇOS INTRUSIVOS NOS <i>GREENSTONE-BELT</i> RIO DAS MORTES		UNIDADES TRANSAMAZÔNICAS	
	Diorito do Rosário	Gabro Fazenda Martins	Granito de Itutinga	Granodioritos
SiO ₂	64,19	54,16	73,66	68,00
Al ₂ O ₃	15,92	16,02	13,48	15,26
Fe ₂ O ₃	5,28	8,60	1,64	3,93
MnO	0,08	0,13	0,016	0,053
MgO	2,25	5,86	0,19	1,11
CaO	4,57	7,78	0,85	2,66
Na ₂ O	4,30	3,50	3,39	4,56
K ₂ O	1,40	0,97	5,61	2,93
TiO ₂	0,56	0,67	0,114	0,72
P ₂ O ₅	0,23	0,25	0,04	0,26

TABELA 2.5 - Composição química média (Elementos menores - ppm) dos Maciços Intrusivos no *Greenstone-belt* Rio das Mortes e Unidades Litoestratigráficas Transamazônicas.(Quéméneur, inédito)

ELEMENTOS MENORES (ppm)	MACIÇOS INTRUSIVOS NOS <i>GREENSTONE-BELT</i> RIO DAS MORTES		UNIDADES TRANSAMAZÔNICAS	
	Diorito do Rosário	Gabro Fazenda Martins	Granito de Itutinga	Granodioritos
Rb	47,20	28,90	191,50	93,75
Sr	655,60	577,40	65,40	605,38
Zr	164,30	95,70	116,40	242,97
Y	23,00	20,90	24,90	14,48
Nb	-	-	10,80	-
Th	15,00	4,00	53,30	16,65
U	-	-	21,30	< 3,00
Ba	937,34	516,75	220,4	1.403,45
Ce	83,70	62,85	97,40	109,10
Ni	20,10	90,00	-	-
Cu	36,00	98,00	-	-
Zn	64,50	75,66	-	-

6.2 - CORRELAÇÃO GEO-PEDOLÓGICA EM SOLOS B TEXTURAIIS

Segundo Resende et al. (1995), o reconhecimento do material de origem indica características e propriedades do solo formado, considerando os fatores de sua formação, assim como o grau de intemperização que se encontra, podendo-se estimar algumas dessas características e propriedades a partir do tipo de substrato rochoso pelo qual ele se desenvolveu, reconhecendo o relevo como controlador do tempo de exposição aos agentes bioclimáticos

Baseado na individualização dos domínios geológicos, através de dados de composição mineralógica e geoquímica, apresentados no item anterior, e nos atributos diagnósticos das classes de solos B texturais de ocorrência na região, partiu-se para a correlação geo-pedológica, considerando as área de ocorrência desses solos em relevo correspondente à classe de declividade de 12 a 45%.

As classes de solos B texturais correlacionadas foram: Podzólico Vermelho-Amarelo distrófico, Podzólico Vermelho-Amarelo, Podzólico Vermelho-Escuro e Terra Roxa Estruturada/Brunizém Avermelhado, cuja discriminação básica é realizada através do teor de Fe_2O_3 na TFSA extraído pelo ataque sulfúrico no horizonte diagnóstico B_1 , que se reflete na coloração dos mesmos, além de atributos químicos, discutidos no capítulo 3.

Desta maneira, partindo-se dos dados geoquímicos das rochas originais, considerando os processos pedogenéticos atuantes na gênese de solos B texturais, caracterizando lixiviação de bases, dessilicatização moderada e concentração relativa de Fe e Al, estabeleceu-se um critério de correlação geo-pedológica, baseado no conteúdo de ferro nas rochas originais, demonstrado na tabela 2.6.

Este critério foi exaustivamente checado nas campanhas de campo, acompanhado de caracterização dos solos, especialmente na identificação da coloração, o que reflete diretamente seu conteúdo em Fe_2O_3 ao ataque sulfúrico.

O conteúdo de Fe_2O_3 em uma rocha encontra-se vinculado à sua composição geoquímica global, incluindo distribuição de elementos menores, assim como sua classificação petrográfica e composição mineralógica essencial. Assim, podem-se agrupar as rochas em epígrafe em: (1) rochas com conteúdo muito baixo de Fe_2O_3 ; (2) rochas com conteúdo baixo de Fe_2O_3 ; (3) rochas com conteúdo médio de Fe_2O_3 ; (4) rochas com conteúdo alto de Fe_2O_3 ; e (5) rochas com conteúdo muito alto de Fe_2O_3 , correspondendo respectivamente às classes de 1 a 5 da tabela 2.6.

TABELA 2.6 - Critério de correlação entre material originário e classes de solo B texturais de acordo com teor de Fe_2O_3 original

Classes de teor de Fe_2O_3 original	Classe de solo B textural
(1) < 2 %	Podzólico Vermelho-Amarelo distrófico
(2) 2 - 3 %	Podzólico Vermelho-Amarelo
(3) 3 - 5 %	Podzólico Vermelho-Amarelo/Podzólico Vermelho-Escuro
(4) 5 - 8 %	Podzólico Vermelho-Escuro
(5) > 8 %	Terra Roxa Estruturada/Brunizém Avermelhado

Assim sendo, a correlação geo-pedológica na área estudada ficou distribuída de acordo com a tabela 2.7.

A partir destes dados, estabeleceram-se as regras de cruzamento do Mapa geológico e Mapa de classes de declividade da região de Lavras, elaborando-se o Mapa de classes de solos, com individualização dos solos B texturais, da região de Lavras, MG, através do SGI/SITIM. (figura 2.3 - Mapa de classes de solos, com individualização dos solos B texturais, da região de Lavras, MG).

TABELA 2.7 - Correlação geo-pedológica da área estudada.

Domínio geológico	Classe de Solo B textural
Gnaisses Tonalítico-Trondhjemítico-Granodiorítico -TTG (Gnaisses Pau da Bandeira)	Podzólico Vermelho-Amarelo
Gnaisses Granodioríticos (Gnaiss de Lavras)	Podzólico Vermelho-Amarelo/Podzólico Vermelho Escuro
Gnaisses Graníticos	Podzólico Vermelho-Amarelo
Anfibolitos e Rochas Ultramáficas dos <i>Greenstone-belts</i>	Terra Roxa Estruturada/Brunizém Avermelhado
Granulitos Cálcio-Alcalino Potássicos (Charnockitos e Gnaisses Charnockíticos)	Podzólico Vermelho-Amarelo/Podzólico Vermelho-Escuro
Granulitos Trondhjemítico-Tonalíticos (Enderbitos)	Podzólico Vermelho-Amarelo
Granulitos Máficos e Ultramáficos	Terra Roxa Estruturada/Brunizém Avermelhado
Maçãos de Composição Básica (Gabro da Fazenda Martins)	Terra Roxa Estruturada
Maçãos de Composição Intermediária (Diorito do Rosário)	Podzólico Vermelho-Escuro
Granitos Transamazônicos (Granito de Itutinga)	Podzólico Vermelho-Amarelo distrófico
Granodioritos Transamazônicos	Podzólico Vermelho-Amarelo/Podzólico Vermelho-Escuro

MAPA DE CLASSES DE SOLOS, COM INDIVIDUALIZAÇÃO N DE SOLOS B TEXTURAIS, DA REGIÃO DE LAVRAS, MG 4

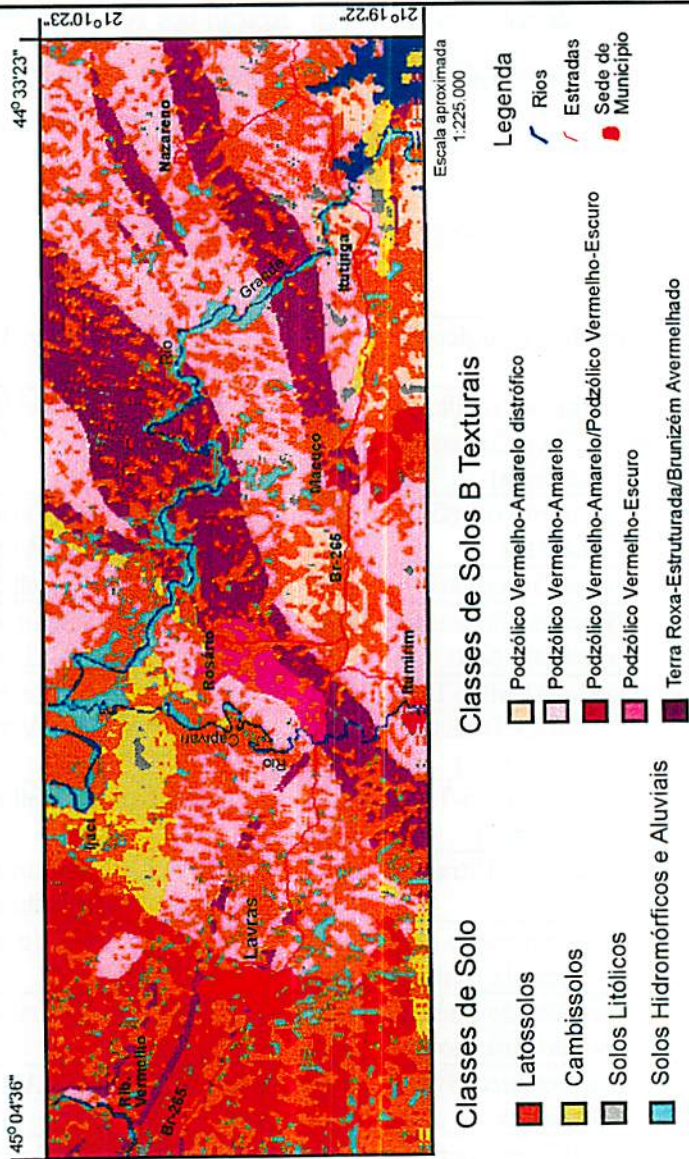


FIGURA 2.3 - Mapa de Classes de Solos, com individualização de Solos B Texturais, da Região de Lavras, MG

Alguns atributos químicos e físicos dessas classes de solo B textural também podem ser inferidos, partindo-se deste critério de correlação, uma vez que o teor de Fe_2O_3 nas rochas originais encontra-se vinculado à sua composição mineralógica e geoquímica, tal como demonstrado na tabela 2.8, baseado em dados deste trabalho, os quais são discutidos nos capítulos 3 e 5, em associação com dados da literatura.

TABELA 2.8 - Relações entre material originário da região de Lavras, MG, subdividido em classes de acordo com o conteúdo de Fe_2O_3 original e alguns atributos dos solos B texturais.

Classe 1 < 2% Fe_2O_3	Classe 2 2-3% Fe_2O_3	Classe 3 3-5% Fe_2O_3	Classe 4 5-8% Fe_2O_3	Classe 5 > 8% Fe_2O_3
Cor do horizonte B				
Amarelada	Amarelo- avermelhado	Vermelho- amarelado	Avermelhada	Vermelho- Escuro
Textura				
Média a Arenosa	Média	Média a Argilosa	Argilosa	Muito Argilosa
Macro-nutrientes				
Muito Pobre - Álico, Distrófico	Pobre - Distrófico	Moderado - Distrófico	Moderado a rico - Eutrófico a Distrófico	Rico - Eutrófico
Micro-nutrientes				
Pobre (Zn, Mo)	Pobre (Zn, Mo)	Moderado (Fe, Mn, Zn, Mo)	Moderado a rico (Fe, Mn, Zn, Cu, V, Co)	Rico (Fe, Mn, Cu, Zn, Ni, V, Co)

Onde: Classe 1 - Rochas com conteúdo muito baixo de Fe_2O_3 ; Classe 2 - Rochas com conteúdo baixo de Fe_2O_3 ; Classe 3 - Rochas com conteúdo médio de Fe_2O_3 ; Classe 4 - Rochas com conteúdo alto de Fe_2O_3 ; e Classe 5 - Rochas com conteúdo muito alto de Fe_2O_3 .

7 - CONCLUSÕES

Na região de Lavras, a boa correlação entre material originário e solos B texturais de ocorrência regional permitiu a individualização das classes destes solos formados, partindo-se da discriminação petrológica/geoquímica das rochas originais e respeitando-se o relevo, tornando-se ferramenta ímpar nas atividades de classificação e levantamento pedológico. Através de campanhas de campo, foi possível determinar critério de correlação geo-pedológica, baseado no conteúdo de Fe_2O_3 nas rochas originais, estabelecendo-se as regras de cruzamento através do SGI/SITIM na elaboração do Mapa de classes de solos, com individualização dos solos B texturais da região de Lavras, MG, partindo-se do Mapa geológico e Mapa de classes de declividade da região de Lavras, MG. Alguns atributos químicos e físicos dos solos B texturais foram inferidos, baseados em dados deste trabalho e da literatura

8 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOWEN, N. L. *The evolution of the Igneous Rocks*. Princeton, NJ: Princeton University Press, 1928.
- CALJURI, M. L. *Sistemas de Informação Geográfica II*. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1995. 40 p.
- DE BIASI, M. Cartas de declividade: confecção e utilização. *Geomorfologia*, Instituto de Geografia/USP, n. 21, 1970.
- GOLDICH, S. S. A study in rock-weathering. *Journal Geology*, v. 46, p. 17-58, 1938.

- KATZ, M. B. The nomenclature of granulite rocks. *Neues Jb. Mineral. monatshefte*, 1972.
- KRAUSKOPF, K. B. *Introdução à Geoquímica*. São Paulo: Polígono. 2v. 1972.
- LEMOS, R. C. de; SANTOS, R. D. dos. *Manual de descrição e coleta de solo no campo*. 2 ed. Campinas: SBCS/SNLCS, 1984. 45 p.
- MARQUES, J. Q. de A. *Manual Brasileiro para Levantamento da Capacidade de Uso da Terra. III Aproximação*. Rio de Janeiro: IBGE, 1971. 433p.
- MEDEIROS, J. S.; TOMÁS, D. D. *Introdução aos sistemas de informações geográficas (versão preliminar)*. São José dos Campos: INPE, 1994. 33p.
- MONIZ, A. C. ed. *Elementos de Pedologia*. São Paulo: Polígono, 1972. 459 p.
- PIRES, F. R.M.; RIBEIRO, A.; BARBOSA, M. I. M. Distribuição do "Greenstone-belt" Barbacena na região de São João Del Rei, Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36, 1990, Natal, *Resumos...* Natal: SBG, 1990. p. 2941-2951.
- POPP, J. H. *Geologia Geral*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1988. 299p.
- QUÉMÉNEUR, J. J. G. *Os magmatismos de idade arqueana e transamazônica na região Campos das Vertentes. MG (Sul do Cráton do São Francisco), com base em geoquímica e geocronologia*. Belo Horizonte: CPMTC-IGC-UFMG, (inédito). 79p.
- QUÉMÉNEUR, J. J. G.; BARAUD, R. *Estrutura do embasamento arqueano e geologia econômica da área pegmatítica de São João Del Rei, MG*. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, 3, 1983, Belo Horizonte. *Anais...*, Belo Horizonte: SBG, 1983. p. 449-460.
- RESENDE, M.; CURTI, N.; REZENDE, S.B. de; CORRÊA, G. F. *Pedologia: base para distinção de ambientes*. Viçosa: Jard Produções Gráficas. 1995. 304p.

ROTTA, C. L. Noções Gerais de Geologia. In: MONIZ, A.C. coord. **Elementos de Pedologia**. São Paulo: USP/Polígono, 1972. p. 289-303.

STRECKEISEN, A. To each plutonic rocks its proper name. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 12, p. 1-33, 1976.

WILLIAMS, H.; TURNER, F. J.; GILBERT, C. M. **Petrography. An introduction to the study of rocks en thin sections**. New York: W. H. Freeman and Company, 1982. 626p.

CAPÍTULO 3 - CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA, FÍSICA E QUÍMICA DE PERFIS DE SOLOS B TEXTURAIIS NA REGIÃO DE LAVRAS, MG.

1 - RESUMO

Estudos de correlação geo-pedológica foram realizados na região de Lavras, MG, avaliando-se correlações específicas entre variações de classes de solos B texturais versus material originário, devidamente individualizado através de geoquímica e petrologia. Os solos B texturais foram escolhidos para tal estudo por preservarem características herdadas do material originário, sendo que na região em epígrafe tais solos desenvolvem-se em relevo ondulado a forte ondulado. Nas classes de solos mais significativas, procedeu-se a estudos de alteração ao longo dos perfis de alteração, visando a estabelecer critérios pedogenéticos associados ao material de origem. Selecionaram-se para tal estudo três perfis de classes de solos B texturais originados a partir de materiais geológicos, litoquimicamente distintos, ou seja: Podzólico Vermelho-Escuro, originado da alteração de rocha de composição diorítica do Domínio geológico Diorito do Rosário; Podzólico Vermelho-Amarelo, formado pela intemperização de rocha de composição granítica do Domínio geológico Granito de Itutinga; e Brunizém Avermelhado desenvolvido a partir de rocha básica do *Greenstone-belt* de Lavras. Através da caracterização morfológica, física (análise granulométrica e densidade de partículas) e química (complexo sortivo, óxidos constituintes pela extração ao ataque sulfúrico e comportamento dos óxidos de ferro) destes perfis, observou-se boa correlação com a composição química e mineralógica dos materiais originários.

2 - ABSTRACT

Studies of geo-pedogenetic correlation were carried out in the region of Lavras, Minas Gerais in Brazil, to evaluate specific correlations between parent material, geochemically and petrologically differentiated, and distinct classes of soils with argilic horizons. Within this region, these soils occur on sloping and hilly landscapes and they were selected for the study because they preserve characteristics inherited from the original bedrocks. In order to establish pedogenetic criteria directly related to the parent material, studies were carried out in the whole alteration profiles of some particular classes found in the region. Three profiles formed from geologic material with different chemical composition were selected: Dark-Red Podzolic formed from dioritic rocks (Diorito do Rosário); Red-Yellow Podzolic developed from granitic rocks (Granito de Itutinga); and Reddish Brunizem formed from basic rocks of the Greenstone-belt of Lavras. The profiles were characterized by morphological description and physical and chemical analyses (particle size distribution, particle density, sorptive complex, oxides extracted by sulfuric acid and behavior of iron oxides of these profiles). The results showed good correlation between the characteristics of the residual soils and the chemical and mineralogical composition of the consolidated bedrocks.

3 - INTRODUÇÃO

A correlação entre material de origem e classes de solos formados permite a individualização destas últimas, partindo-se da caracterização geoquímica/petrológica do material de origem, respeitando-se o relevo, através de suas classes de declividade, considerando os demais fatores invariáveis na região. Ressalta-se que entre os fatores de formação dos solos, destaca-se o material de origem, pois é sobre as rochas que os demais exercem sua influência no processo de evolução dos solos (Rotta, 1972).

Assim, foi realizada uma interpretação sobre gênese e evolução de solos com horizonte B textural na região de Lavras, MG, através de estudo da alteração, partindo-se da rocha original até o sólum. Os solos com horizonte B textural foram selecionados para este estudo, dado seu estágio de evolução que permite preservar características físicas, químicas e mineralógicas das rochas originais. Na região de Lavras, estes solos ocorrem principalmente em relevo ondulado (declive entre 12 e 24%) a forte ondulado (declive entre 24 a 45%), podendo desenvolver diferentes classes de solos B texturais diretamente relacionadas com o material de origem.

Selecionaram-se, então, para tal estudo, perfis de alteração de solos com horizonte B textural, desenvolvidos a partir de rochas individualizadas petrológica e geoquimicamente, ou seja: Podzólico Vermelho-Escuro, originado da alteração de rocha de composição diorítica (intermediária) do Domínio geológico Diorito do Rosário (Quéméneur, inédito); Podzólico Vermelho-Amarelo, formado pela intemperização de rocha de composição granítica (ácida)

do Domínio geológico Granito de Itutinga (Quéméneur, inédito); e Brunizém Avermelhado desenvolvido a partir de rocha básica do *Greenstone-belt* de Lavras (Quéméneur, inédito), observando-se correlações com variações das classes de solos formados versus material originário.

Neste capítulo foram discutidas as características morfológicas, físicas e químicas dos perfis de alteração dos solos selecionados para tal estudo, assim denominados: Perfil MHL-1 - Podzólico Vermelho-Escuro, Perfil MHL-2 - Podzólico Vermelho-Amarelo e Perfil MHL-3 - Brunizém Avermelhado, assim como suas correlações com a composição química/mineralógica do material de origem.

4 - REFERENCIAL TEÓRICO

A classificação dos solos é importante porque organiza cientificamente o conhecimento sobre os mesmos, auxiliando estudos de pedogênese, tornando possível prever seu comportamento através da obtenção de dados experimentais (Prado, 1995).

O solo é constituído por minerais, poros ocupados por ar e água e material orgânico. A fração mineral, reflexo do material de origem e grau de evolução dos solos, pode ser constituída de partículas de tamanhos variáveis desde argila até matacões. A fração argila do solo é composta de argilas silicatadas e oxídicas, onde ocorrem muitos fenômenos, destacando-se a troca iônica, em decorrência da presença de cargas negativas ou positivas. As cargas

negativas, presentes na superfície dos minerais de argila e da matéria orgânica são capazes de adsorver cátions como Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , H^+ e outros. A esse fenômeno dá-se o nome de capacidade de troca de cátions (CTC ou T) (Resende et al., 1995).

A textura do solo refere-se à proporção das frações argila, silte e areia de um solo, também denominada de granulometria do solo. Depende da rocha de origem e do grau de intemperização do solo (Resende et al., 1995). A textura do solo constitui-se numa das características físicas mais estáveis, sendo considerada elemento de grande importância na descrição, identificação e classificação do solo (Ferreira, 1994).

As partículas de tamanho areia e silte sob a ação do intemperismo, transformam-se em argila, cuja constituição química e mineralógica depende do material de origem e grau de intemperização sofrido. Os minerais resistentes permanecem sob a forma de areia e a fração silte fica sendo o ponto de máxima instabilidade, isto é, somente os solos mais jovens é que apresentam alto teor de silte. A fração silte serve, então, como indicadora do grau de intemperização do solo ou do potencial dele de conter minerais primários facilmente intemperizáveis. A relação silte/argila tem sido proposta como índice de grau de intemperismo do solo, onde em valores abaixo de 0,15, o solo é considerado muito intemperizado segundo Van Wambeke (1962) (Resende et al., 1995).

A análise química total tem por finalidade determinar os elementos que permitem caracterizar os solos, as argilas e os minerais. A partir dela, podem-se obter dados sobre a gênese dos solos e o comportamento dinâmico dos vários elementos durante o intemperismo. Para se comparar dois horizontes de um perfil

ou dois perfis entre si, em vez de utilizar os teores dos elementos, são utilizadas as relações moleculares, cuja principais são: $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ denominada de Ki e $\text{SiO}_2/(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)$ denominada de Kr (Verdade, 1972).

A fração argila é geralmente constituída de substâncias resultantes da decomposição das rochas, e de combinações destes produtos em compostos definidos, refletindo as ações dos agentes de formação do solo, sendo importante no estudo da gênese e classificação dos solos. As propriedades físicas, tais como consistência e estrutura têm na fração argila o elemento primordial. Os produtos de decomposição das rochas podem, em parte, ser eliminados e em parte retidos no perfil. Destes, uma porção, sofrendo cristalização ou desidratação podem permanecer na mesma forma e outra pode recombinar para formar outros produtos, dos quais os mais importantes são os minerais de argila (silicatos hidratados de alumínio). Geralmente, há perda de sílica e bases e concentração de óxidos de ferro e alumínio, sendo que parte do último se combina com a sílica para formar silicatos hidratados de alumínio, particularmente a caulinita. Ao se analisarem os valores da relação molecular $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ (Ki), podem-se tirar as seguintes conclusões: (1) valores abaixo de 1,8 indicam a presença de hidróxido de alumínio livre - gibbsita; (2) valores entre 1,8 e 2,0 indicam a dominância de minerais do grupo da caulinita; (3) valores entre 2,0 e 4,0 indicam a presença de minerais do tipo 2:1; e (4) valores acima de 4 indicam a dominância de minerais 2:1, constituintes principais dos solos de regiões temperadas (Verdade, 1972).

As análises químicas para o estudo da fração argila na determinação do teor de SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 e P_2O_5 , podem-ser realizadas através da solubilização com ácido sulfúrico, $d = 1,47$, diretamente na amostra do solo. Esse processo não pode ser considerado como total, pois teoricamente ataca apenas a

fração argila que se deseja estudar. Contudo, pode deixar de dissolver todos os integrantes da fração argila e dissolver partículas de outras frações. Apesar destas restrições, é um método adequado, porque, principalmente nos solos tropicais, os resultados são próximos ao método da fusão, que permite obter as mesmas inferências (Verdade, 1972).

O ferro presente nos minerais primários, geralmente no estado reduzido, após a intemperização é liberado através de reação combinada de oxidação e hidrólise, precipitando-se como óxidos de ferro. Uma pequena parte desse ferro oxidado pode ser incorporada em minerais secundários argilosos ou complexada pela matéria orgânica. No entanto, a maior parte é precipitada na forma de óxidos ou hidróxidos férricos, originando a goethita ou ferrihidrita, que por sua vez origina a hematita (Schwertmann e Taylor, 1977), sendo que a quantidade de óxidos férricos em um solo, ou teor de Fe_2O_3 , é geralmente proporcional ao teor desse elemento no material originário. Os óxidos de ferro estão presentes nos solos brasileiros nas formas cristalinas e amorfas, influenciando no comportamento químico e adsorção de íons e em atributos como estrutura, consistência, erodibilidade e outros. As diferenças entre os valores obtidos pelos métodos analíticos do oxalato de amônio ácido (Schwertmann, 1964) e o método do citrato bicarbonato ditionito de sódio (Mehra e Jackson, 1960) representam a quantidade de ferro presente na forma de óxidos cristalinos. A relação $Fe_{\text{oxalato}}/Fe_{\text{ditionito}}$ tem sido utilizada para demonstrar a presença de óxidos de ferro cristalinos no solo, uma vez que a relação decresce com o aumento da idade do solo. Essa metodologia analítica na determinação de óxidos férricos no solo auxilia a interpretação da correlação entre composição química/mineralógica do material de origem e classes de solo formadas, assim como o grau de evolução das mesmas.

5 - MATERIAL E MÉTODOS

5.1 - MATERIAL

As rochas em seus diferentes estágios de alteração e os solos sobre elas desenvolvidos constituíram os materiais de trabalho desta pesquisa. A escolha de perfis de alteração para amostragem obedeceu a critérios de campo tais como evidências nítidas da filiação do solo com as rochas sotopostas e posição topográfica - classe de declive, partindo-se de áreas de domínios geológicos/petrográficos discriminados geoquimicamente.

Os solos selecionados para estudos foram os solos com horizonte B textural, por preservarem características físicas, químicas e mineralógicas das rochas originais, dado o seu grau de evolução. Selecionaram-se, então, para tal estudo, perfis de classes de solo com horizonte B textural de ocorrência na região estudada, desenvolvidos a partir de materiais geológicos litoquimicamente distintos, ou seja: Podzólico Vermelho-Escuro - Perfil MHL-1, desenvolvido sobre diorito milonitizado (rocha ígnea de composição intermediária, com 55 a 66% de SiO₂) do Domínio geológico nomeado de Diorito do Rosário (Queméneur, inédito); Podzólico Vermelho-Amarelo - Perfil MHL-2, formado a partir de rochas granitóides de composição granítica (rocha ígnea de composição ácida, teor de SiO₂ > 66%) do Domínio geológico intitulado Granito de Itutinga (Queméneur, inédito); e Brunizém Avermelhado, tendo como material de origem um piroxenito granulitizado (rocha ígnea básica, com teor de SiO₂ de 55 a 45%) do Domínio geológico denominado *Greenstone-belt* de Lavras (Queméneur, inédito). A correlação regional predominante de solos B texturais com rochas

básicas e ultrabásicas (teor de $\text{SiO}_2 < 45\%$) é a Terra Roxa Estruturada; no entanto, durante as investigações de perfis desta classe de solo, foi constatada a ocorrência de Brunizém Avermelhado, selecionado para tal estudo.

A localização desses perfis dentro da área estudada encontra-se na figura 3.1 - Localização da área e perfis estudados. As coordenadas geográficas dos perfis são: perfil MHL-1-Podzólico Vermelho-Escuro: $44^\circ 53' \text{W}$ e $21^\circ 16' 38'' \text{S}$; perfil MHL-2 - Podzólico Vermelho-Amarelo: $44^\circ 35' 28'' \text{W}$ e $21^\circ 17' 50'' \text{S}$; e perfil MHL-3: $45^\circ 02' 56'' \text{W}$ e $21^\circ 11' \text{S}$.

5.2 - MÉTODOS

5.2.1 - CAMPO

Foram realizadas várias campanhas de campo, observando a correlação entre material de origem e classes de solo formado, obedecendo aos critérios topográficos estabelecidos para a formação de solos com B textural; ou seja, relevo ondulado (declive entre 12 a 24%) a forte ondulado (declive entre 24 e 45%). A maior dificuldade encontrada nessa etapa foi a seleção de perfis completos, desenvolvidos a partir de rochas frescas, com horizonte C representativo das diversas fases de alteração, além de horizonte B₁ significativo.

Durante os trabalhos de campo foram feitas a seleção e descrição morfológica dos perfis de alteração (segundo Lemos e Santos, 1984), seguidas de amostragens de material para análises físicas e químicas, coletando-se cerca de 2

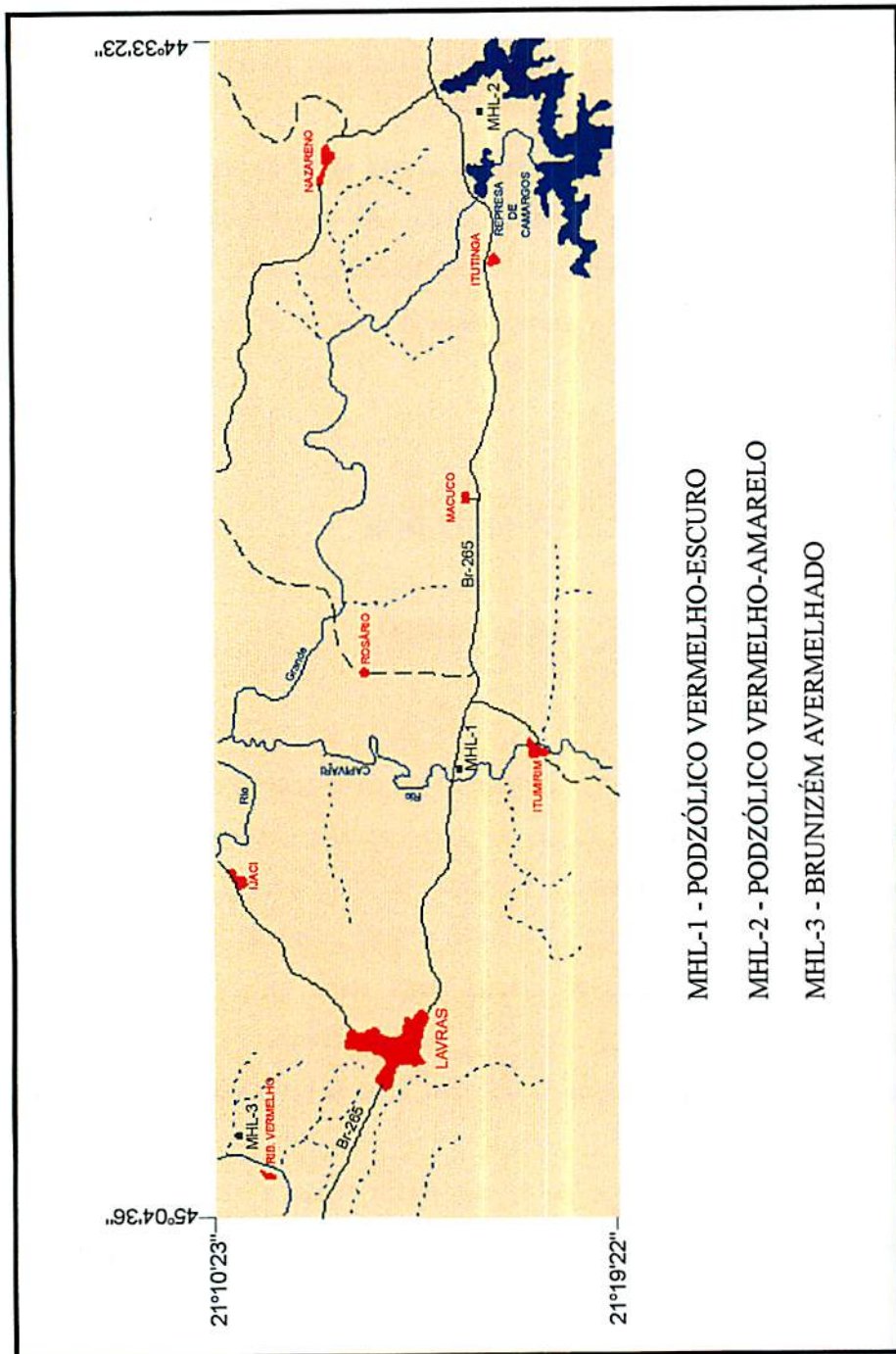


FIGURA 3.1 - Localização da área e perfis estudados

Kg de material ao longo dos horizontes de cada perfil. Procurou-se coletar amostras representativas desde a rocha fresca até o solum, baseando-se em observações dos estágios de alteração, tais como características texturais preservadas das rochas originais, composição mineralógica original, coloração, friabilidade e características morfológicas do solum.

5.2.2 - LABORATÓRIO

As amostras coletadas nas campanhas de campo foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneiras de 2 mm de malha, sendo, então, designadas de Terra Fina Seca ao Ar (TFSA).

Análises físicas

- **Análise granulométrica (textura do solo)** - A análise granulométrica foi determinada através da metodologia descrita por Day (1965), citada como *método da pipeta*. A argila total foi obtida através da dispersão química com NaOH 0,1 N e a dispersão mecânica foi realizada em garrafas de Stohman, através de agitação lenta por 4 horas em agitador Wiegner;

- **Densidade de partículas** - obtida pelo método do picnômetro (Blake e Hartge, 1986);

- **Densidade do solo** - determinada através do método do torrão parafinado (EMBRAPA, 1979b).

Análises químicas

- Os elementos constituintes do complexo sortivo dos solos foram determinados segundo metodologias descritas por Vettori (1969) e EMBRAPA (1979b). Ca, Mg e Al trocáveis foram extraídos com KCl 1N. A extração do P e K foi realizada em solução com H₂SO₄ 0,025N + HCl 0,05N. A extração do H foi feita com acetato de cálcio 1N a pH 7. O pH foi determinado potenciométricamente utilizando-se relação solo/água e solo/KCl de 1:2,5. O carbono orgânico foi determinado através da oxidação da matéria orgânica com bicromato de potássio a 8%. A partir destes dados, calculou-se a soma de bases (S), CTC a pH 7 (T), saturação de bases (V) e saturação de alumínio (m), sendo:

$$S = Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^{+}$$

$$CTC = S + Al^{3+} + H$$

$$V = (S/CTC) \times 100$$

$$m = (Al^{3+}/S + Al^{3+}) \times 100$$

- Óxidos totais - A análise de óxidos totais foi determinada no extrato do ataque sulfúrico (SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, TiO₂ e P₂O₅) segundo metodologia descrita por Vettori (1969) e EMBRAPA (1979b). As relações moleculares Ki e Kr foram calculadas pelas equações:

$$Ki = SiO_2/Al_2O_3 \times 1,70$$

$$Kr = SiO_2 \times 1,7/Al_2O_3 + (Fe_2O_3 \times 0,64)$$

- Óxidos de ferro - A extração de óxidos de Fe livre totais (Fe_{dicionito}) da fração argila foi feita no extrato do DCB (Ditionito-Citrato-Bicarbonato de sódio)

(Mehra e Jackson, 1960), com dosagem do Fe através de espectrofotometria de absorção atômica (Krisna Murti, Volk e Jackson, 1966); os óxidos de ferro menos cristalinos da fração argila foram extraídos segundo metodologia de Schwertmann (1964) utilizando-se oxalato de amônio ácido.

6 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 - CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA

Na individualização das classes de solo foram empregados diversos critérios estabelecidos com base em características consideradas distintivas de horizontes ou *pedons* e cujas definições completas encontram-se em EMBRAPA (1988) e Oliveira, Jacomine e Camargo (1992).

PERFIL MHL -1

DATA - 29/07/97

CLASSIFICAÇÃO - PODZÓLICO VERMELHO ESCURO EUTRÓFICO argila de atividade baixa A moderado textura média/argilosa fase floresta tropical subcaducifólia relevo forte ondulado.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS - Br-265 a cerca de 12 Km da cidade de Lavras, MG (sentido Lavras - São João Del Rei), próximo à margem direita do Rio Capivari, município de Itutinga, MG, Folha topográfica IBGE Itumirim, escala 1:50.000, coordenadas geográficas 44°53'W e 21°16'38"S, coordenadas UTM 512,2 W e 7647,2 S.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL - Corte de estrada, orientação N75E, localizado em terço médio de encosta, com cerca de 45% de declive e sob vegetação de resquícios de Mata Atlântica e Mata ciliar (floresta tropical subcaducifólia).

ALTITUDE - 840 m

LITOLOGIA - Diorito milonitizado

FORMAÇÃO GEOLÓGICA - Complexo Lavras - *Greenstone-belt* de Lavras

PERÍODO - Pré-Cambriano/Arqueano

MATERIAL ORIGINÁRIO - Produto de meteorização do diorito milonitizado

PEDREGOSIDADE - Ligeiramente pedregoso

ROCHOSIDADE - Ligeiramente rochoso

RELEVO LOCAL - Forte ondulado

RELEVO REGIONAL - Forte ondulado

DRENAGEM - Bem drenado

EROSÃO - Laminar ligeira a moderada

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA - Floresta tropical subcaducifólia

USO ATUAL - Pastagem/Área de preservação ambiental

CLIMA - Cwb (Köppen)

DESCRITO E COLETADO POR: M.P.C Lacerda, H. Andrade e R. J.

T. P. de Resende

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- A 0 - 20 cm, vermelho-amarelado (5YR 4/6, úmido), vermelho-amarelado (5YR 4/6, úmido amassado), vermelho-amarelado (5YR 5/6, seco) e

vermelho-amarelado (5YR 5/8, seco destorroado); franco-argiloso; moderada muito pequena a média granular e moderada pequena a média blocos angulares a subangulares; duro, firme, ligeiramente pegajoso e ligeiramente plástico; transição gradual a difusa e ondulada. (Amostras: MHL - 1A)

B_t 20 - 80 cm, vermelho (2,5YR 4/8, úmido), vermelho (2,5YR 5/8, seco) e vermelho (2,5YR 5/8, seco triturado); franco-argiloso a franco-argilo-siltoso; forte pequena a grande prismática que se desfaz em forte muito pequena e média blocos angulares a subangulares; cerosidade forte e abundante; ligeiramente duro, firme, pegajoso e plástico a muito plástico; transição gradual a difusa e ondulada. (Amostras MHL-1B)

BC 80 - 130 cm, vermelho (2,5YR 5/8, úmido) e vermelho-claro (2,5YR 5,5/8 seco) e vermelho-claro (2,5YR 6/8, seco triturado); franco-siltos; fraca muito pequena a pequena blocos angulares a subangulares; cerosidade fraca e comum; macio, friável, ligeiramente pegajoso e plástico a ligeiramente plástico; transição gradual a difusa e ondulada. (Amostras MHL-1BC)

C₁ 130 - 260 cm, vermelho (2,5YR 5/8, úmido) e vermelho a vermelho-claro (2,5YR 5,5/8, seco), variegado pouco pequeno e difuso amarelo-avermelhado (7,5YR 6/8, úmido e seco) e bruno muito escuro (10YR 3/2, úmido e seco); franco-siltoso; estrutura litológica original (foliação milonítica N75E/subvertical) pouco preservada; macio, friável, ligeiramente pegajoso e ligeiramente plástico; transição difusa e descontínua. (Amostras MHL-1C₁)

- C₂** 260 - 430 cm⁺, bruno-forte (7,5YR 5/8, úmido) e amarelo-avermelhado (7,5YR 6/8, seco) variegado pouco, médio e distinto bruno muito escuro (10YR 3/2, úmido e seco) e amarelo-avermelhado (5YR 6/8, úmido e seco); franco-siltoso; estrutura foliada original discretamente preservada (foliação milonítica N75E/subv.); macio, friável, pegajoso e ligeiramente plástico, transição difusa e descontínua, alternada lateralmente com C₃. (Amostras MHL-1C₂)
- C₃** 260 - 430⁺cm, vermelho a vermelho-claro (2,5YR 5,5/8, úmido) e vermelho-claro (2,5YR 6/8, seco), variegado(alternado em faixas milimétricas) comum, médio e distinto amarelo-avermelhado (7,5YR 6/8 úmido e seco) e branco-rosado (7,5YR 8/2, úmido e seco) e pouco, pequeno e difuso bruno muito forte (10YR 3/2, úmido e seco; franco-siltoso; estrutura original foliada preservada; macio, friável, ligeiramente pegajoso e ligeiramente plástico. (Amostras MHL-1C₃)

RAÍZES Muitas no A, comuns no B, e raras no BC.

Observações Presença de linha constituída por grãos de quartzo angulosos e arredondados, de espessura menor que 1 cm, na profundidade de 85 cm. O corte do barranco é paralelo à foliação milonítica da rocha (N75E); portanto, as amostras indeformadas foram, então, coletadas perpendicularmente ao mesmo.
(foto 3.1)

PERFIL - MHL - 2

DATA - 30/08/97

CLASSIFICAÇÃO - PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO ÁLICO
argila de atividade baixa A moderado textura média fase campo tropical relevo
montanhoso.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS -
Estrada secundária que une a Br-265 ao Iate Clube de Camargos, cerca de 2 Km
a partir do entroncamento com a Br-265, município de Nazareno, MG, Folha
topográfica IBGE Itutinga, escala 1:50.000, coordenadas geográficas
44°35'28"W e 21°17'50"S e coordenadas UTM 542,4 W e 7.644,9 S.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O
PERFIL - Corte em estrada vicinal abandonada paralela à estrada de acesso ao
Iate Clube de Camargos, cerca de 70% de declive e sob vegetação de campo sujo.

ALTITUDE - 970 M

LITOLOGIA - Granitóide de granulação média a fina, orientação
biotítica moderada a fraca, composição granítica. Presença de porções
pegmatóides quartzo-feldspáticas irregularmente distribuídas.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA - Granito de Itutinga

PERÍODO - Pré-Cambriano - Transamazônico

MATERIAL ORIGINÁRIO - Produto de alteração do granitóide

PEDREGOSIDADE - Pedregoso

ROCHOSIDADE - Moderadamente rochoso

RELEVO LOCAL - Montanhoso

RELEVO REGIONAL - Ondulado

EROSÃO - Laminar moderada

DRENAGEM - Bem drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA - Campo tropical

USO ATUAL - Pastagem

CLIMA - Cwb (Köppen)

DESCRITO E COLETADO POR - M. P. C. Lacerda, H. Andrade e R.
J. T. P. de Resende

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- A 0 - 55 cm, bruno-avermelhado-escuro (5YR 4/2, úmido e úmido amassado), cinzento-rosado (5YR 6/2, seco) e cinzento-rosado a cinzento avermelhado (5YR 5,5/2, seco triturado); franco; moderada muito pequena a média granular e moderada a fraca pequena a média blocos angulares a subangulares; ligeiramente duro, friável a firme, ligeiramente pegajoso e ligeiramente plástico; transição gradual e ondulada. (Amostras MHL-2A)
- B_t 55 - 95 cm, vermelho-amarelado (5YR 5/8, úmido), bruno-avermelhado-claro (5YR 6/4, seco e seco triturado); franco-argilo-arenoso; moderada muito pequena a grande blocos angulares a subangulares; cerosidade moderada e comum; ligeiramente duro a macio, friável, ligeiramente pegajoso e ligeiramente plástico, transição difusa e ondulada. (Amostras MHL-2B)
- BC 95 - 130 cm, vermelho-claro (2,5YR 6/6, úmido), rosado a bruno-avermelhado-claro a amarelo-avermelhado (5YR 6,5/5, seco e seco triturado); franco-arenoso; fraca muito pequena a média blocos angulares a subangulares; cerosidade fraca e pouca; ligeiramente duro a macio,

friável, ligeiramente pegajoso e ligeiramente plástico; transição difusa e irregular. (Amostras MHL-2BC)

C₁ 130 - 210 cm, branco (5YR 8/0, úmido) e rosado (5YR 7/3, seco); franco-arenoso; estrutura granítica original ligeiramente preservada; solto, muito friável, não pegajoso e ligeiramente plástico, transição gradual e irregular. (Amostras MHL-2C₁)

C₂ 210 cm⁺, bruno avermelhado-claro (2,5YR 6/4, úmido), bruno-avermelhado-claro a rosado (5YR 6,5/4, seco), variegado comum a abundante, médio e difuso branco-rosado (7,5YR 8/2, úmido e seco) e branco (5YR 8/1, úmido e seco); franco-arenoso; estrutura granítica original discretamente preservada; solto a macio, muito friável a solto, ligeiramente a não pegajoso e ligeiramente plástico, transição gradual e descontínua. (Amostras MHL-2C₂)

RAÍZES Presentes no A e Bt.

Observações Ocorrência de blocos (matações) de rocha ao longo de todo o perfil.
(foto 3.2)

PERFIL - MHL - 3

DATA - 31/07/97

CLASSIFICAÇÃO - BRUNIZÉM AVERMELHADO textura média/argilosa fase floresta tropical subcaducifólia relevo forte ondulado.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS - Partindo-se do entroncamento da Br-265 para Ribeirão Vermelho, percorrem-se cerca de 4,3 Km, e segue-se por mais aproximadamente 1,5 Km em estrada vicinal de orientação NNE, na localidade denominada de Niterói, município de Ribeirão Vermelho, MG, Folha topográfica IBGE Nepomuceno, escala 1:50.000, coordenadas geográficas 45°02'56"W e 21°11'S, coordenadas UTM 494,9W e 7.657,6S.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL - Corte em estrada vicinal, orientação N70E, cerca de 35% de declive e sob cobertura de gramíneas.

ALTITUDE - 820 m

LITOLOGIA - Piroxênio-granulito (Norito)

FORMAÇÃO GEOLÓGICA - *Greenstone-belt* de Lavras

PERÍODO - Pré-Cambriano - Arqueano

MATERIAL ORIGINÁRIO - Produto de meteorização do piroxênio-granulito

PEDREGOSIDADE - Pedregosa a muito pedregosa

ROCHOSIDADE - Moderadamente rochosa

RELEVO LOCAL - Forte ondulado

RELEVO REGIONAL - Forte ondulado

EROSÃO - Laminar moderada

DRENAGEM - Bem drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA - Floresta tropical subcaducifólia

USO ATUAL - Pastagem

CLIMA - Cwb (Köppen)

DESCRITO E COLETADO POR - M. P. C. Lacerda, H. Andrade e R. J. T. P. de Resende

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- A** 0 - 18 cm, bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/3,5, úmido), bruno-avermelhado (5YR 4/4, seco) e bruno avermelhado-escuro (2,5YR 3/4, seco triturado); franco; moderada muito pequena a média granular e fraca a moderada pequena a média blocos subangulares; ligeiramente duro a macio, firme a friável, ligeiramente pegajoso a pegajoso e plástico; transição gradual e ondulada. (Amostras MHL-3A)
- B₁** 18 - 55 cm, vermelho-escuro (2,5YR 3/6, úmido), vermelho-escuro (2,5YR 3/6, seco) e vermelho-escuro a vermelho (2,5YR 3,5/6, seco triturado); argiloso; forte a moderada pequena a média prismática que se desfaz em forte pequena a média blocos angulares a subangulares; cerosidade forte e abundante; duro a muito duro, firme a muito firme, pegajoso a muito pegajoso e plástico a muito plástico; transição gradual e ondulada. (Amostras MHL-3B)
- BC** 55 - 85 cm, vermelho a vermelho-escuro (2,5YR 3,5/6, úmido) e vermelho-escuro (2,5YR 3/6, seco) e vermelho a vermelho-escuro (2,5YR 3,5/6, seco triturado); argiloso; forte muito pequena a média blocos angulares a subangulares; cerosidade forte e comum a abundante; duro, firme, pegajoso e plástico; transição gradual e ondulada. (Amostras MHL-3BC)
- C₁** 85 - 120 cm, vermelho-amarelado a amarelo-avermelhado (5YR 5,5/8, úmido) e vermelho-amarelado (5YR 5/8, seco), variegado comum

pequeno a médio e difuso vermelho-escuro (2,5YR 3/6, úmido e seco), amarelo-avermelhado (7,5YR 6/8, úmido e seco), branco-rosado (7,5YR 8/2, úmido e seco) e bruno forte (7,5YR 3/2, úmido e seco); franco-arenoso; estrutura litológica original foliada (N30W/75NE) incipientemente preservada; ligeiramente duro, firme, ligeiramente pegajoso e ligeiramente plástico a plástico; transição gradual e irregular. (Amostras MHL-3C₁)

C₂ 120 - 230 cm, bruno-amarelado (10YR 5/8, úmido) e amarelo-brunado (10YR 6/8, seco), variegado pouco pequeno e difuso bruno-muito-escuro (10YR 3/2, úmido e seco); franco-arenoso; estrutura litológica original foliada discretamente preservada; macio a ligeiramente duro, muito friável, ligeiramente a não pegajoso e ligeiramente a não plástico; transição gradual e irregular. (Amostras MHL-3C₂)

C₃ 230 cm⁺, branco-rosado (7,5YR 8/2, úmido e seco) alternado com cinzento-muito-escuro (7,5YR 3/0, úmido e seco), variegado comum pequeno e difuso amarelo-avermelhado (7,5YR 6/8, úmido e seco); areia-franca; estrutura litológica foliada original (N30W/75NE) muito bem preservada; muito duro a duro, friável a muito firme, não a ligeiramente pegajoso e não a ligeiramente plástico. (Amostras MHL-3C₃)

RAÍZES Muitas no A, B₁ e BC, raras no C₁.

Observações Atividade da argila no A = 47,18 cmol/Kg; no B₁ = 32,12 cmol/Kg
(foto 3.3)



FOTO 3.1 - PODZÓLICO VERMELHO-ESCURO EUTRÓFICO argila de atividade baixa A moderado textura média/argilosa, formado por intemperização de rocha de composição diorítica - Diorito do Rosário (Perfil MHL-1)

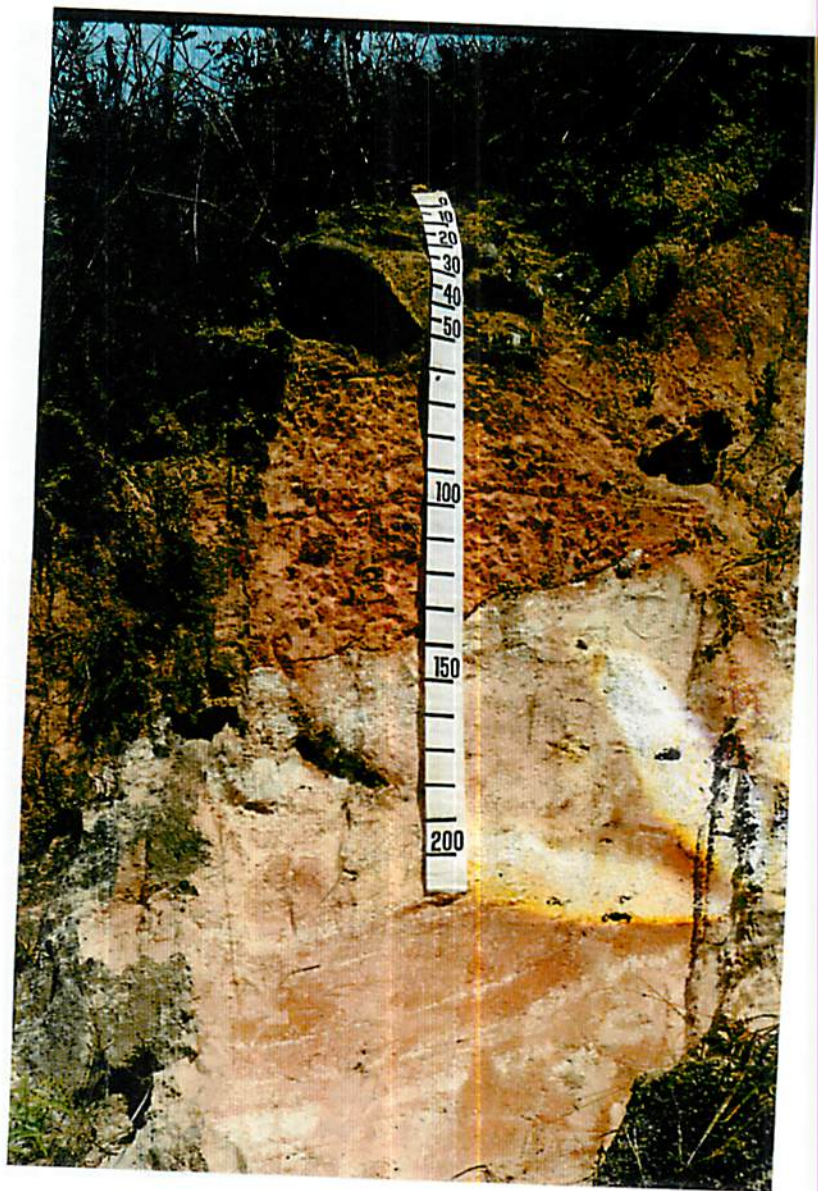


FOTO 3.2 - PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO ÁLICO argila de atividade baixa A moderado textura média, formado por intemperização de rocha de composição granítica - Granito de Itutinga (Perfil MHL-2)

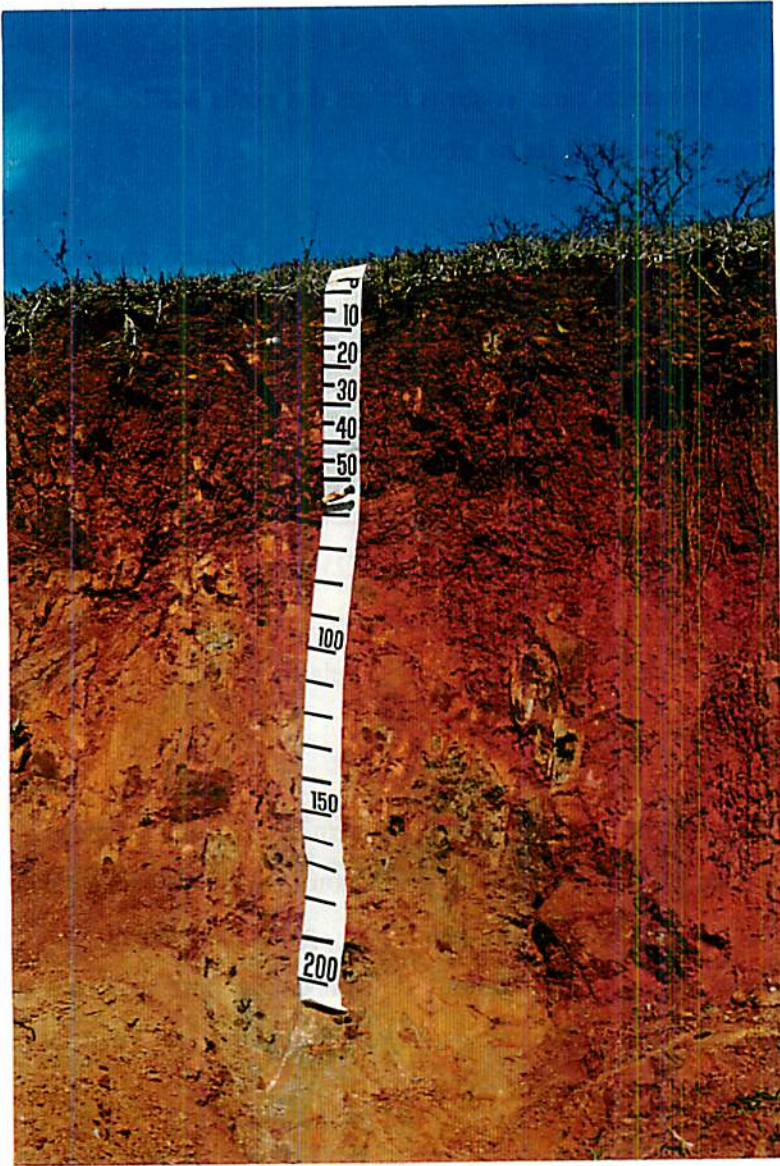


FOTO 3.3 - BRUNIZÉM AVERMELHADO formado por intemperização de rocha de composição básica - Piroxenito granulitizado- *Greenstone-belt* de Lavras (Perfil MHL-3).

6.2 - CARACTERIZAÇÃO FÍSICA

As principais características físicas dos perfis MHL-1, MHL-2 e MHL-3 encontram-se representadas na tabela 3.1.

Para o perfil MHL-1, Podzólico Vermelho-Escuro, observa-se predomínio da fração silte, que apresenta acréscimo do sólum ao alterito (horizontes C₁, C₂ e C₃), caracterizando classe textural franco-argilosa e franco-argilosa a franco-argilo-siltosa para os horizontes A e B, respectivamente, e franco-siltosa para o alterito. A relação silte/argila é alta no sólum, refletindo baixo grau de intemperização, segundo valores estabelecidos por Resende (1990), característica textural desses solos. Van Wambeke (1962) propõe o uso da relação silte/argila como subsídio para distinção de diferentes estágios de intemperismo; uma vez que o avanço do intemperismo caracteriza-se pela transformação das partículas mais grosseiras em partículas mais finas.

O gradiente textural B/A é 1,2, porém não exclui a definição do horizonte B textural em função da ocorrência de estrutura em blocos com cerosidade forte e abundante associada. A densidade de partículas reflete a composição mineralógica do material originário, de composição intermediária - diorito, que apresenta em sua constituição, minerais portadores de Fe e Mg, além da associação primária de óxidos de Fe e Ti.

No perfil desenvolvido sobre rocha granitóide, perfil MHL-2, caracterizado como Podzólico Vermelho-Amarelo, a análise granulométrica mostra predomínio da fração areia crescente do sólum ao alterito, estabelecendo

classe textural franca a franca-argilosa-arenosa para os horizontes A e B_t, respectivamente, e franco-arenosa para o alterito. Tal como observado no perfil MHL-1, a relação silte/argila é alta, caracterizando, também, baixo grau de intemperização. A classificação textural é reflexo do material de origem e estágio de evolução desse solo, constituído essencialmente de minerais mais resistentes ao intemperismo, persistindo na fração areia.

O gradiente textural B/A, 1,17, não exclui a caracterização do horizonte B textural, também pela ocorrência de estrutura em blocos com cerosidade moderada e comum. A densidade de partículas é relativamente mais baixa, em decorrência da composição mineralógica da rocha original.

O perfil MHL-3, caracterizado como Brunizém Avermelhado, desenvolvido a partir de piroxenito granulitizado, apresenta maior variação na análise granulométrica. O horizonte B_t e BC apresentam discreto predomínio de argila, caracterizando classe textural argilosa. O alterito mostra predomínio da fração areia, crescente em profundidade, definindo classe textural franco-arenosa a areia-franca. A relação silte/argila é moderada no horizonte B_t, mostrando a rápida meteorização sofrida pelo piroxenito granulitizado a partir do alterito, onde a relação silte/argila é alta.

A densidade de partículas é $> 3,00$ nos horizontes A e B_t, refletindo a composição mineralógica do piroxenito granulitizado, rocha enriquecida em Fe, com ocorrência de óxidos primários deste elemento.

O gradiente textural B/A é 3,25, atendendo os requisitos estabelecidos para a definição do horizonte B textural.

TABELA 3.1 - Características físicas dos perfis MHL-1, MHL-2 e MHL-3

Amostra	Horiz.	Prof. _cm_	Areia	Silte g/Kg	Argila	Silte/ Argila	Classificação Textural		Ds	Dp
							SBCS ⁽¹⁾	EMBRAPA ⁽²⁾	g/cm ³	
PERFIL MHL-1										
MHL-1A	A	0-20	300	400	300	1,34	fr-arg	médio	1,28	2,91
MHL-1B	B ₁	20-80	200	440	360	1,22	fr-arg a fr-arg-silt	médio a argiloso	1,47	2,71
MHL-1BC	BC	80-130	240	590	170	3,47	fr-silt	médio	0,97	2,67
MHL-1C ₁	C ₁	130-260	260	650	90	7,22	fr-silt	médio	1,07	2,67
MHL-1C ₂	C ₂	260-430 ⁺	260	670	70	9,57	fr-silt	médio	1,06	2,72
MHL-1C ₃	C ₃	260-430 ⁺	320	600	80	7,50	fr-silt	médio	1,18	2,66
PERFIL MHL-2										
MHL-2A	A	0-55	500	320	180	1,78	fr	médio	1,38	2,57
MHL-2B	B ₁	55-95	560	230	210	1,09	fr-arg-aren	médio	1,35	2,62
MHL-2BC	BC	95-130	520	360	120	3,00	fr-aren	médio	1,27	2,64
MHL-2C ₁	C ₁	130-210	660	280	60	4,67	fr-aren	médio	1,31	2,78
MHL-2C ₂	C ₂	210 ⁺	620	330	50	6,60	fr-aren	médio	1,25	2,66
PERFIL MHL-3										
MHL-3A	A	0-18	480	360	160	2,25	fr	médio	1,25	3,08
MHL-3B	B ₁	18-55	140	340	520	0,65	arg	argiloso	1,45	3,19
MHL-3BC	BC	55-85	200	390	410	0,95	arg	argiloso	1,09	2,98
MHL-3C ₁	C ₁	85-120	560	320	120	2,67	fr-aren	médio	1,09	2,81
MHL-3C ₂	C ₂	120-230	700	260	40	6,50	fr-aren	médio	1,51	2,99
MHL-3C ₃	C ₃	230 ⁺	740	220	40	5,50	areia-fr	arenoso	2,16	2,95

Em que: Ds = densidade do solo, Dp = densidade de partículas, arg = argiloso, fr = franco, silt = siltoso, aren = arenoso, ⁽¹⁾ = Classes texturais do material constitutivo de horizontes e perfis de solos segundo Lemos e Santos (1984), adotado pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - SBCS; ⁽²⁾ = Classificação textural simplificada segundo EMBRAPA (1979a)

6.3 - CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA

6.3.1 - COMPLEXO SORTIVO

Os dados químicos apresentados na tabela 3.2, para os perfis MHL-1, MHL-2 e MHL-3, mostram-se compatíveis com a origem diferenciada desses solos, sendo reflexo da composição química e mineralógica das rochas originais, uma vez que apresentam grau de evolução equivalente. A presença de bases trocáveis naturalmente em um solo, depende da presença desses elementos na composição mineralógica das rochas que o originaram, assim como do grau de intemperização/dessilicatização do solo, o que corresponde ao grau de liberação das bases.

Os valores de ΔpH para todos os horizontes dos três perfis estudados são negativos, cujas magnitudes dos valores indicam a existência significativa de carga negativa, característica de solos de grau intermediário a baixo de intemperização, com possível presença de argilo-minerais 2:1.

O perfil MHL-1, originado de diorito, rocha de composição intermediária que apresenta minerais portadores de Fe, Mg e Ca em sua constituição mineralógica essencial, apresenta valores altos a médios de soma de bases trocáveis, devido aos valores altos a médios de Mg, Ca e subordinadamente K, que decrescem do solum ao alterito, refletindo grau de intemperização/dessilicatização crescente do alterito ao solum e evolução pedogenética ao longo do perfil. Os valores de Al e Al + H são médios a baixos,

TABELA 3.2 - Características químicas dos perfis MHL-1, MHL-2 e MHL-3.

Amostra	pH		Bases trocáveis						S	t	T	m	V	C	MO
	H ₂ O	KCl	Ca	Mg	Al	Al+H	K	P							
PERFIL MHL-1															
MHL-1A	5,7	4,5	4,1	2,3	0,0	3,6	59	6	6,6	6,6	10,2	0	65	18	31
MHL-1B	6,2	5,4	2,0	1,9	0,0	2,1	22	1	4,0	4,0	6,1	0	65	5	9
MHL-1BC	5,7	4,5	0,6	3,6	0,2	1,9	9	1	4,2	4,4	6,1	5	69	1	2
MHL-1C ₁	5,4	4,2	0,8	5,0	0,2	1,7	14	1	5,8	6,0	7,5	3	77	1	2
MHL-1C ₂	6,2	4,0	0,7	8,1	0,2	1,3	16	1	8,8	9,0	10,1	2	87	1	1
MHL-1C ₃	6,5	4,2	0,6	6,0	0,0	1,3	19	1	6,6	6,6	7,9	0	84	1	1
PERFIL MHL-2															
MHL-2A	5,0	4,0	0,5	0,2	1,2	5,6	61	2	0,9	2,1	6,5	58	13	11	19
MHL-2B	5,2	4,1	0,4	0,1	1,1	4,0	30	1	0,6	1,7	4,6	66	13	4	8
MHL-2BC	5,3	4,1	0,4	0,2	1,1	3,2	25	1	0,7	1,8	3,9	62	17	2	3
MHL-2C ₁	5,3	4,2	0,4	0,2	0,7	1,9	30	1	0,7	1,4	2,6	51	26	1	1
MHL-2C ₂	5,3	4,3	0,8	0,2	0,7	1,9	30	1	1,1	1,8	3,0	39	36	1	1
PERFIL MHL-3															
MHL-3A	5,7	4,7	8,50	4,8	0,0	3,6	50	1	13,4	13,4	17	0	79	21	36
MHL-3B	6,5	5,4	12,5	4,3	0,0	2,6	17	1	16,8	16,8	19,4	0	87	6	0
MHL-3BC	6,6	5,3	14,8	6,4	0,0	2,6	12	1	21,2	21,2	23,8	0	89	4	7
MHL-3C ₁	6,6	5,0	13,4	5,2	0,0	2,1	12	1	18,6	18,6	20,7	0	90	1	1
MHL-3C ₂	6,6	4,6	13,8	6,7	0,0	1,9	64	1	20,7	20,7	22,6	0	92	1	1
MHL-3C ₃	6,6	5,0	7,70	2,8	0,0	1,7	11	1	10,5	10,5	12,2	0	86	1	1

Em que S = soma de bases trocáveis, t = CTC efetiva, T = CTC a pH 7, m = saturação de Al da CTC efetiva, V = saturação de bases da CTC a pH

7. C = carbono orgânico e MO = matéria orgânica

representando média a baixa acidez trocável e caracterizando, então, saturação de bases, CTC efetiva e CTC a pH 7 com valores altos a médios e saturação por alumínio baixa. Essas características definem o Podzólico Vermelho-Escuro do perfil MHL-1 como eutrófico, apresentando boa fertilidade natural.

Já no perfil MHL-2, classificado como Podzólico Vermelho-Amarelo, evoluído a partir de alteração de rocha de composição granítica, os dados químicos mostram baixos valores de soma de bases trocáveis em função dos valores baixos de Ca e Mg, além do K, com exceção do seu teor no horizonte A. A rocha original apresenta minerais portadores de potássio em sua composição mineralógica essencial, no entanto, são minerais resistentes ao intemperismo químico, tais como feldspato potássico (ortoclásio e microclina) e moscovita, o que justifica os baixos valores de K, especialmente no alterito, nesse estágio de intemperização. Já os valores de acidez trocável são altos a médios no solum, estabelecendo, então, baixa saturação de bases trocáveis e CTC efetiva, e, conseqüentemente, valores altos de saturação por Al. Essas características químicas caracterizam o Podzólico Vermelho-Amarelo estudado como solo álico, com problemas na fertilidade natural.

Em contrapartida, o solo estudado no perfil MHL-3, que apresenta como material de origem uma rocha básica - piroxenito granulitizado, mostra valores altos de soma de bases e médios a baixos de acidez trocável. Conseqüentemente, valores de saturação de bases, CTC efetiva e CTC a pH 7, são altos, e a saturação por alumínio é baixa, ao longo de todo o perfil. Esses dados refletem a composição química/mineralógica do piroxenito granulitizado, enriquecida em Fe, Mg e Ca, que apesar dos dois últimos serem cátions de lixiviação rápida, permanecem no perfil devido ao baixo-moderado grau de intemperização com

grande suprimento destes a partir dos minerais primários. Caracteriza-se, então, solo eutrófico, com excelente fertilidade natural, sendo caracterizado como Brunizém Avermelhado, pois além destas características, apresenta horizonte A chernozêmico e argila de atividade alta, conforme mostra a tabela 3.3.

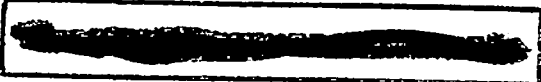
TABELA 3.3 - Atividade da argila no perfil MHL-3.

Amostras	Horizonte	Argila	T _{solo}	C	T _{argila}
		_____%____	____cmol/Kg____	_____%____	____cmol/Kg____
MHL-3A	A	16	17	2,1	47,18
MHL-3B	B ₁	52	19,4	0,6	32,12
MHL-3BC	BC	41	23,8	0,4	53,66

Em que $T_{argila} = \{ [T_{solo} - (\% C_{org} \times 4,5)] \times 100 / \% \text{ argila} \}$ (Bennema e Camargo, 1964)

6.3.2 - COMPORTAMENTO DE SiO₂, Al₂O₃ E Fe₂O₃ EXTRAÍDOS PELO ATAQUE SULFÚRICO

No processo de formação dos solos a partir da rocha, alguns elementos químicos são lixiviados; em consequência outros sofrem concentração relativa. O estudo de perdas e ganhos na formação dos solos e alteração das rochas relacionadas, pode ser feito a partir da análise da composição química do material de origem e seus produtos de alteração, através dos teores de óxidos constituintes e sua distribuição ao longo do perfil de alteração. Nos levantamentos de solos no Brasil a digestão da amostra por H₂SO₄ (Vettori, 1969 e EMBRAPA, 1979b) tem



vido usada na fração terra fina para estimar a composição da fração argila, determinando-se Si, Al, Fe, Ti e P expressos na forma de óxidos. Esse processo não pode ser considerado como total, pois teoricamente ataca apenas a fração argila; contudo, pode deixar de dissolver todos os integrantes da fração argila e dissolver partículas de outras frações. Deve-se, então, não considerar as quantidades ponderais dos óxidos, mas suas relações moleculares (Verdade, 1972).

A tabela 3.4 mostra os teores de óxidos constituintes obtidos pela extração ao ataque sulfúrico e a distribuição destes óxidos ao longo do perfil é apresentada nos diagramas da figura 3.2.

Pela interpretação dos diagramas da figura 3.2, mostrando a distribuição de SiO_2 , Al_2O_3 , e Fe_2O_3 ao longo dos perfis estudados, nota-se, de uma maneira genérica, incremento dos teores de Fe_2O_3 e Al_2O_3 do alterito ao sólum, especialmente em relação ao horizonte subsuperficial B. No perfil MHL-1, o valor de SiO_2 mostra decréscimo do alterito em direção ao sólum, em função do processo de dessilicatização com conseqüente acumulação relativa de Fe_2O_3 e Al_2O_3 ao longo do desenvolvimento do perfil. Já nos perfis MHL-2 e MHL-3, o comportamento do SiO_2 não mostra essa tendência, observando-se um acréscimo do alterito em direção ao sólum, depois decrescendo no horizonte A. Tal fato pode ser justificado pela magnitude dos valores de SiO_2 , que são baixos, e, portanto, não mostram a tendência de dessilicatização crescente. A sílica tende a mobilizar-se e ser lixiviada mais rapidamente que o Fe e o Al, resultando em acúmulo de colóides no solo, que poderão se enriquecer em óxidos desses elementos. Esses

TABELA 3.4- Teores de óxidos extraídos pelo ataque sulfúrico dos perfis MHL- 1, MHL-2 e MHL-3

Amostra	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	Ki	Kr	Al ₂ O ₃ / Fe ₂ O ₃
	%							
PERFIL MHL-1								
MHL-1A	18,79	20,86	8,08	0,777	0,075	1,53	1,23	4,05
MHL-1B	20,72	24,23	10,00	0,769	0,050	1,45	1,15	3,80
MHL-1C ₂	25,18	20,40	7,90	0,743	0,036	2,10	1,68	4,05
MHL-1C ₃	21,68	20,40	5,70	0,690	0,015	1,81	1,53	5,62
PERFIL MHL-2								
MHL-2A	11,78	15,30	2,00	0,220	0,025	1,31	1,21	12,01
MHL-2B	15,68	18,36	2,00	0,220	0,012	1,45	1,36	14,41
MHL-2C ₁	14,64	16,07	1,00	0,088	0,10	1,55	1,49	25,22
MHL-2C ₂	14,90	16,58	1,70	0,182	0,007	1,53	1,43	15,31
PERFIL MHL-3								
MHL-3A	18,00	12,75	14,50	0,406	0,065	2,40	1,39	1,38
MHL-3B	28,26	23,21	21,30	0,543	0,041	2,07	1,30	1,71
MHL-3C ₁	26,22	18,62	18,30	0,615	0,033	2,39	1,47	1,60
MHL-3C ₂	22,64	13,52	13,30	0,566	0,028	1,85	1,75	1,60

colóides inorgânicos aparecem no solo entre o estado amorfo e o cristalino, entre estes últimos ressaltando a goethita, hematita e gibbsita.

As relações moleculares desses óxidos podem ser melhor utilizadas na interpretação da evolução ao longo do perfil de alteração. Para os perfis MHL-1,

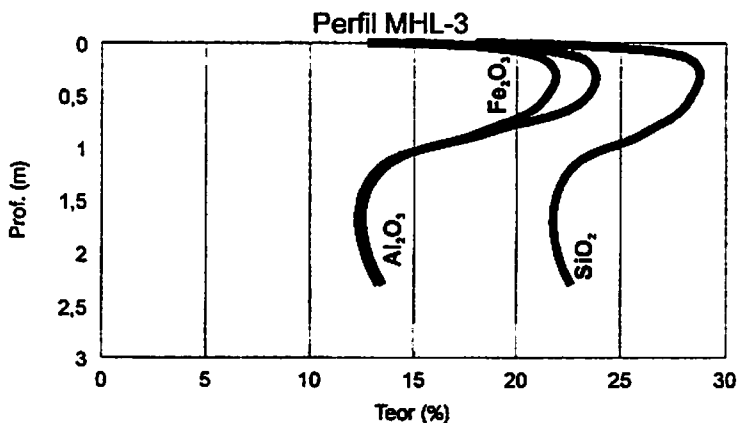
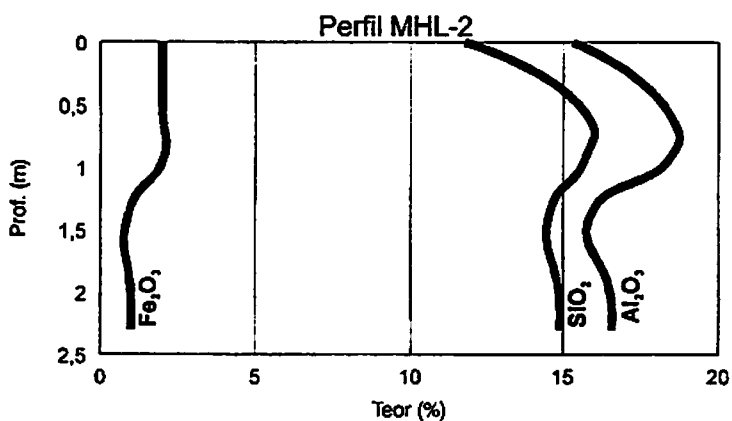
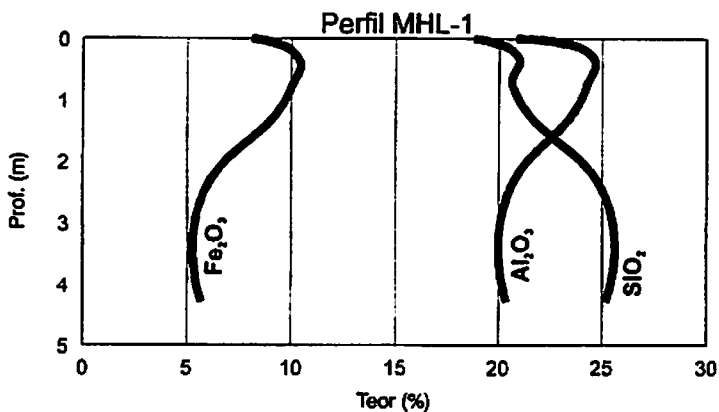


FIGURA 3.2 - Diagramas de distribuição de SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 , extraídos ao ataque sulfúrico nos perfis MHL-1, 2 e 3

2 e 3, os índices K_i e K_r são discretamente menores no solum, especialmente no horizonte B_1 , em relação ao alterito, mostrando o processo de dessilicatização moderada na evolução do perfil e/ou acúmulo relativo de Al_2O_3 e Fe_2O_3 . Já a relação Al_2O_3/Fe_2O_3 também apresenta ligeiro decréscimo no solum em relação aos horizontes C nos perfis MHL-1 e MHL-2, ressaltando-se maior concentração de Fe_2O_3 em relação ao Al_2O_3 .

Os valores de K_i e K_r são baixos, de modo geral, excetuando-se os valores de K_i no perfil MHL-3, que atinge o valor de 2,4 no solum, indicando a presença de argilo-minerais 2:1, enquanto nos demais ocorre domínio de mineralogia caulinitica e ocorrência de gibbsita (Verdade, 1972).

Quanto à interpretação do grau de intemperização dos solos estudados através dos índices K_i e K_r , devem-se levar em consideração as características texturais dos mesmos, sabendo-se da potencialidade de dissolução pelo ataque sulfúrico. O grau de intemperização estabelecido pela relação silte/argila revelou-se baixo a moderado, sendo, portanto, desaconselhável a utilização dos índices K_i e K_r na avaliação do grau de intemperização dos solos estudados (perfis MHL-1, MHL-2 e MHL-3), visto que a extração pelo ataque sulfúrico teoricamente ataca apenas a fração argila, e os teores de argila desses solos são ainda baixos em função do seu grau de intemperização.

Para os perfis analisados, observa-se boa correlação do material de origem com a distribuição dos teores de óxidos constituintes pela extração ao ataque sulfúrico, especialmente com relação aos teores de Fe_2O_3 e TiO_2 . Assim sendo, o perfil MHL-1, Podzólico Vermelho-Escuro, mostra valor de 10,00% de Fe_2O_3 no horizonte B_1 , cuja concentração em minerais formados por óxidos

secundários de ferro reflete em coloração vermelha (2,5YR 4/8), responsável pela classificação do solo (horizonte B textural com matiz mais vermelha que 5YR, valor < 5 e croma < 7 e teores de Fe_2O_3 < 15% ou Fe_2O_3 > $3,75 + (0,0625 \times \% \text{argila})$), segundo Camargo et al. (1982) e Oliveira, Jacomine e Camargo (1992). Os teores de Fe_2O_3 e TiO_2 mostram-se compatíveis com o material de origem - diorito - rocha ígnea de composição intermediária.

O perfil MHL-2, Podzólico Vermelho-Amarelo, apresenta baixo teor de Fe_2O_3 e TiO_2 , proporcionando coloração vermelho-amarelada (5YR 5/8) no horizonte B_t em função da baixa concentração de minerais constituídos por óxidos de ferro no solo, reflexo da composição do material de origem - granitóide (rocha ígnea ácida), onde minerais primários portadores de ferro são constituintes secundários e acessórios. O teor de Fe_2O_3 ao ataque sulfúrico é 2,00 %; no entanto, a coloração do horizonte B_t é responsável pela classificação do solo. Os Podzólicos Amarelos apresentam coloração normalmente mais amarelada, com matiz 10 ou 7,5 YR, segundo Oliveira, Jacomine e Camargo (1992).

O perfil MHL-3 - Brunizém Avermelhado, derivado de piroxenito granulitizado (rocha básica), apresenta elevado teor de Fe_2O_3 no horizonte B_t, ou seja 21,30%, também em função da composição química e mineralógica da rocha original, enriquecida em minerais primários portadores de Fe, Mg e Ca, assim como óxidos primários de ferro. O processo de alteração ocasiona uma elevada concentração de óxidos secundários de ferro no solo (hematita e goethita principalmente, com predomínio do primeiro), especialmente no horizonte B_t, originando coloração vermelha-escura (2,5 YR 3/6).

6.3.3 - COMPORTAMENTO DOS ÓXIDOS DE FE

A extração de Fe com DCB (Ditionito-Citrato-Bicarbonato de sódio) - Fe_e é bastante eficiente na extração de óxidos de Fe *livres*, não extraíndo, a princípio, o ferro presente na estrutura dos minerais silicatados. A extração com oxalato de amônio ácido na ausência de luz - Fe_o remove apenas os óxidos de ferro menos cristalinos ou amorfos. Uma das maneiras de se estimar o grau de cristalinidade dos óxidos de ferro presentes no solo é através da relação Fe_o/Fe_e , em que vários trabalhos no Brasil vêm conduzindo determinações de formas de ferro *livres* e menos cristalinos (Dematté e Holowaychuck, 1977; Rodrigues e Klamt, 1978; Potter e Kämpf, 1981; Pombo et al., 1982; Schwertmann e Kämpf, 1983; Kämpf e Dick, 1984; Gualberto, 1984; Queiroz e Klamt, 1985; Gualberto, Resende e Curi, 1987; Andrade, 1990 e Fontes, 1993).

A tabela 3.5 apresenta os dados da extração de ferro com DCB e oxalato de amônio ácido e suas relações. Os diagramas da figura 3.3 mostram suas distribuições ao longo do perfis MHL-1, 2 e 3. Em função da característica textural dos solos estudados, foi realizada uma correção dos valores obtidos na fração argila para TFSA, para melhor avaliar as relações de teores de Fe_2O_3 .

Os teores de Fe extraídos pelo DCB, expressos em % de Fe_2O_3 , cuja distribuição encontra-se esquematizada nos digramas da figura 3.4, evidenciam uma distribuição semelhante àquela obtida pelo ataque sulfúrico: teores mais elevados de Fe_2O_3 , em direção ao topo do perfil, com maior concentração no horizonte B, seguido por decréscimo no horizonte A, possivelmente em função da ocorrência de matéria orgânica, que possibilita um ambiente mais redutor,

favorecem a formação de óxidos de ferro mal cristalizados (Kämpf, 1988; Kämpf e Curi, 1991). Esta interpretação é melhor visualizada a partir da observação do diagrama de distribuição de teor de Fe_2O_3 corrigido para TFSA.

TABELA 3.5- Teores de Fe_2O_3 extraídos com DCB e oxalato de amônio e relações para os perfis MHL-1, 2 e 3

Amostra	Horiz./ Prof.(cm)	Fe_d	Fe_d (TFSA)	Fe_o	Fe_o (TFSA)	Fe_o/Fe_d	Fe_o/Fe_t (TFSA)
%							
PERFIL MHL-1							
MHL-1A	A/20-80	16,94	5,08	0,64	0,193	0,038	0,63
MHL-1B	Bv/20-80	20,03	7,21	0,12	0,041	0,006	0,72
MHL-1BC	BC/80-130	22,72	3,86	0,04	0,007	0,002	-
MHL-1C ₁	C ₁ /130-260	22,22	2,00	1,25	0,112	0,056	-
MHL-1C ₂	C ₂ /260-430	23,84	1,67	0,12	0,008	0,005	0,21
MHL-1C ₃	C ₃ /430*	20,45	1,63	0,17	0,014	0,008	0,29
PERFIL MHL-2							
MHL-2A	A/0-55	3,14	0,56	0,28	0,050	0,088	0,28
MHL-2B	Bv/55-95	3,85	0,81	0,28	0,059	0,072	0,40
MHL-2BC	BC/95-130	5,33	0,64	0,25	0,031	0,048	-
MHL-2C ₁	C ₁ /130-210	1,38	0,08	0,09	0,006	0,068	0,08
MHL-2C ₂	C ₂ /210*	8,29	0,41	0,23	0,12	0,028	0,24
PERFIL MHL-3							
MHL-3A	A/0-18	20,93	3,35	1,44	0,231	0,069	0,23
MHL-3B	Bv/18-55	22,00	11,44	0,07	0,037	0,003	0,54
MHL-3BC	BC/55-85	22,27	9,13	0,05	0,021	0,002	-
MHL-3C ₁	C ₁ /85-120	23,22	2,77	0,39	0,046	0,017	0,15
MHL-3C ₂	C ₂ /120-230	20,30	0,81	0,06	0,002	0,003	0,06
MHL-3C ₃	C ₃ /230*	23,91	0,96	1,30	0,052	0,054	-

Em que Fe_d = Teor de Fe extraído pelo DCB (ditionito-citrato-bicarbonato de sódio) expresso em % de Fe_2O_3 sendo Fe_d (TFSA) corrigido para TFSA; Fe_o = Teor de Fe extraído pelo oxalato de amônio, expresso em % de Fe_2O_3 , sendo Fe_o (TFSA) corrigido para TFSA; Fe_d/Fe_t = Relação do teor de Fe extraído pelo DCB, corrigido para TFSA e Fe total extraído pelo ataque sulfúrico, ambos expressos em % de Fe_2O_3

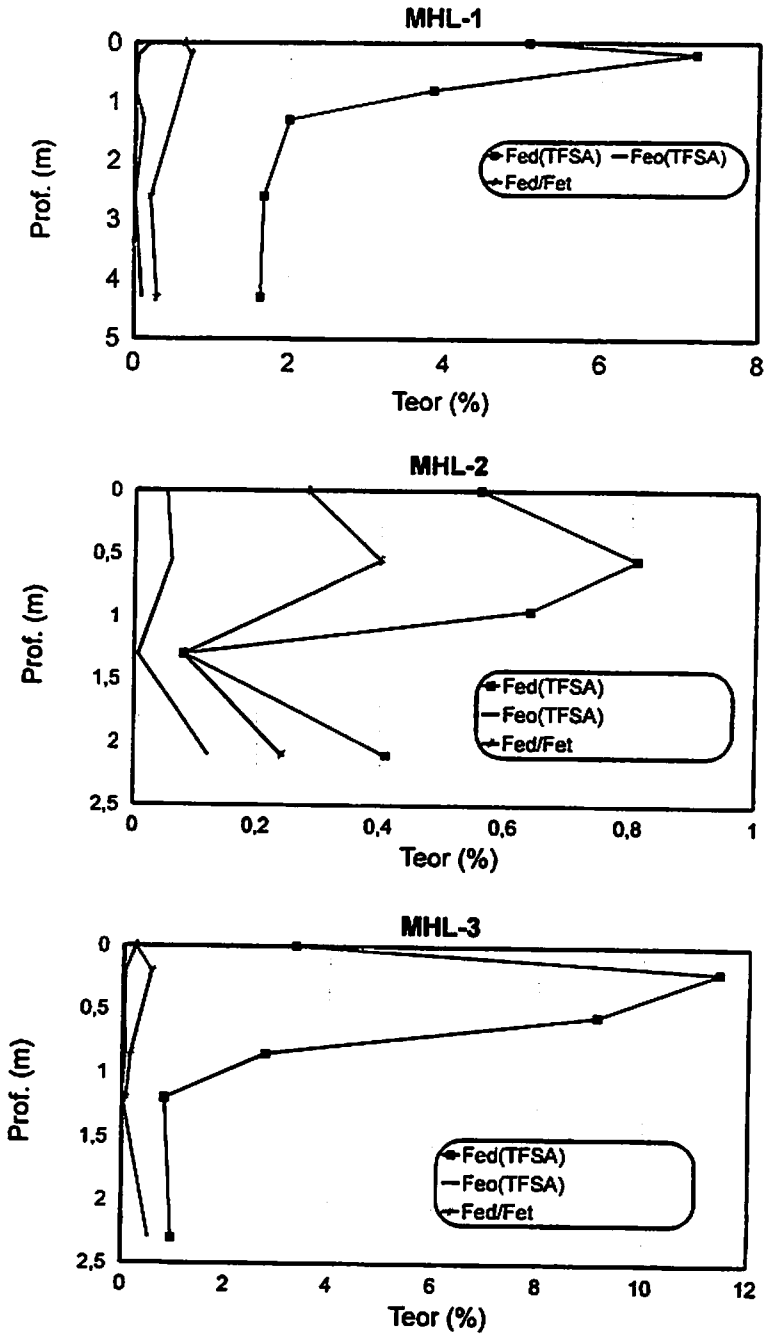


FIGURA 3.3 - Diagramas de distribuição de Fe_d , Fe_o e Fe_t/Fe_t nos perfis MHL - 1, 2 e 3

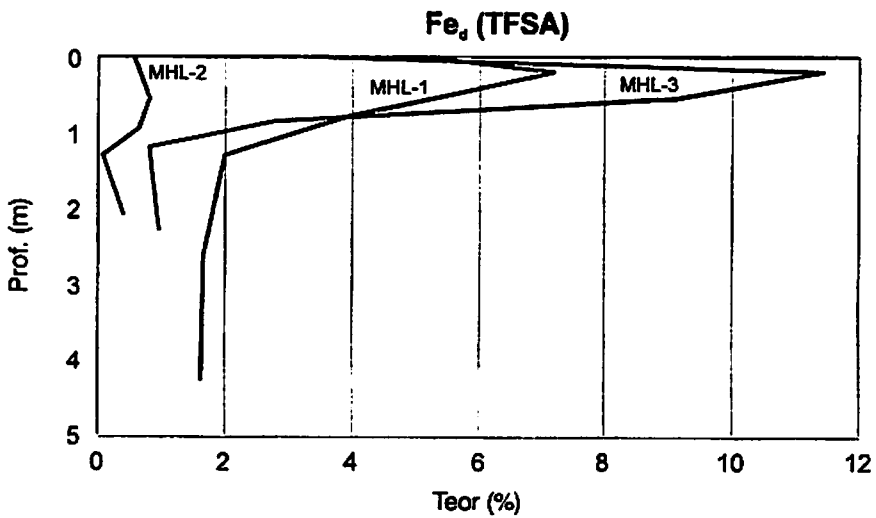
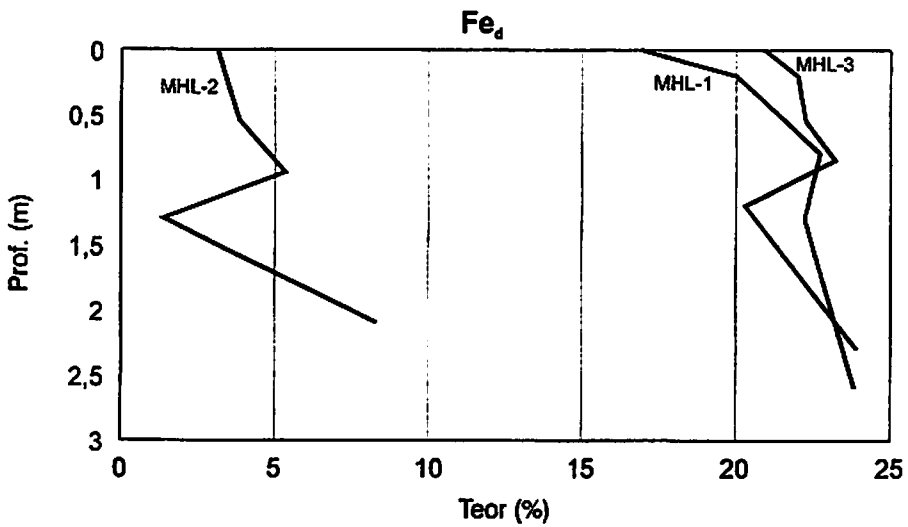


FIGURA 3.4 - Diagramas de distribuição dos teores de Fe₂O₃ extraídos no DCB (ditionito-citrato-bicarbonato de sódio) total na fração argila - Fe_d e corrigido para TFSA-Fe_d(TFSA) para os perfis MHL-1, 2 e 3

Através da extração com oxalato de amônio a distribuição de % de Fe_2O_3 correspondente aos óxidos menos cristalinos, apresentada nos diagramas da figura 3.5, mostra-se irregular para os três perfis analisados. No entanto, podem-se observar algumas tendências gerais:

- decréscimo nos horizontes C mais profundos seguido de acréscimo nos horizontes C_1 ,
- diminuição em direção aos horizontes BC e B_1 , seguida de acréscimo no horizonte A

Esses dados evidenciam que no decorrer da evolução dos perfis, durante os processos de intemperização, o ferro liberado experimenta estágios diferenciados de cristalinidade das diversas fases de alteração representadas no alterito (horizontes C_1 , C_2 e C_3), atingindo maior cristalinidade no horizonte B_1 . O acréscimo do Fe_0 no horizonte A justifica-se tal como discutido anteriormente para o decréscimo de Fe_4 , devido à maior concentração de matéria orgânica.

Tal fato pode ser melhor visualizado através das relações Fe_0/Fe_4 , também denominadas de grau de cristalinidade dos óxidos de ferro e índice de atividade do ferro, apresentados na figura 3.6. Os valores são baixos, indicando domínio dos óxidos de ferro cristalinos (bem cristalizados), tal como hematita e goethita, refletindo as condições de boa drenagem e aeração, em ambientes favoráveis à formação de formas estáveis de óxidos de ferro.

A razão Fe_0/Fe_4 para a TFSA, em que Fe_4 corresponde ao teor de Fe_2O_3 total extraído pelo ataque sulfúrico, encontra-se apresentada na figura 3.6. O comportamento é semelhante à distribuição do Fe_4 ao longo dos perfis estudados,

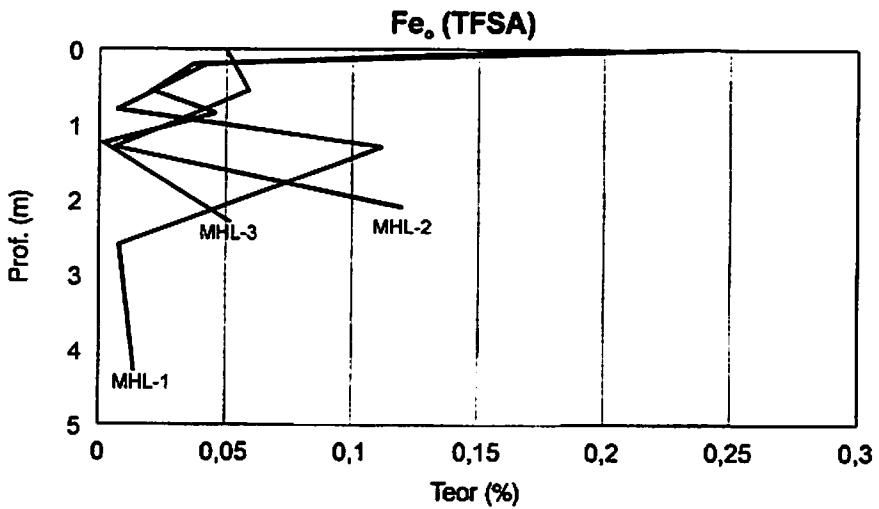
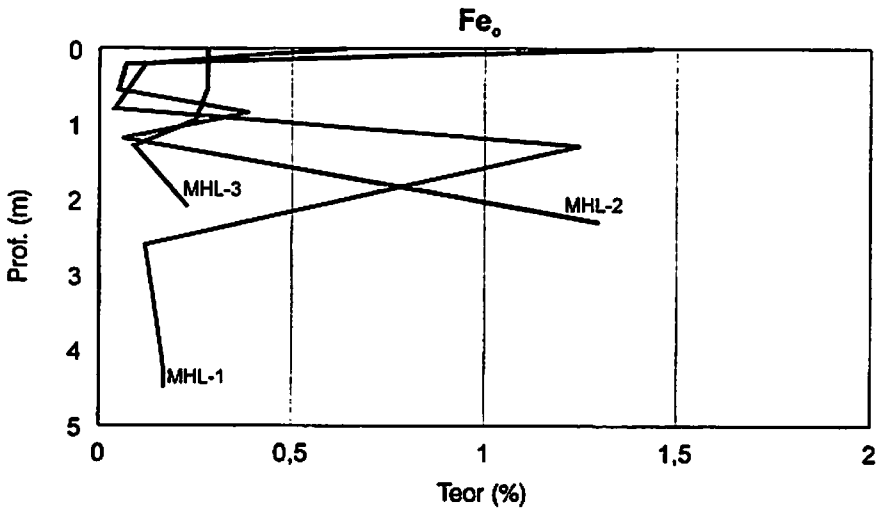


FIGURA 3.5 - Diagramas de distribuição dos teores de Fe₂O₃, extraídos pelo oxalato de amônio na fração argila total - Fe_o e corrigido para TFSA - Fe_o(TFSA) para os perfis MHL-1, 2 e 3

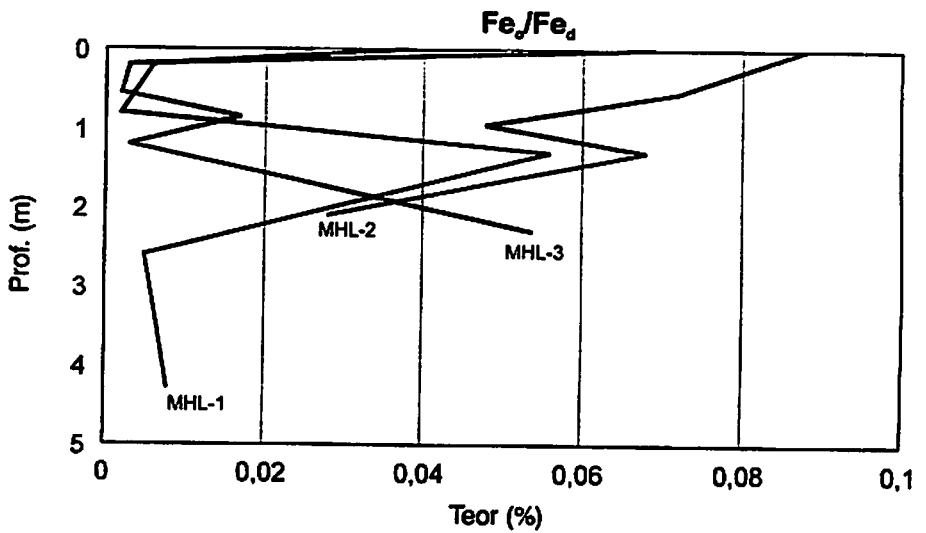
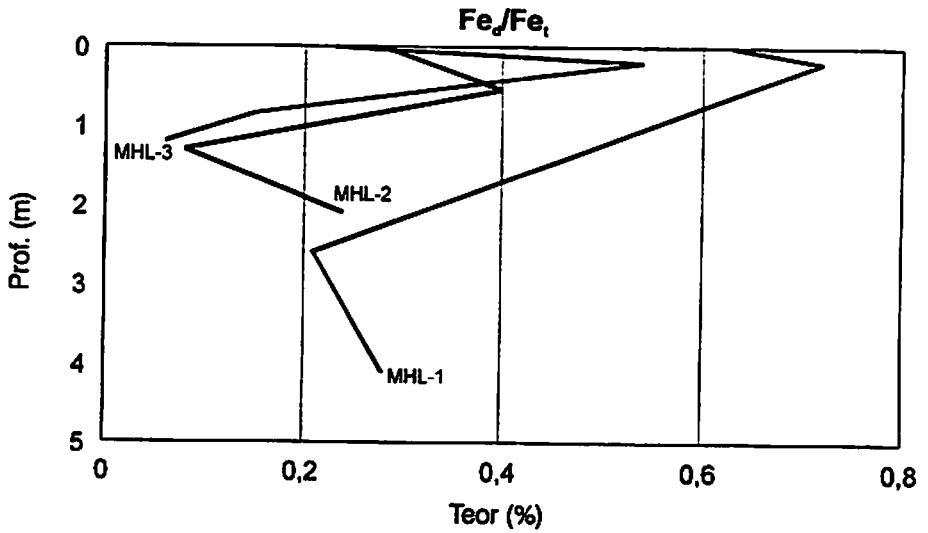


FIGURA 3. 6 - Diagramas de distribuição das relações entre teores de Fe_2O_3 , para os perfis MHL-1, 2 e 3

Fe_2/Fe_4 = Fe_2O_3 , extraído pelo DCB (Fe_4) e ataque sulfúrico (Fe_2)

Fe_2/Fe_2 = Fe_2O_3 , extraído pelo oxalato de amônio (Fe_2) e DCB (Fe_2)

mostrando os maiores valores nos horizontes B_t dos perfis MHL-1, 2, e 3, com, respectivamente, 72%, 40% e 54% do ferro na estrutura de óxidos bem cristalizados (Kämpf, 1988). Indica, também, a distribuição de ferro em outros minerais, particularmente argilo-minerais 2:1 e também magnetita e maghemita, pouco extraídas pelo tratamento com DCB.

Esses dados encontram-se em conformidade com o grau de evolução dos solos estudados e principalmente com o material de origem. Assim, o perfil derivado de rocha básica (MHL-3, Brunizém Avermelhado) apresenta teores mais elevados de ferro do que aquele derivado de rocha ígnea ácida (MHL-2, Podzólico Vermelho-Amarelo). Já o perfil MHL-1, Podzólico Vermelho-Escuro, originado a partir de rocha ígnea de composição intermediária, apresenta padrão de distribuição intermediário, de uma maneira generalizada, destacando-se sua relação Fe_d/Fe_e , que mostra maior concentração de óxidos de ferro, possivelmente reflexo de maior liberação deste elemento e/ou ambiente mais propício para cristalização de formas estáveis de óxidos de ferro.

7 - CONCLUSÕES

A caracterização morfológica dos perfis estudados permitiu a discriminação de classes de solos B texturais, originados pela alteração de materiais originários distintos, individualizados a partir de classificação geoquímica e petrológica

O estudo das características físicas e químicas desses solos ao longo dos perfis de alteração, desde o alterito até o sólum, mostrou boa correlação com a composição química e mineralógica das rochas originais.

A caracterização textural comportou-se como reflexo do material originário: - Perfil MHL-1: originado da alteração de rocha de composição diorítica, de constituição mineralógica intermediária, apresentou predomínio da fração silte em todo o perfil, com acréscimo do sólum ao alterito; - Perfil MHL-2: apresentou predomínio da fração areia, crescente do sólum ao alterito, reflexo da composição mineralógica da rocha de origem, essencialmente constituída de minerais resistentes ao intemperismo, persistindo na fração areia; - Perfil MHL-3 mostrou predomínio de argila nos horizontes B_t e BC, e fração areia no alterito, demonstrando rápida meteorização dos minerais constituintes da rocha básica a partir do alterito.

A relação silte/argila no sólum dos perfis MHL-1 e 2 é alta, refletindo moderado a baixo grau de intemperização, enquanto que no perfil MHL-3, tal relação é menor nos horizontes B_t e BC, evidenciando maior grau de intemperização a partir do alterito. A densidade de partículas nos três perfis estudados é compatível com a composição mineralógica das rochas originais.

A análise química relativa ao complexo sortivo, também mostrou boa correlação com o material de origem: - Perfil MHL-1 (Podzólico Vermelho-Escuro): soma, saturação de bases e CTC efetiva altas a médias; enquanto a acidez trocável e saturação por alumínio são baixas; - Perfil MHL-2 (Podzólico Vermelho-Amarelo): soma, saturação de bases e CTC efetiva baixas e acidez trocável juntamente com a saturação por alumínio altas; -Perfil MHL-3

(Brunizém Avermelhado): soma, saturação de bases e CTC efetivas são altas e a acidez trocável e saturação por alumínio são baixas.

Através da distribuição dos teores de óxidos constituintes extraídos pelo ataque sulfúrico, a correlação geo-pedológica também é verificada, especialmente com relação aos teores de Fe_2O_3 e TiO_2 : O teor de Fe_2O_3 é moderado no perfil MHL-1, baixo no MHL-2 e elevado no MHL-3. A evolução de Fe_2O_3 e Al_2O_3 ao longo dos perfis mostra incremento destes elementos do alterito ao sólum, especialmente em relação ao horizonte B_t , refletindo a tendência de concentração relativa destes durante a pedogênese.

Os valores de K_i nos perfis MHL-1 e 2 são discretamente menores no sólum em relação ao alterito, mostrando processo de dessilicização na evolução do perfil e/ou acréscimo de Fe_2O_3 e Al_2O_3 . No perfil MHL-3, o K_i atinge o valor de 2,4, indicando possível presença de argilo-minerais 2:1, enquanto que nos demais ocorre domínio de mineralogia caulínica e ocorrência de gibbsita.

Os teores de Fe extraídos pelo DCB evidenciam distribuição semelhante à obtida pelo ataque sulfúrico: teores de Fe_2O_3 mais elevados em direção ao topo dos perfis com maior concentração no horizonte B_t , seguido de discreto decréscimo no horizonte A, possivelmente em função da presença de matéria orgânica. Os valores da relação Fe_o/Fe_d são baixos, indicando predomínio de óxidos de ferro cristalinos, tal como hematita e goethita. Estes dados apresentam-se em conformidade com o grau de evolução e material de origem dos solos estudados.

8 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, H. **Evolução de uma sequência de solos argilosos até arenosos no Complexo Guianense da Amazônia Ocidental.** Piracicaba: ESALQ, 1990. 179p. (Tese de doutorado).
- BENEMA, J.; CAMARGO, M.N. **Segundo esboço parcial de classificação de solos brasileiros: subsídio à VI Reunião Técnica de Levantamento de Solos.** Rio de Janeiro: DFEA/DPFS, 1964. 45 p.
- BLAKE, G.R.; HARTGE, K, H. Particle density. IN: KLUTE, A. **Methods of soil analysis.** 2 ed. Madison: Amercian Society of Agronomy, v. 1, 1986. p. 377-388.
- CAMARGO, M. N.; JACOMINE, P. K. T.; OLMOS, I. L. J.; CARVALHO, A. P. **Proposição preliminar de conceituação e distinção de Podzólicos Vermelho-Escuros.** In: EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA: Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Conceituação primária de algumas classes de solos recém-reconhecidos nos levantamentos e estudos de correlação do SNLCS.** Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS, 1982. (Circular Técnica, 1).
- DAY, P. R. Particle fractionation and particle size analysis. In: **Methods of soil analysis physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling.** Madison: American Society of Agronomy, 1965. p. 545-566.
- DEMATTE, J. L. I.; HOLOWAYCHUCK, N. Solos da região de São Pedro, Estado de São Paulo. I - **Propriedades granulométricas e químicas.** *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 1, n. 2/3, p. 92-98, 1977.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de solos. Súmula da X Reunião Técnica de Levantamento de Solos (SNLCS. Série Miscelânea, 1).** Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS, 1979a. 83p.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Manual de método de análise de solo.** Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS, 1979b.

- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA.**
Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de solos. **Critérios para distinção de classes de solos e de fases de unidades de mapeamento: normas em uso pelo SNLCS.** Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS, 1988. 67p. (Documentos, 11).
- FERREIRA, M. M.** Física do solo. Lavras: ESAL/FAEPE, 1994. 63 p.
- FONTES, M. de F.** Análise químico-mineralógica de uma sequência de intemperismo sobre tufito na região de Patos de Minas (MG). Viçosa: UFV, 1993. 92p. (Tese de mestrado)
- GUALBERTO, V.** Caracterização física, química e mineralógica de alguns latossolos, com altos teores de ferro, da Amazônia e do Planalto Central. Viçosa: UFV, 1984. 67p. (Tese de mestrado).
- GUALBERTO, V.; RESENDE, M.; CURI, N.** Química e mineralogia de latossolos, com altos teores de ferro, da Amazônia e do Planalto Central. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, Campinas, v. 11, n. 3. p. 245-252, 1987.
- KÄMPF, N.** Ferro no solo. In: REUNIÃO SOBRE FERRO EM SOLOS INUNDADOS, 1, Goiânia, 1988. *Anais... Goiânia*, 1988. p. 35-71.
- KÄMPF, N.; CURI, N.** Argilominerais e óxidos em solos. In: LEPCSH, I. F.; KÄMPF, N.; ESPÍNDOLA; C. N.; MONIZ, A.C. eds. *Gênese, morfologia, classificação e levantamento de solos.* Campinas: SBCS, 1991. (no prelo)
- KÄMPF, N.; DICK, D. P.** Óxidos de ferro em cambissolos brunos no Rio Grande do Sul e Minas Gerais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 8, n. 2, p. 183-188, 1984.
- KRISNA MURTI, G.S.R.; VOLK, V.V.; JACKSON, M. L.** Colorimetric determination of iron of mixed valency by orthophenantroline. *Soil Science of America Proceedings*, Madison, v. 30, n. 5, p. 663-664, 1966.
- LEMONS, R. C. de; SANTOS, R. D. dos.** Manual de descrição e coleta de solo no campo. 2 ed. Campinas:SBCS/SNLCS, 1984. 45 p.

- MEHRA, O. P.; JACKSON, M. L. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. *Clay and Clay Minerals*, New York, v.7, p. 317-327, 1960.
- OLIVEIRA, J. B. de; JACOMINE, P.K.T.; CAMARGO, M. N. *Classes gerais de solos do Brasil - Guia auxiliar para seu reconhecimento*. 2. ed. Jaboticabal: FUNEP, 1992. 201 p.
- POMBO, L.C.A.; KLAMT, E. KUNRATH, I, GIANLUPPI, D. Identificação de óxidos de ferro na fração argila de latossolo roxo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 6, n. 1, p. 13-17, 1982.
- POTTER, R. O.; KÄMPF, N. Argilo-minerais e óxidos de ferro em cambissolos e latossolos sob regime climático térmico údico no Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 9, n. 1, p. 51-57, 1985.
- PRADO, H. do. *Manual de classificação de solos do Brasil*. 2.ed. Jaboticabal: FUNEP, 1995. 197 p.
- QUEIROZ, S. B.; KLAMT, E. Mineralogia e gênese de Brunizém Avermelhado e Terra Roxa Estruturada Similar na encosta inferior do nordeste do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 9, n. 1, p. 51-57, 1985.
- QUÉMÉNEUR, J. J. G. *Os magmatismos de idade arqueana e transamazônica na região Campos das Vertentes, MG (Sul do Cráton do São Francisco), com base em geoquímica e geocronologia*. Belo Horizonte: CPMTIC/IGC/UFGM. 79p. (inédito)
- RESENDE, M. *Pedologia*. Viçosa: Imprensa Universitária - Universidade Federal de Viçosa, 1990. 100p.
- RESENDE, M.; CURTI, N. REZENDE, S. B. de; CORRÊA, G. F. *Pedologia: base para distinção de ambientes*. Viçosa: NEPUT, 1995. 304p.
- RODRIGUES, T. E.; KLAMT, E. Mineralogia e gênese de uma sequência de solos do Distrito Federal. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 2, n. 2, p. 132-139, 1978.

- ROTA, C. L. Noções gerais de geologia. In: MONIZ, A. C. ed. **Elementos de Pedologia**. São Paulo:Editora Polígono, 1972. p.289-303.
- SCHWERTMANN, U. Differenzierung der eisenoxide des bondes durch extraktion mit ammonium-oxalat-lozung. **Zeitschrift fuer Pflanzenernahrung**, Berlin, v. 105, n. 3, p. 194-202, 1964.
- SCHWERTMANN, U. KÄMPF, N. Óxidos de ferro jovens em ambientes pedogenéticos brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 7, n. 3, p. 251-255, 1983.
- SCHWERTMANN, U; TAYLOR, R. M. Iron oxides. In: DIXON, J. B; WEED, S. B. eds. **Minerals in soil environments**. Madison: Soil Sci. Soc. Am., 1977. p. 145-180.
- VAN WAMBEKE, A. R. Criteria for classifying tropical soils by age. **Journal of Soil Science**, v. 13, p. 124-132, 1962.
- VERDADE, F. da C.. Análise química total. In: MONIZ, A. C. ed. **Elementos de Pedologia**. São Paulo:Editora Polígono, 1972. p. 209-221.
- VETTORI, L. **Métodos de análise de solo**. Equipe de pedologia e Fertilidade de solos. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura. 1969. 24p. (Boletim técnico, 7).

CAPÍTULO 4 - MINERALOGIA, PETROGRAFIA E MICROMORFOLOGIA DE PERFIS DE SOLOS B TEXTURAIIS NA REGIÃO DE LAVRAS, MG

1 - RESUMO

Durante os estudos de correlação geo-pedológica na região de Lavras, MG, foram selecionados perfis de solos B texturais para a avaliação da alteração e investigação de parâmetros de evolução pedológica vinculados ao material de origem, discriminado geoquímica e petrologicamente. Os solos com horizonte B textural foram selecionados para tal estudo, dado seu grau de evolução que permite melhor avaliar características herdadas da rocha original, sendo escolhidas classes de solos B texturais, desenvolvendo-se em relevo ondulado a forte ondulado, a partir de materiais geológicos litoquicamente distintos: Perfil MHL-1 - Podzólico Vermelho-Escuro, desenvolvendo-se a partir de rochas do Domínio geológico Diorito do Rosário; Perfil MHL-2 - Podzólico Vermelho-Amarelo originado por alteração de rochas do Domínio geológico Granito de Itutinga; e Perfil MHL-3 - Brunizém Avermelhado, evoluindo a partir de rochas do Domínio geológico *Greenstone-belt* de Lavras. Ao longo de cada perfil, realizaram-se análises petrográficas dos fácies rocha fresca e rocha alterada e análises micromorfológicas dos fácies alterito, de transição e sólum, avaliando os processos de alteração, através da evolução das reações de alteração e feições texturais, com auxílio da difração de raios-X na identificação da mineralogia da fração argila, numa discussão envolvendo material de origem versus processos de alteração pedogenética, possibilitando o estabelecimento da ordem de destruição dos minerais primários.

2- ABSTRACT

During studies of pedogenetic correlation carried out in the region of Lavras, Minas Gerais in Brazil, profiles of soils with argilic horizons were selected to evaluate the alterations occurred during the process of soil formation and investigate pedogenetic parameters related to the parent material, which was previously geochemically and petrologically differentiated. Within this region, these soils occur on sloping and hilly landscapes and they were selected for the study because they preserve characteristics inherited from the original bedrocks. Three profiles formed from geologic material with different chemical composition were selected: Profile MHL-1 - Dark-Red Podzolic formed from dioritic rocks (Diorito do Rosário); Profile MHL-2 - Red-Yellow Podzolic developed from granitic rocks (Granito de Itutinga); and Profile MHL-3 - Reddish Brunizem formed from basic rocks of the Greenstone-Belt of Lavras. Throughout the layers of each profile, from the consolidated bedrock until the solum, studies were carried out (petrographic analyses carried out on the consolidated and weathered bedrock, micromorphological analyses of C, BC horizons and solum). The objective was the understanding of the processes of soil formation by the evaluation of weathering reactions and textural features, with the aid of x-ray diffraction analyses to characterize clay mineralogy. Based on the results obtained the relationships between parent material and pedogenetic processes were assessed and the order of destruction of primary minerals established.

3 - INTRODUÇÃO

No estudo de correlação geo-pedológica na região de Lavras, MG, foram selecionados perfis de classes de solos B texturais mais significativas e representativas para a caracterização dos processos de alteração visando a estabelecer parâmetros pedogenéticos associados ao material de origem.

Esses solos desenvolvem-se em relevo ondulado a forte ondulado, originando classes de solo B texturais distintas em função do tipo de material originário, discriminado petrológica e geoquimicamente.

Os solos selecionados para o estudo da alteração foram: Podzólico Vermelho-Amarelo desenvolvido no Domínio geológico intitulado de Granito de Itutinga (Quéméneur, inédito); Podzólico Vermelho-Escuro formado a partir de intemperização de rochas do Domínio geológico denominado Diorito do Rosário (Quéméneur, inédito); e Brunizém Avermelhado originado da alteração de rochas básicas do Domínio geológico *Greenstone-belt* de Lavras (Quéméneur, inédito).

Neste capítulo foi realizada a caracterização mineralógica, petrográfica e micromorfológica de todos os horizontes que compõem os perfis, desde a rocha fresca até o sólum, identificando-se petrologicamente o material de origem e suas transformações mineralógicas e texturais ao longo da evolução do perfil de alteração, numa discussão envolvendo processos pedogenéticos versus material originário.

4 - REFERENCIAL TEÓRICO

Métodos óticos constituem uma das técnicas mais antigas de caracterização de objetos e fenômenos associados. O microscópio ótico proporciona grande resolução de observação de partículas muito pequenas. Com acessórios óticos adequados, o microscópio ótico permite a identificação de propriedades óticas de minerais que refletem sua composição química e estrutura cristalina, também permitindo a observação de feições secundárias, tais como tamanho e forma de grãos, relação espacial com outros minerais, observação de reações de substituição mineralógica e alteração e, no caso específico de solos, caracterização de feições pedológicas (Drees e Ransom, 1994).

A microscopia ótica é uma das poucas ferramentas que permite a observação de cada mineral separadamente, apresentando a vantagem de que em seções delgadas, os constituintes encontram-se em sua condição estrutural natural. Técnicas óticas são também aplicáveis a constituintes não minerais (matéria orgânica), componentes pobremente cristalinos ou amorfos (alguns óxidos de ferro e sílica amorfa) e poros. A mineralogia quantitativa ou análise modal são termos utilizados em ciências geológicas, a partir da qual os pedólogos têm obtido a maioria das técnicas microscópicas e terminologia (Drees e Ransom, 1994).

A observação dos minerais com luz natural polarizada permite a identificação das propriedades óticas dos minerais, cuja análise permite a identificação precisa dos minerais (Kerr, 1977).

Loewinson-Lessing (1954) estabeleceu 1870 como o início da era microscópica em petrologia. A partir de 1870 vários livros de propriedades óticas de minerais foram publicados. A partir desse período, microscopia ótica de minerais em seções delgadas têm sido a principal ferramenta de interpretação de problemas geológicos (Drees e Ransom, 1994).

A partir da publicação do livro *Micropedology* por Kubiena (1938), o microscópio foi introduzido em pesquisas pedológicas, estabelecendo a micromorfologia como uma ciência (Drees e Ransom, 1994). Brewer (1976), Kubiena (1970) e FitzPatrick (1980, 1993) revisaram recentemente o desenvolvimento na micromorfologia em estudos pedológicos (Cady, Wilding e Drees, 1986). O microscópio pode ser utilizado em solos para determinar: a) identificação, tamanho de grãos isolados ou agregados mineralógicos nas frações silte e areia e b) distribuição e inter-relações dos constituintes do solo. Para análises de estrutura e fábrica, materiais constituintes de solo podem ser convenientemente separados em unidades de organização, tais como pedos, feições pedológicas (cutans, pedotúbulos, glébulas, cristalárias, subcutans e pelotas fecais) e matriz ou fundo matricial, que inclui esqueleto, plasma e poros associados (Cady, Wilding e Drees, 1986 e Castro, 1989).

Petrografia ótica pode ser utilizada na identificação do material de origem e presença de minerais primários para caracterização de propriedades do perfil do solo, indicando condições de alteração e transporte. Espaços vazios ou *box-works* podem ser avaliados nas variações de volume nos processos de alteração. Lixiviação ou remoção de materiais e adições, tais como translocação de argila ou óxidos de ferro, além de razões entre minerais resistentes, podem ser utilizados para estudos do desenvolvimento dos solos e base para cálculos de perdas e

ganhos (Barshad, 1964 e Brewer, 1976). O decréscimo ou desaparecimento de minerais ou grupos de minerais quando comparados com minerais resistentes proporcionam um índice de alteração, sendo possível identificar os processos e estágios de alteração e formação de minerais secundários *in situ*. Iluviação de argila entre horizontes pode ser observada, assim como sua distribuição e acumulação, cujo arranjo depende da classe de solo (Wilding e Flach, 1985).

Ao microscópio podem-se observar reações de substituição mineralógica secundária a partir dos minerais primários. A alteração química resulta de variações físico-químicas no meio. Minerais que se formaram sob condições magmáticas, hidrotermais, metamórficas ou sedimentares são considerados potencialmente instáveis quando expostos às condições atmosféricas. São vulneráveis ao ataque por água, oxigênio e dióxido de carbono e as reações, que são exotérmicas, processam-se espontaneamente. A água penetra nos poros, planos de clivagens e outras micro-fissuras dos minerais e dissolvem os constituintes solúveis. Com a evolução do processo, o *resíduo* torna-se progressivamente enriquecido pelos constituintes menos solúveis, formados pelos grupos -O e -OH. A posterior cristalização desses *resíduos* resulta na formação de novas fases minerais, que serão mais estáveis nas novas condições prevalecentes (Loughnan, 1969).

As reações de hidrólise destacam-se entre as reações de intemperização química de minerais, na decomposição de minerais silicatados primários, tais como feldspatos, piroxênios, anfibólios, biotita e outros presentes na grande maioria das rochas da crosta terrestre, incluindo as litologias pertencentes às unidades litoestratigráficas da região de Lavras. O grau de intemperização dos minerais silicatados seguem a seqüência estabelecida por Goldich (1938).

A hidrólise é consequência da dissociação parcial da água em íons H^+ e OH^- , processando-se principalmente nos silicatos complexos de Ca, Mg, K, Na, Al e Fe, liberando H_4SiO_4 , ácido muito fraco (Krauskopf, 1972). Em função da intensidade, a hidrólise pode ser considerada em 3 níveis designados de modelos de processos de formação de argilo-minerais: (1) - Dessilicatização limitada - BISSIALITIZAÇÃO: a quantidade de sílica no sistema permite a formação de argilo-minerais 2:1; (2) - Dessilicatização moderada - MONOSSIALITIZAÇÃO: condições que propiciam a formação de argilo-minerais 1:1 (caulinita); e (3) - Dessilicatização completa - ALITIZAÇÃO: apenas o Al permanece no sistema, com a formação de gibbsita.

Os minerais da fração silte e principalmente argila apresentam identificação dificultada ao microscópio petrográfico em função do seu tamanho. Em auxílio à caracterização mineralógica em microscopia ótica, deve-se, então, recorrer a metodologias de análise mineral mais sensíveis, como a Difração de Raios-X.

5 - MATERIAL E MÉTODOS

5.1 - MATERIAL

Os perfis de alteração foram criteriosamente selecionados a partir da correlação com domínios geológicos discriminados geoquímica e petrologicamente, quando desenvolvidos em relevo ondulado a forte ondulado. A

amostragem foi realizada nas rochas e seus diferentes estágios de alteração e os solos sobre elas desenvolvidos, individualizados em seus horizontes, constituindo o material deste trabalho.

Os solos com horizonte B textural foram escolhidos por preservarem características químicas e mineralógicas das rochas originais em função do seu grau de evolução. Os perfis selecionados foram aqueles correspondentes às classes de solo com horizonte B textural, desenvolvendo-se a partir de materiais geológicos litoquimicamente distintos, ou seja: Podzólico Vermelho-Escuro - Perfil MHL-1, desenvolvido sobre diorito milonitizado (rocha ígnea de composição intermediária, com 55 a 66% de SiO_2) do Domínio geológico Diorito do Rosário (Queméneur, inédito); Podzólico Vermelho-Amarelo - Perfil MHL-2, formado a partir de rochas granitóides de composição granítica (rocha ígnea de composição ácida, teor de $\text{SiO}_2 > 66\%$) do Domínio geológico intitulado Granito de Itutinga (Queméneur, inédito); e Brunizém Avermelhado, tendo como material de origem um piroxenito granulitizado (rocha ígnea básica com teor de SiO_2 entre 45 a 55%) do Domínio geológico denominado *Greenstone-belt* de Lavras (Queméneur, inédito).

A correlação regional de solos B texturais com rochas básicas e ultrabásicas (teor de $\text{SiO}_2 < 45\%$) é a Terra Roxa Estruturada; no entanto, durante as investigações de perfis dessa classe de solo, foi constatada a ocorrência de Brunizém Avermelhado, selecionado para tal estudo.

A localização desses perfis dentro da área estudada encontra-se na figura 3.1 - Localização da área e perfis estudados. As coordenadas geográficas dos perfis são: perfil MHL-1-Podzólico Vermelho-Escuro: $44^{\circ}53'W$ e $21^{\circ}16'38''S$;

perfil MHL-2 - Podzólico Vermelho-Amarelo: 44°35'28"W e 21°17'50"S; e perfil MHL-3: 45°02'56"W e 21°11'S.

5.2 - MÉTODOS

5.2.1 - CAMPO

Através de campanhas de campo, observando-se a correlação entre material de origem e classes de solo formado, obedecendo ao tipo de relevo estabelecido para a formação de solos com horizonte B textural na região, foi realizada a seleção dos perfis de alteração e sua amostragem. A área foi percorrida intensivamente a fim de se encontrarem perfis completos, desenvolvidos a partir de rochas frescas, com horizonte C representivo das diversas fases de alteração, além de horizonte B_t significativo.

Para as determinações mineralógicas foram coletadas cerca de 0,5 Kg de material ao longo dos horizontes de cada perfil. Procurou-se coletar amostras representativas desde a rocha fresca até o sólum, baseando-se em observações dos estágios de alteração, tais como características texturais preservadas das rochas originais, composição mineralógica original, coloração, friabilidade e características morfológicas do sólum. As amostras indeformadas para a análise micromorfológica foram acondicionadas em recipientes de plástico de 10 x 7 cm, em substituição às caixas de Kubiena. As amostras de rocha, tais como as de solo, foram criteriosamente selecionadas e coletadas, incluindo espécimes frescos e alterados.

5.2.2 - LABORATÓRIO

As amostras de solo foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneiras de 2 mm de malha, sendo, então, designadas de Terra Fina Seca ao Ar (TFSA). As amostras indeformadas foram armazenadas em lugar seco para a secagem ao ar.

Análises mineralógicas

Para a realização das análises mineralógicas, primeiramente foi realizada a individualização das frações areia - silte - argila a partir da TFSA. O fracionamento das amostras foi realizado por peneiragem úmida em peneira de 0,053 mm de malha, separando-se a fração areia. As frações silte e argila foram individualizadas por decantação e centrifugação, obedecendo à lei de Stokes.

Difração de Raios-X

Para a análise através da difração de raios-X da fração argila foram confeccionadas lâminas orientadas com os seguintes materiais:

- Argila desferrificada - Remoção dos óxidos de Fe pelo método DCB - ditionito-citrato-bicarbonato de sódio, segundo Mehra e Jackson (1960);

- Argila saturada com K^+ e Mg^+ - A saturação de K^+ e Mg^+ foi realizada através de solução de KCl 1M e $MgCl_2$ 1M, respectivamente, segundo metodologia descrita em Whittig e Allardice (1986). As lâminas com argila saturada com K foram submetidas à difratometria de Raios-X à temperatura ambiente (25°C)

(condição natural) e aquecidas a 550°C. Quando necessário, foi adicionado etileno-glicol à argila saturada com Mg.

A análise de Difração de Raios-X das amostras da fração argila desferrificada, foi realizada no DS/UVF, utilizando-se intervalo de irradiação de 2θ de 5° a 50°, com tubo de Fe.

O restante das amostras da fração argila com os diversos tratamentos foi analisado no DCS/UFLA, utilizando intervalo de irradiação de 2θ de 5° a 30°, com repetição da análise das amostras glicoladas no intervalo de 2θ de 1° a 10°, e no caso das amostras aquecidas a 550°C, o intervalo de 2θ utilizado foi de 2° a 32°, com tubo de Cu e filtro de Ni.

A interpretação dos difratogramas de Raios-X foi realizada segundo Brown (1961), Grim (1968) e Joint Committee on powder diffraction standards (1974).

Análises micromorfológicas

A partir das amostras indeformadas de solo, foram confeccionadas lâminas delgadas, após impregnação com araldite. As lâminas delgadas foram confeccionadas em laboratório de laminação particular em Belo Horizonte, MG. A análise micromorfológica foi realizada em microscópio petrográfico no DCS/UFLA.

Análises petrográficas

As lâminas delgadas correspondentes às rochas frescas e ligeiramente alteradas foram confeccionadas no laboratório de laminação do

CPMTC/IGC/UFGM, em Belo Horizonte, MG. A análise petrográfica foi realizada no DCS/UFLA.

6 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

A amostragem dos perfis de alteração foi realizada desde a rocha fresca até o sólum, individualizando-se os horizontes de acordo com suas feições diagnósticas. A figura 3.1 apresenta a localização dos perfis analisados na área de estudo. A correspondência entre as amostras e o material do perfil ficou distribuída de acordo com as tabelas 4.1, 4.2 e 4.3.

TABELA 4.1 - Correspondência entre amostras e horizontes do Perfil MHL-1.

PERFIL MHL-1 - PODZÓLICO VERMELHO-ESCURO		
Amostras	Material/Horizonte	Profundidade (cm)
MHL-1A	Solo/Horizonte A	0-20
MHL-1B	Solo/Horizonte B ₁	20-80
MHL-1BC	Solo/Horizonte BC	80-130
MHL-1C ₁	Alterito/Horizonte C ₁	130-260
MHL-1C ₂	Alterito/Horizonte C ₂	260-430
MHL-1C ₃	Alterito/Horizonte C ₃	260-430
MHL-1R ₁	Rocha alterada	430*
MHL-1R	Rocha fresca	

TABELA 4.2 - Correspondência entre amostras e horizontes do Perfil MHL-2.

PERFIL MHL-2 - PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO		
Amostras	Material/Horizonte	Profundidade (cm)
MHL-2A	Solo/Horizonte A	0-55
MHL-2B	Solo/Horizonte B _t	55-95
MHL-2BC	Solo/Horizonte BC	95-130
MHL-2C ₁	Alterito/Horizonte C ₁	130-210
MHL-2C ₂	Alterito/Horizonte C ₂	210 ⁺
MHL-2R ₁	Rocha alterada	
MHL-2R	Rocha fresca	

TABELA 4.3 - Correspondência entre amostras e horizontes do Perfil MHL-3.

PERFIL MHL-3 - BRUNIZEM AVERMELHADO		
Amostras	Material/Horizonte	Profundidade (cm)
MHL-3A	Solo/Horizonte A	0-18
MHL-3B	Solo/Horizonte B _t	18-55
MHL-3BC	Solo/Horizonte BC	55-85
MHL-3C ₁	Alterito/Horizonte C ₁	85-120
MHL-3C ₂	Alterito/Horizonte C ₂	120-230
MHL-3C ₃	Alterito/Horizonte C ₃	230 ⁺
MHL-3R ₁	Rocha alterada	
MHL-3R	Rocha fresca	

6.1 - MINERALOGIA

6.1.1 - MINERALOGIA DA FRAÇÃO ARGILA

Caracterizou-se a mineralogia da fração argila dos perfis MHL-1, 2 e 3, através da análise de Difração de Raios-X. Foram analisadas lâminas orientadas de argila desferrificada correspondentes a todos os horizontes de cada perfil, através de tubo de Fe, no intervalo de irradiação de 2θ de 5° a 50° , cujos difratogramas estão apresentados nas figuras 4.1, 4.2 e 4.3. Partindo-se da análise desses difratogramas, foram selecionadas amostras de cada perfil, para realização de tratamentos em auxílio à identificação mineralógica, donde as amostras selecionadas foram: Perfil MHL-1: amostras MHL-1A e MHL-1C₂; Perfil MHL-2: MHL-2BC; e Perfil MHL-3: MHL-3B e MHL-3C₃. Estas amostras foram, então, posteriormente analisadas através de tubo de Cu, na seguinte ordem: argila desferrificada saturada com K⁺ em temperatura natural (25°C) - no intervalo de irradiação de 2θ de 5° a 30° ; argila desferrificada saturada com K⁺ aquecida a 550°C - no intervalo de irradiação de 2θ de 2° a 32° ; e argila desferrificada saturada com Mg⁺ e glicolada, esta última analisada no intervalo de 2θ de 5° a 30° e 1° a 10° . (figuras 4.4, 4.5, 4.6, 4.7 e 4.8).

Perfil MHL-1 - Podzólico Vermelho-Escuro

No perfil MHL-1 - Podzólico Vermelho-Escuro, a mineralogia da fração argila foi assim caracterizada ao longo do perfil de alteração:

- ⇨ Horizontes C₃, C₂ e C₁ (Amostra MHL-1C₃, MHL-1C₂ e MHL-1C₁): Caulinita - Illita - Vermiculita cloritizada (argilo-mineral 2:1 com hidroxila interlamelar);
- ⇨ Horizonte BC (Amostra MHL-1BC): Caulinita - Illita - Vermiculita cloritizada - Gibbsita;
- ⇨ Horizontes B_t e A (Amostra MHL-1B e MHL-1A): Caulinita - Gibbsita - Vermiculita cloritizada.

Perfil MHL-2 - Podzólico Vermelho-Amarelo

Neste perfil a mineralogia da fração argila ao longo do perfil de alteração foi caracterizada como:

- ⇨ Horizontes C₂, C₁, BC e B_t (Amostras MHL-2C₂, MHL-2C₁, MHL-2BC e MHL-2B): Caulinita - Gibbsita - Illita
- ⇨ Horizonte A (Amostras MHL-2A): Caulinita - Gibbsita

Perfil MHL-3 - Brunizém Avermelhado

A mineralogia da fração argila no perfil MHL-3 foi assim caracterizada:

- ⇨ Horizontes C₃, C₂, C₁, BC, B_t e A (Amostras MHL-3C₃, MHL-3C₂, MHL-3C₁, MHL-3BC, MHL-3B e MHL-3A): Caulinita - Talco - Esmeclita

A caulinita foi caracterizada pelos picos nas regiões de 7.20, 3.58 e 2.39 Å, que desaparecem nas amostras aquecidas a 550°C. Acompanhando a caulinita, no perfil MHL-1, verificou-se a ocorrência de vermiculita cloritizada ao longo de todo o perfil, illita nos horizontes C e BC e gibbsita nos horizontes BC, B_t e A. No perfil MHL-2 a caulinita encontra-se associada à gibbsita ao longo de todo o

perfil e illita nos horizontes C, BC e B. Já no perfil MHL-3, a associação da caulinita é com talco e esmectita.

A illita 1M foi identificada nos perfis MHL-1 e 2 pelos picos nas regiões de 10.0, 5.0 e 3.35 Å, que não se alteram nos diversos tratamentos. A gibbsita apresenta picos de 4,85 e 4,38 Å, que desaparecem nas amostras aquecidas a 550°C, sendo que o primeiro é geralmente mascarado pelo pico correspondente da illita.

A illita e outras micas ocorrem geralmente nos horizontes mais profundos, porque a maioria pode ser herdada do material de origem (Fannings e Keramidas, 1977). Com o progresso do intemperismo, elas se alteram geralmente na seguinte seqüência: mica \Rightarrow illita \Rightarrow illita expandida \Rightarrow vermiculita \Rightarrow esmectita \Rightarrow caulinita \Rightarrow gibbsita (Moniz, 1972; Krauskopf, 1972), podendo passar diretamente a caulinita ou até mesmo gibbsita, dependendo das condições de hidrólise.

A vermiculita cloritizada foi identificada no perfil MHL-1 pelos picos na região de 14 Å, os quais são deslocados para a região de 10 Å quando as amostras são aquecidas, formando uma banda de difração. Ocorrem em todo o perfil de alteração MHL-1, podendo resultar da degradação da clorita ou da deposição de hidróxidos nas entrecamadas das argilas expansivas (Barnhisel, 1977). Esse argilo-mineral com hidróxidos interlamelares (cloritizados) é mais resistente, persistindo nos solos mesmo em condições de intemperismo intenso, e o efeito "anti-gibbsítico" retarda o processo, podendo não permitir que os solos atinjam estágios mais avançados de intemperismo (Jackson, 1965).

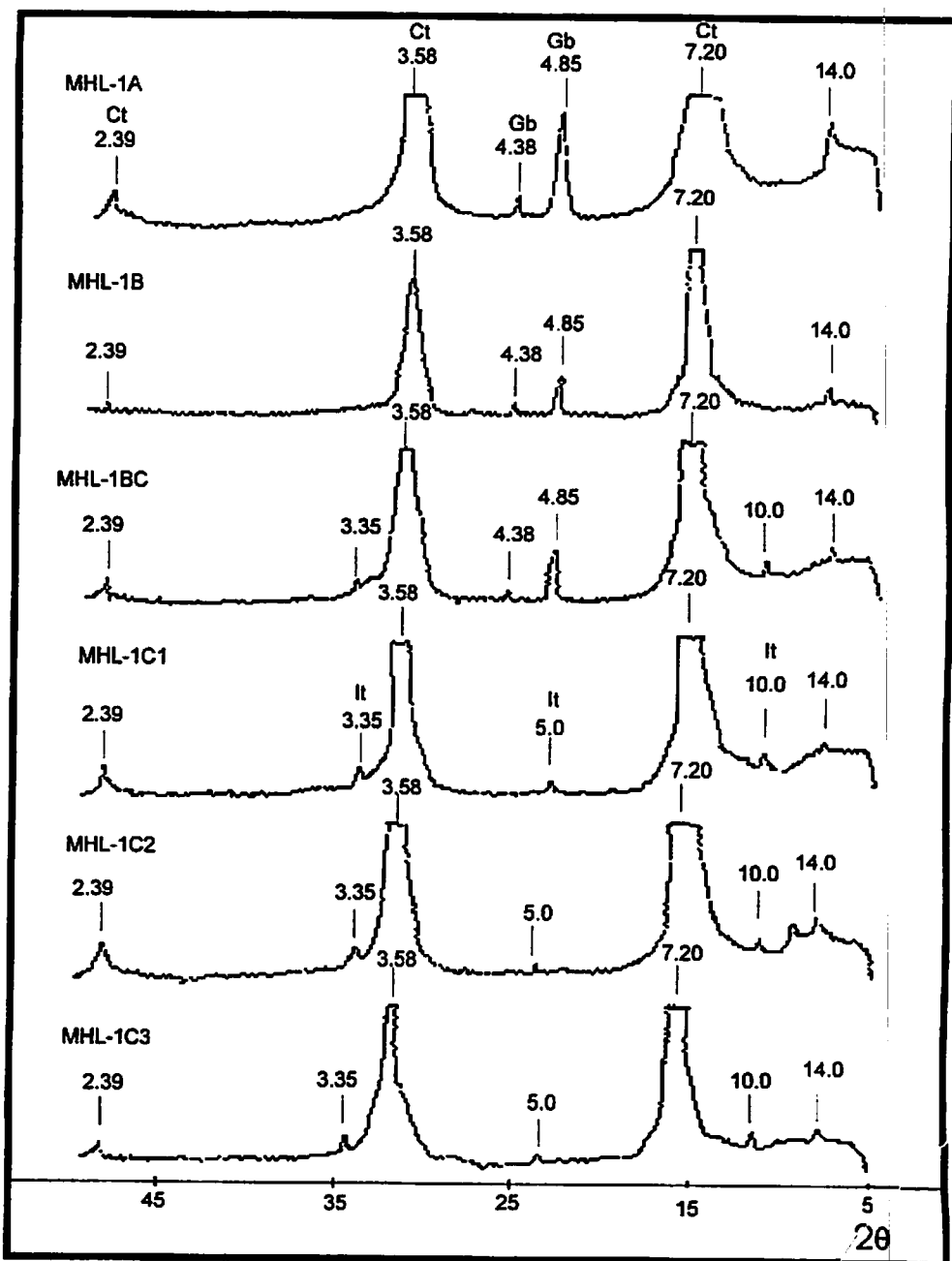


FIGURA 4.1 - Difratoigramas de Raios-X da fração argila desferrificada para o perfil MHL-1 (Espaçamento d em Å) (Ct = caulinita, Gb = gibbsita e It = illita)

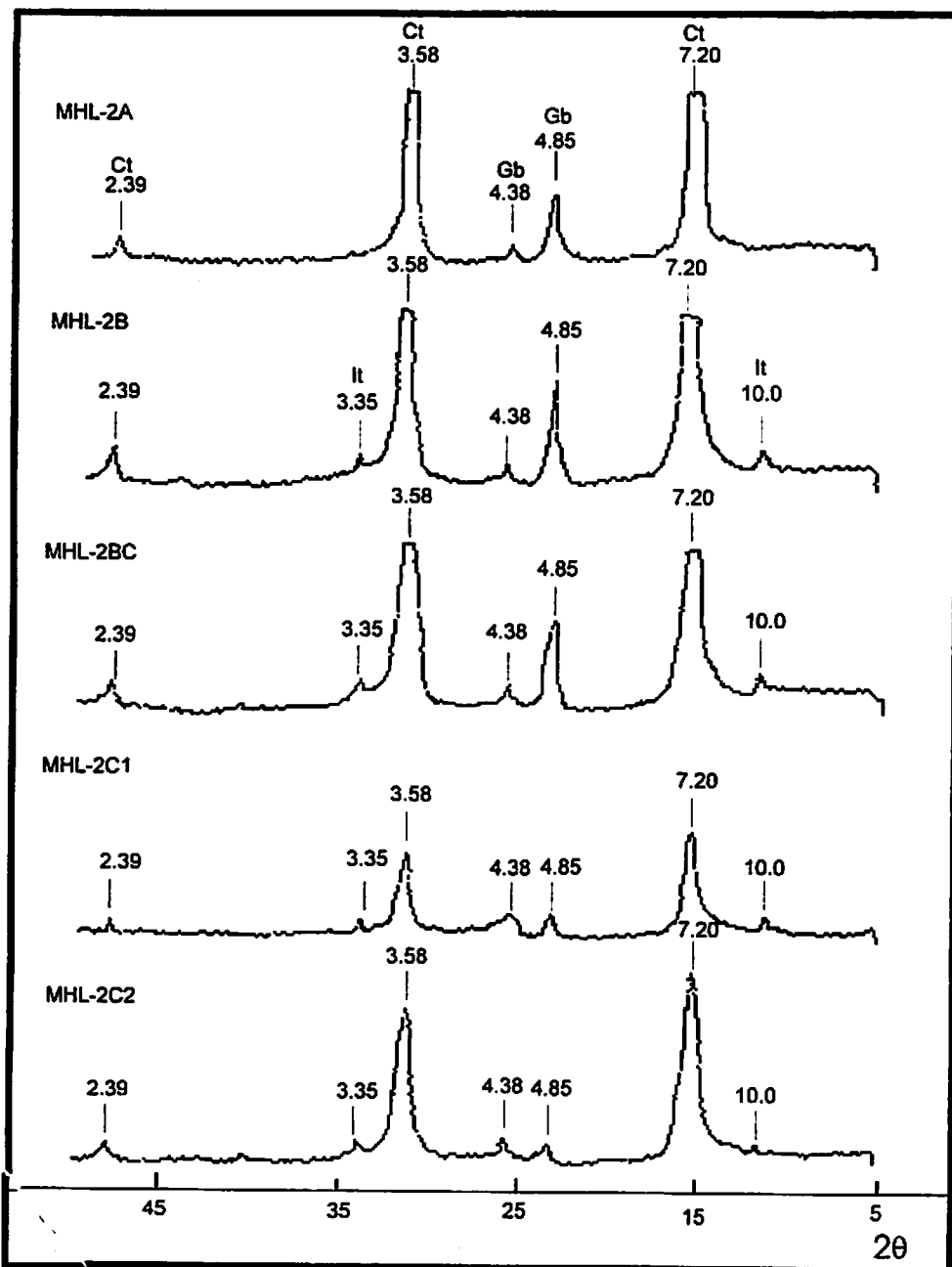


FIGURA 4.2 - Difratoogramas de Raios-X da fração argila desferrificada para o perfil MHL-2 (Espaçamento d em Å)
(Ct = caulinita, Gb = gibbsita e It = illita)

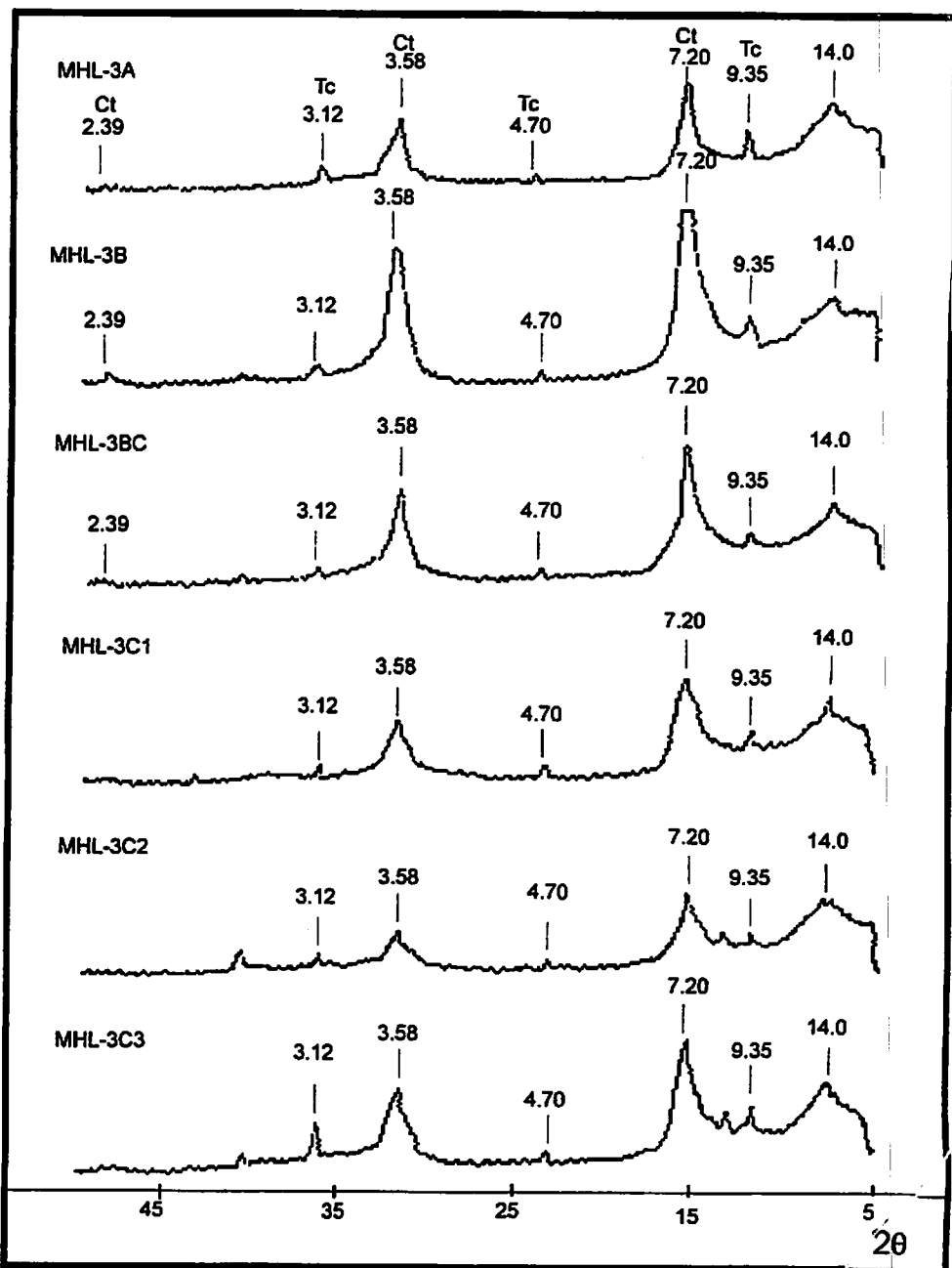


FIGURA 4.3 - Difratogramas de Raios-X da fração argila desferrificada para o perfil MHL-3 (Espaçamento d em Å) (Ct = caulinita, Tc = talco)

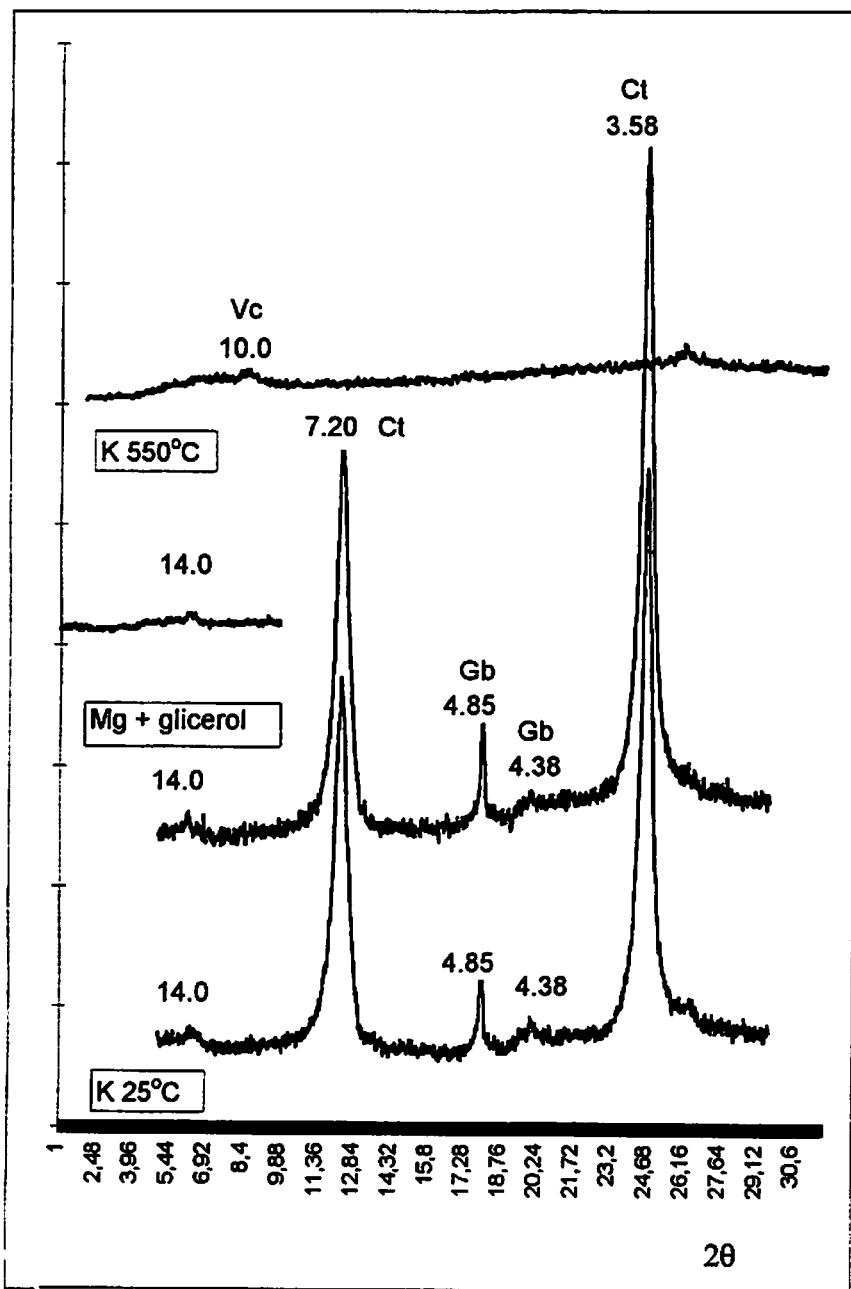


FIGURA 4.4 - Difratoogramas de Raios-X da amostra MHL-1A (Perfil MHL-1) com os diversos tratamentos. Espaçamento d em \AA . (Vc = Vermiculita cloritizada, Ct = caulinita e Gb = gibbsita)

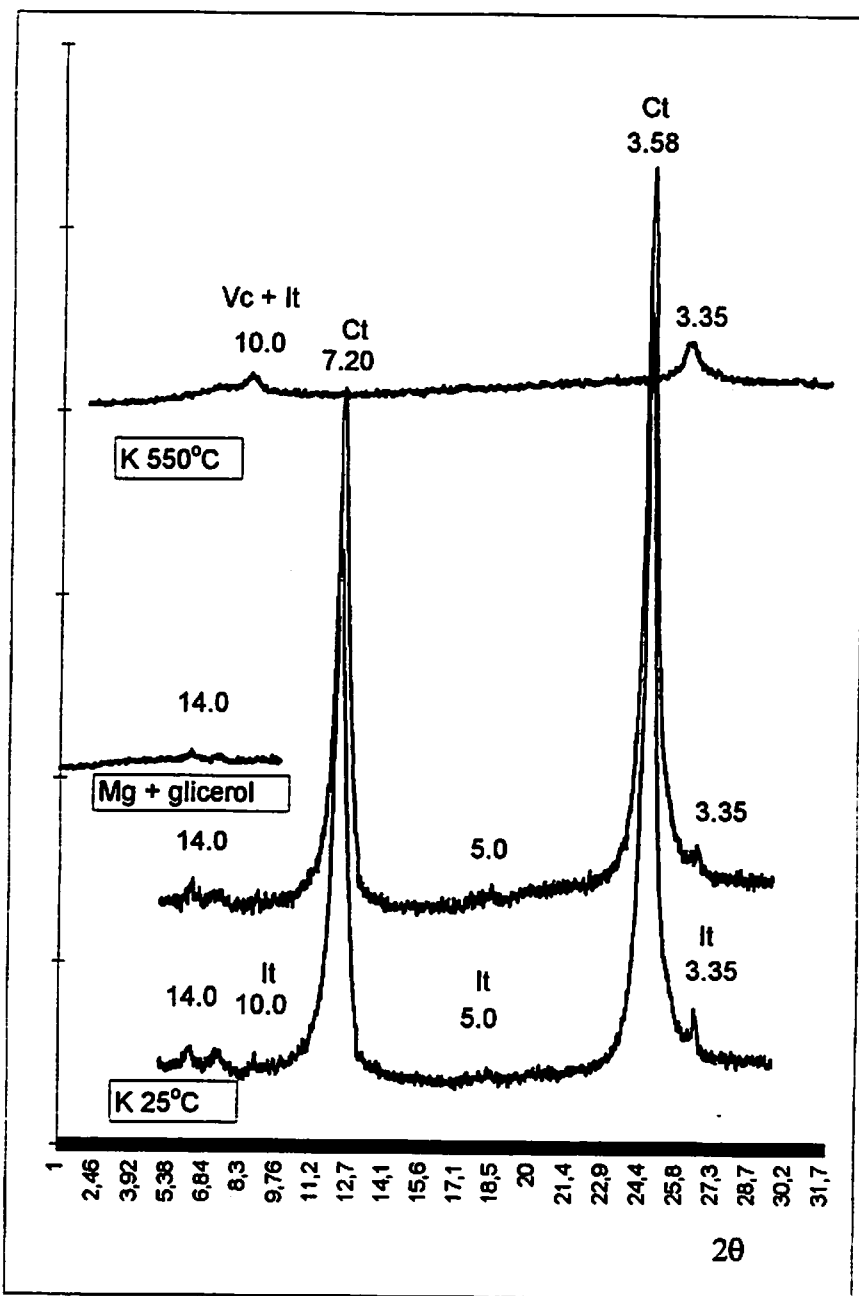


FIGURA 4.5 - Difratoogramas de Raios-X da amostra MHL-1C₂ (Perfil MHL-1) com os diversos tratamentos. Espaçamento d em Å. (Ct = caulinita, It = illita Vc = vermiculita cloritizada)

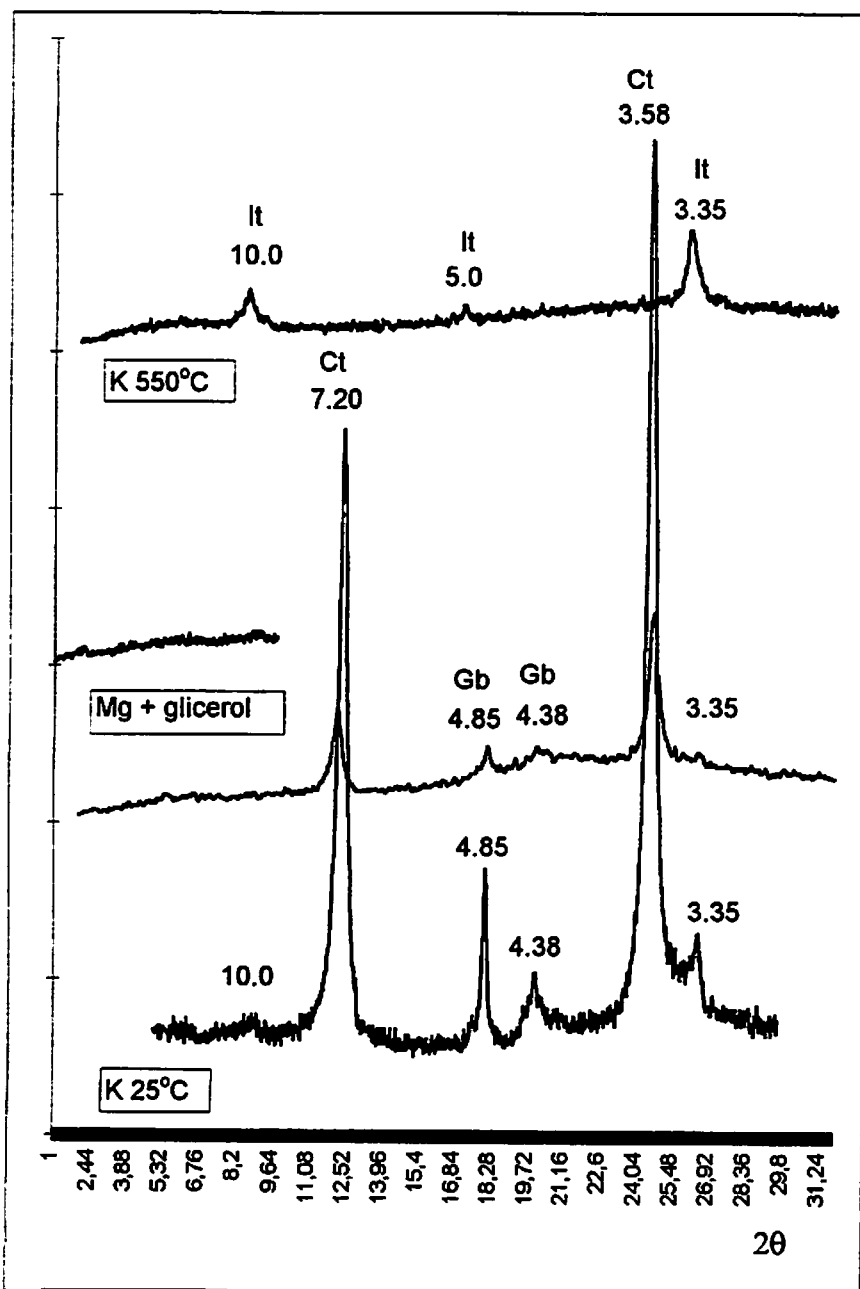


FIGURA 4.6 - Difratogramas de Raios-X da amostra MHL-2BC (Perfil MHL-2) com os diversos tratamentos. Espaçamento d em Å. (Ct = caulinite, Gb = gibbsita, It = illite)

A esmectita foi identificada no perfil MHL-3 pelos picos na região de 14 Å que se expandem a 17 Å, formando banda de difração nas amostras saturadas com Mg + glicerol. As esmectitas são geralmente produtos de transformação de micas, seguindo uma seqüência que compreende mica hidratada ou hidromica, illita e vermiculita, vermiculitas e cloritas máficas, sendo sua formação favorecida em ambientes de solo com drenagem restrita ou não, desde que haja suprimento de soluções ricas em Si, Al, Mg, Fe e lixiviação mínima - biassilitização (Kämpf e Curi, 1991). Com o aumento da taxa de lixiviação e dessilitização as esmectitas originam caulinita e óxidos de ferro, através de um estágio intermediário com caulinita-esmectita interestratificada (Herbillon et al., 1981; Yerima et al., 1985, citados por Kämpf e Curi, 1991).

O talco foi caracterizado no perfil MHL-3, através dos picos 9.35; 3.12 e 4.7 Å, que não sofreram alteração com os tratamentos efetuados. O talco é produto de alteração em altas temperaturas de rochas básica-ultrabásicas, sendo geralmente herdado do material originário.

6.2 - PETROGRAFIA E MICROMORFOLOGIA DOS PERFIS

6.2.1 - PERFIL MHL-1 - PODZÓLICO VERMELHO-ESCURO

O perfil MHL-1 desenvolve-se a partir de rochas do Domínio geológico Diorito do Rosário, segundo Quéméneur (inédito).

Fácies Rocha Fresca

O fácies rocha-fresca, representado pela amostra MHL-1R, microscopicamente apresenta mineralogia essencial constituída por plagioclásio (40%); anfibólio da série hornblenda-edenita (20%); quartzo (08%) e traços de feldspato potássico. A mineralogia secundária, originada por reações mineralógicas retrógradas, possivelmente de origem hidrotermal/retrometamórfica, perfaz 31% da composição mineralógica total, composta por epidoto da série zoisita-pistacita (15%); biotita (05%); titanita (05%); sericita (05%) e clorita (01%). A mineralogia acessória apresenta cristais de zircão, apatita e minerais opacos (óxidos de ferro e óxidos de titânio).

Apresenta textura granoblástica a nemato-lepidoblástica, com feições de tensionamento (milonitização), tais como recristalização e estiramento/alongamento de cristais prismáticos de origem secundária/hidrotermal.

É constituída por porfiroclastos hipidiomórficos a xenomórficos de plagioclásio, de dimensões médias 2,0 mm e máximas 4,0 mm, parcial a intensamente substituídos por sericita + epidoto (zoisita-clinozoisita), localmente em processo de pseudomorfose, sendo os processos de substituição mais intensos nos núcleos de cristais zonados. Associam-se a cristais porfiroclásticos ou não de hornblenda-edenita, de dimensões médias 0,6 mm e máximas 1,6 mm, também intensamente a totalmente (pseudomorfose) substituídos por biotita $\pm^{(1)}$ epidoto (zoisita-pistacita) \pm clorita \pm titanita \pm óxidos de ferro e titânio. (microfotografia 4.1).

O quartzo aparece em agregados de subgrãos (dimensões médias 0,15 mm), dispostos em cordões estirados e adelgaçados, por vezes bordejando porfiroclastos de plagioclásio, apresentando estruturas de rotação/tensionamento. Juntamente com agregados orientados dos produtos secundários do anfibólio e plagioclásio, definem foliação milonítica à rocha.

As reações retrógradas caracterizam fácies metamórfica xisto-verde, sendo descritas a seguir:

Hornblenda-edenita \Rightarrow Biotita $\pm^{(1)}$ Epidoto (zoisita-pistacita)⁽²⁾ \pm Clorita \pm

Titanita \pm Óxidos de ferro (hematita) e titânio

Plagioclásio \Rightarrow Sericita \pm Epidoto (zoisita-clinozoisita)

Biotita \Rightarrow Clorita \pm Óxidos de ferro (hematita) e titânio

Óxidos de ferro e titânio (ilmenita) \Rightarrow Titanita

Microscopicamente essa rocha classifica-se como Diorito milonítico, com composição modal estimada diorítica segundo Streckeisen (1976).

Fácies Rocha Alterada

O fácies rocha alterada correspondente dessa rocha, representado pela amostra MHL-1R₁, apresenta mineralogia essencial, secundária e acessória semelhante ao fácies rocha fresca (MHL-1R), destacando-se ligeiro decréscimo do anfibólio da série hornblenda-edenita (18%), e discreto acréscimo na ocorrência de minerais opacos representando os óxidos de ferro e titânio (02%),

⁽¹⁾ Nas reações e associações mineralógicas, os símbolos \pm indica quantidades variáveis; + indica quantidades subiguais; e - indica quantidades subordinadas dos minerais envolvidos.

⁽²⁾ Minerais entre parêntesis especificando membros de uma série mineralógica indica caracterização provável.

além da ocorrência de hidróxidos de ferro (02%), que passam a integrar a mineralogia secundária. Os hidróxidos de ferro (provavelmente goethita) aparecem nas reações mineralógicas retrógradas associados aos óxidos de ferro e titânio, a partir da hornblenda-edenita, biotita e opacos (óxidos de ferro e titânio), geralmente percolando planos de clivagem, microfraturas e bordas desses minerais.

Apresenta feições texturais semelhantes à MHL-1R, destacando-se ocorrência de fraturamento de disposição preferencial paralela à foliação milonítica. As fraturas são intersticiais ou intracristalinas, por vezes ao longo de planos de clivagem, especialmente do anfibólio e biotita. Verifica-se preenchimento de óxidos e hidróxidos de ferro ao longo das fraturas. (microfotografia 4.2).

As reações mineralógicas retrógradas passam a ser representadas por:

Hornblenda-edenita \Rightarrow Biotita \pm Epidoto (zoisita-pistacita) \pm Titanita \pm Óxidos de ferro (hematita) e titânio \pm Hidróxidos de ferro (goethita) - Clorita

Plagioclásio \Rightarrow Sericita \pm Epidoto (zoisita-pistacita)

Biotita \Rightarrow Epidoto (zoisita-clinozoista) \pm Titanita \pm Óxidos de ferro (hematita) e titânio \pm Hidróxidos de ferro (goethita) - Clorita

Óxidos de ferro e titânio (hematita/ilmenita) \Rightarrow Titanita \pm Hidróxidos de ferro (goethita)

Fácies Alterito

O alterito foi subdividido em horizontes C₁, C₂ e C₃, representado respectivamente pelas amostras MHL-1C₁, MHL-1C₂ e MHL-1C₃, sendo que a alteração progride do horizonte C₃ ao C₁.

Apresentam estrutura litológica discretamente preservada, decrescente do horizonte C₃ ao C₁. Microscopicamente, mostram fundo matricial constituído por 25% a 30% de esqueleto, 65% a 70% de plasma, 03 a 05% de vazios, sendo que a amostra relativa ao horizonte C₃ apresenta feições pedológicas ou estruturas associadas, representando 05% da abundância relativa da amostra analisada. A proporção de plasma sofre ligeiro acréscimo do horizonte C₃ ao C₁, com concomitante decréscimo de esqueleto.

O esqueleto apresenta-se constituído por grãos de quartzo (20 a 25%) e cristais relictuais ao processo de substituição mineralógica retrógrada de plagioclásio, epidoto, biotita, titanita, clorita e opacos (óxidos de ferro e titânio), perfazendo 05%. Não se observaram cristais relictuais de anfibólio. Apresentam forma genética xenomórfica e textura superficial normal a discretamente ferruginizada nos cristais de quartzo e corroída a ferruginizada nos cristais relictuais. Não se observam feições de transporte. As dimensões máximas dos grãos do esqueleto são 4,0 mm (quartzo), médias de 0,12 mm e mínimas de 0,04 mm. A distribuição de base é agrupada a aleatória (MHL-1C₁), a referida é alinhada e descontínua, refletindo a foliação milonítica relictual e a relativa é porfírica composta a porfírica (MHL-1C₁), segundo Stoops e Jongerius (1975).

Os constituintes do esqueleto apresentam-se orientados, de acordo com a foliação litológica milonítica relictual. (microfotografia 4.3). A origem é *in situ*, decorrente dos processos de substituição mineralógica retrógrada, podendo-se observar as seguintes reações:

[Plagioclásio]⁽³⁾ ⇒ Epidoto ± Sericita/Illita ± Caulinita ± Vermiculita cloritizada

⁽³⁾ Minerais em colchetes na reação de substituição mineralógica indicam relictos dos mesmos ao processo de pseudomorfose.

Pseudomorfos (Anfibólio) \Rightarrow Biotita $\pm \Rightarrow$ Clorita $\pm \Rightarrow$ Sericita/Illita \pm Caulinita \pm
Vermiculita cloritizada \pm Óxidos/Hidróxidos de ferro (hematita/goethita)
e titânio

Epidoto \Rightarrow Illita \pm Caulinita \pm Vermiculita cloritizada \pm Óxidos/Hidróxidos de
ferro (hematita/goethita)

Titanita \Rightarrow Óxidos de titânio

Óxidos de ferro \Rightarrow Hidróxidos de ferro (goethita)

Os cristais porfiroclásticos de hornblenda-edenita e plagioclásio sofreram processos de alteração mineralógica intensa a total (pseudomorfose), destacando-se ferruginização e argilização: bissialitização e monossialitização. (microfotografia 4.4). Cristais de titanita não foram observados no horizonte C_1 .

O plasma é constituído por sericita/illita \pm caulinita \pm vermiculita cloritizada (40% - 45%); óxidos/hidróxidos de ferro (hematita e goethita) e titânio (10% a 20%) e microcristais relictuais ao processo de substituição mineralógica retrógrada de epidoto, biotita, titanita e clorita, perfazendo 05% a 10%. A percentagem de ocorrência de óxidos/hidróxidos de ferro e titânio aumentam do horizonte C_3 ao C_1 , enquanto que a presença de microcristais relictuais diminuem.

A estrutura plásmica é crística a silassépica (MHL-1 C_1), discretamente a não orientada, e a estrutura de base ou distribuição relativa é porfírica composta a porfírica segundo Stoops e Jongerius (1975), correspondendo à porfiropéctica composta (Kubiena, 1938) e porfiroesquélica (Brewer, 1976). Sua origem, tal como no esqueleto, é a alteração mineralógica.

Os vazios apresentam dimensões máximas 2,0 mm, médias 0,4 mm e mínimas 0,04 mm, correspondendo às formas planares, tais como fissuras e ortocavidades, em arranjo isolado. As fissuras encontram-se orientadas segundo a foliação milonítica relictual, por vezes discordantes, mostrando arranjo em rede, e as ortocavidades encontram-se aleatoriamente distribuídas, não conectadas, cuja origem é herdada da rocha ou litopórica, podendo-se verificar a ocorrência de *box-works*.

No horizonte C₃, observa-se a ocorrência de uma glóbula, segundo Brewer (1964), do tipo concreção (Brewer, 1964; Pettijohn, 1949), de dimensão 0,5 mm. Apresenta distribuição aleatória, constituída por constituintes do esqueleto e plasma percolados por hidróxidos de ferro (goethita).

No sentido da progressão da alteração, ou seja, do horizonte C₃ ao C₁, observam-se núcleos de *coloração* por óxidos/hidróxidos de ferro e titânio diferenciada, possivelmente refletindo alteração de minerais primários ricos em Fe e Ti (anfíbólio) e pobres nesses elementos (plagioclásio). Nota-se, também, no esqueleto o desagrupamento dos grãos de quartzo, passando a estrutura de base de agrupada a aleatória.

De acordo com a descrição acima, pode-se concluir que no alterito, o processo de alteração evoluiu do horizonte C₃ ao C₁, marcado por evolução nas reações de alteração mineralógica (acréscimo da proporção do plasma em relação ao esqueleto), com destaque para a ferruginização (acréscimo na ocorrência de óxidos/hidróxidos de ferro e titânio no plasma) e biassilitização/monossilicização, além da crescente destruição da textura litológica original.

Fácies de Transição

O horizonte BC, considerado como fácies de transição, apresenta fundo matricial constituído por 15% de esqueleto, 70% de plasma, 15% de vazios e feições pedológicas discretas. Não se observa preservação da textura litológica original. (microfotografia 4.5).

O esqueleto apresenta-se semelhante ao descrito para o alterito, com a mesma constituição mineralógica, com exceção da presença de titanita, sendo 10% constituídos de quartzo e 05% de cristais relictuais ao processo de substituição mineralógica retrógrada, cujas reações são as mesmas descritas para o alterito, acrescentando-se a formação inicial de gibbsita. Diferencia-se na distribuição de base que passa a aleatória, sem relação na estrutura referida. A distribuição relativa permanece porfírica.

O plasma apresenta-se composto por associação caulinita \pm illita \pm vermiculita cloritizada - gibbsita (40%) e óxidos/hidróxidos de ferro (hematita e goethita) e titânio (30%) e traços de microcristais relictuais tais como biotita e epidoto. A estrutura plásmica é silassépica a localmente isótica e crística, sem orientação. A estrutura de base ou distribuição relativa é porfírica. Observa-se processo inicial de individualização de *peds* e coloração avermelhada discretamente diferenciada.

Os vazios, que passam a ocupar cerca de 15%, são dos tipos intergranulares complexos, cavidades e canais/alvéolos, de origem litopórica a pedopórica. Os poros intergranulares se interconectam e verifica-se processo inicial de individualização de *peds*.

Observam-se cutans mal desenvolvidas do tipo ferriargilans ao longo de grãos do esqueleto e poros.

De uma maneira genérica, o horizonte BC é marcado por crescente ferruginização e argilização: bissialitização/monossialitização/alitização com a evolução nas reações mineralógicas de alteração, verificada na composição do plasma, além do processo inicial de individualização de *peds*, evidenciando evolução moderada de pedalidade.

Fácies Sólum

Constituído pelos horizontes B_t e A, representados respectivamente pelas amostras MHL-1B_t e MHL-1A.

No horizonte B_t, o fundo matricial, semelhante ao horizonte BC, é constituído por 15% de esqueleto, 70% de plasma e 15% de vazios, além de ocorrência de feições pedológicas. (Microfografia 4.6).

O esqueleto apresenta 13% de quartzo e cerca de 02% de cristais relictuais ao processo de substituição mineralógica retrógada, representados somente por biotita, epidoto e opacos (óxidos de ferro e titânio), cujos grãos apresentam forma genética xenomórfica e textura superficial moderadamente (quartzo) a intensamente corroída e ferruginizada. As dimensões máximas são 0,6 mm, médias 0,12 mm e mínimas 0,04 mm, cuja gênese é *in situ* por alteração mineralógica. A distribuição de base é aleatória, sem relação na distribuição referida e a distribuição relativa é porfírica. Processo de pseudomorfose a partir da biotita e epidoto são observados, destacando-se a ferruginização e

argilização:bissialitização/monossilicização/alitização. As reações mineralógicas retrógradas são:

Biotita \Rightarrow Caulinita \pm Vermiculita cloritizada $\pm \Rightarrow$ Gibbsita \pm Óxidos/Hidróxidos de ferro (hematita e goethita) e titânio

Epidoto \Rightarrow Caulinita \pm Vermiculita cloritizada $\pm \Rightarrow$ Gibbsita \pm Óxidos/Hidróxidos de ferro (hematita e goethita) e titânio

Opacos (Óxidos de ferro e titânio) \Rightarrow Hidróxidos de ferro (goethita)

O plasma é constituído por 40% da associação caulinita \pm gibbsita \pm vermiculita cloritizada, não se observando a ocorrência de illita, e 30% de óxidos/hidróxidos de ferro (hematita/goethita) e titânio. A estrutura plásmica é omnisséptica, com estrutura de base porfírica. A composição do plasma, assim como sua estrutura reflete o clímax da evolução do processo de alteração mineralógica.

Os vazios apresentam dimensões variando de 4,0 a 0,08 mm, dos tipos intergranulares complexos, cavidades, canais e alvéolos, sendo orto e metaporos, de origem litopórica a pedopórica. Os poros intergranulares são responsáveis pela segregação dos *peds*, mostrando grau de pedalidade moderada a forte.

As cutans observadas são do tipo ferriargilans de poros, grãos e agregados (pedicutans), evidenciando processo de iluviação.

O horizonte A distingue-se do B_t por apresentar maior proporção de vazios, atingindo 20% e menor proporção de plasma (60%) em relação ao esqueleto (19%), apresentando coloração do plasma mais escura, como reflexo da ocorrência de matéria orgânica. Verifica-se como feição pedológica, uma glébulas

do tipo nódulo de dimensão 2,0 mm. Ao contrário do que ocorre no horizonte B_t, observa-se ocorrência de *peds* menos ferruginizados aprisionados em poros, possivelmente evidenciando processo de eluviação.

6.2.2 - PERFIL MHL-2 - PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO

O perfil MHL-2 evolui a partir da alteração de rocha de composição granítica relativa ao Domínio geológico Granito de Itutinga, segundo Quéméneur (inédito).

Fácies Rocha Fresca

Amostras de sigla MHL-2R, representando o fácies rocha fresca, microscopicamente mostram mineralogia essencial constituída por 30% de feldspato potássico (microclina, ortoclásio e feldspato perítico), 35% de plagioclásio, e 25% de quartzo, com 05% de biotita ± anfibólio relictual da série hornblenda-edenita. A mineralogia secundária perfaz 05%, incluindo biotita, epidoto da série zoisita-pistacita e zoisita-clinozoisita, mica-branca/sericita, carbonato, titanita + óxidos de titânio, clorita, óxidos/hidróxidos de ferro. Na mineralogia acessória observa-se zircão e allanita.

Apresentam textura granular a granoblástica, xenomórfica a hipidiomórfica, com feições de tensionamento discretas e recristalização moderada.

Constituem-se por agregados xenoblásticos a hipidioblásticos de feldspato potássico (principalmente microclina) e plagioclásio, de granulação grossa (dimensões máximas 7,0 mm, médias 2,0 mm e mínimas 0,4 mm), distribuídos em meio à matriz granoblástica de quartzo, em cristais de dimensões médias 0,30 mm. (microfotografia 4.7). Apresentam corrosão de borda e fraturas com preenchimento por subgrãos intersticiais recristalizados de quartzo + feldspato potássico + plagioclásio.

Agregados discretos de cristais relictuais de anfibólio, parcial a totalmente substituídos (processo de pseudomorfose) por biotita, e demais produtos de substituição mineralógica retrógrada hidrotermal a retrometamórfica, encontram-se dispersamente distribuídos, mostrando tendência intersticial. (microfotografia 4.7).

Os processos de substituição mineralógica retrógrada, de origem hidrotermal a retrometamórfica, são verificados através de saussuritização dos cristais de plagioclásio, cloritização, sericitização e epidotização da biotita, além da sericitização incipiente do feldspato potássico e microclinização do ortoclásio e plagioclásio, denotando fácies metamórfica xisto-verde. As reações observadas foram:

[Anfibólio/Hornblenda-edenita] \pm \Rightarrow Biotita \Rightarrow Epidoto(zoisita-pistacita) \pm Mica

branca(moscovita/sericita) \pm Clorita - Titanita/Óxidos de titânio -

Óxidos/Hidróxidos de ferro (hematita/goethita) - Carbonato

Plagioclásio \Rightarrow Sericita \pm Epidoto(zoisita-clinozoisita) - Carbonato

Plagioclásio \Rightarrow Microclina

Feldspato potássico \Rightarrow Sericita

A classificação microscópica dessa rocha é granito, com composição modal estimada granítica, segundo Streckeisen (1976).

Fácies Rocha Alterada

A amostra MHL-2R₁ representa o fácies alterado desta rocha, apresentando distribuição e constituição da mineralogia essencial, secundária e acessória semelhante à MHL-2R. Nas feições texturais destaca-se maior fraturamento e corrosão de borda dos cristais, especialmente do plagioclásio, além dos processos de substituição mineralógica retrógrada mais intensos, particularmente nos cristais de plagioclásio e biotita.

Os cristais de plagioclásio, além do fraturamento, corrosão de borda e substituição intensa, destacando-se a sericitização e argilização, mostram-se percolados por hidróxidos de ferro.

As reações de substituição mineralógica retrógrada são semelhantes às descritas para o fácies rocha fresca. Dentre os produtos de substituição da biotita, destaca-se a sericitização/moscovitização, e no plagioclásio ressalta-se a argilização. (microfotografia 4.8).

Fácies Alterito

Neste perfil, o fácies alterito é constituído pelos horizontes C₁ e C₂, representados pelas amostras MHL-2C₁ e MHL-2C₂, respectivamente, sendo que a alteração evolui do horizonte C₂ para o C₁. Ambos apresentam textura granítica original preservada.

O fundo matricial é constituído por 40 a 45% de esqueleto, 55 a 60% de plasma e os vazios não totalizam 01%. O esqueleto apresenta dois constituintes principais: quartzo (20 a 28%) e o feldspato potássico (microclina, ortoclásio e feldspato pertítico) representa 15 a 18%, sendo o restante (02 a 05%) composto por cristais relictuais ao processo de substituição mineralógica retrógrada, tais como biotita, epidoto, clorita, mica branca e opacos (óxidos de ferro). Não se observaram cristais relictuais de plagioclásio (microfotografia 4.9).

Os grãos do esqueleto apresentam textura superficial normal (quartzo), corroída e fraturada (feldspato potássico) e corroída e ferruginizada nos cristais relictuais; a forma genética varia de xenomórfica a hipidiomórfica (feldspato potássico), sem evidências de transporte. As dimensões máximas são 4,0 mm (feldspato potássico), médias 0,4 mm (quartzo) e mínimas 0,04 mm. A origem é *in situ*, por alteração mineralógica no caso dos cristais relictuais. A distribuição de base é agrupada e a relativa é porfírica composta, segundo Stoops e Jongerius (1975), refletindo a textura granítica preservada. As reações de alteração mineralógica observadas foram:

Biotita \rightleftharpoons Epidoto \rightleftharpoons Clorita \rightleftharpoons Mica branca \Rightarrow Illita \pm Caulinita \rightleftharpoons
Gibbsita

Feldspatos \Rightarrow Sericita/ Illita \pm Caulinita \rightleftharpoons Gibbsita

O plasma é constituído por 30% a 38% de sericita/illita \pm caulinita \pm gibbsita e 02 a 05% de óxidos/hidróxidos de ferro (hematita/goethita), além de cerca de 15 a 20% de microcristais relictuais ao processo de alteração mineralógica como biotita, mica branca e epidoto. A estrutura plásmica é crística, não orientada, e a estrutura de base ou distribuição relativa é porfírica composta. A origem é a alteração mineralógica.

Os vazios são raros, constituídos por orto-cavidades de dimensões máximas 1,0 mm, distribuição aleatória, de origem litopórica representando *box works*.

Com relação à evolução da alteração do horizonte C₂ para o C₁, nota-se discreto acréscimo na proporção de plasma em relação ao esqueleto na amostra MHL-2C₁, denotando discreto acréscimo nos processos de alteração mineralógica. A diferença macroscópica observada entre os dois horizontes refere-se à concentração de óxidos/hidróxidos de ferro, que macroscopicamente mostra colorações mais (MHL-2C₂) e menos (MHL-2C₁) esbranquiçadas.

Destaca-se, relativamente à facie rocha alterada, o desaparecimento do plagioclásio e anfibólio, indicando processos de substituição total - pseudomorfose; além da intensa substituição da biotita e epidoto, destacando-se processo de argilização: bissialitização/monossialitização/alitização.

Fácies de Transição

O horizonte BC representa o fácies de transição entre o alterito e o sólum, estando representado pela amostra MHL-2BC.

Na distribuição dos constituintes do fundo matricial, diferencia-se microscopicamente do alterito (amostra MHL-2C₁) basicamente pela maior ocorrência de vazios que atingem 03%.

No esqueleto, a constituição mineralógica é semelhante à do alterito, com predomínio do quartzo (23%) e feldspato potássico (15%), excetuando-se a

ocorrência de epidoto e clorita entre os minerais relictuais ao processo de alteração mineralógica, sendo estes representados basicamente por biotita, mica branca e opacos, não ultrapassando 02%. As reações observadas foram:

Biotita \rightleftharpoons Mica branca \Rightarrow Sericita/Illita \pm Caulinita \rightleftharpoons Gibbsita \pm

Óxidos/Hidróxidos de ferro (hematita/goethita)

Feldspato potássico \Rightarrow Illita \pm Caulinita \rightleftharpoons Gibbsita

Opacos (óxidos de ferro) \Rightarrow Hidróxidos de ferro (goethita)

Os constituintes do esqueleto mostram-se em grãos menores e mais corroídos relativamente ao alterito, com dimensões máximas 0,8 mm, e a distribuição de base deixa de ser agrupada e passa a aleatória, com distribuição relativa porfírica, evidenciando desorganização da estrutura litológica original.

O plasma (57%) apresenta constituição mineralógica semelhante à do alterito; com 30% de sericita/illita \pm caulinita \pm gibbsita e 12% de óxidos/hidróxidos de ferro (hematita/goethita), além de cerca de 15% de cristais relictuais ao processo de alteração mineralógica (biotita e mica branca). Ressalta-se o acréscimo na concentração relativa de óxidos/hidróxidos de ferro (hematita/goethita).

A estrutura plásmica é omniépica a bimassépica e a estrutura de base é porfírica fechada com tendência a quitônica.

Entre os vazios, verifica-se a ocorrência de ortocavidades de origem litopórica (*box-works*), distribuídas aleatoriamente, com dimensões máximas 3,20 mm, evidenciando processo de lixiviação.

Fácies Sólum

O fácies sólum é constituído pelos horizontes B₁ e A, representados no perfil pelas amostras MHL-2B e MHL-2A, respectivamente.

A micromorfologia do horizonte B₁ (microfotografia 4.10) é semelhante à descrição relativa ao horizonte BC, tanto na distribuição do fundo matricial e composição mineralógica quanto na distribuição do esqueleto e plasma, ou seja: 40% de esqueleto (28% de quartzo, 10% de feldspato potássico, 02% de biotita + mica branca e traços de óxidos de ferro); 57% de plasma (sericita/illita ± caulinita ± gibbsita (29%), óxidos/hidróxidos de ferro (hematita/goethita) e titânio (13%) e relictos (15%) de biotita e mica branca). No esqueleto, pode-se ressaltar decréscimo na ocorrência de grãos de feldspato potássico, que passa a corresponder a 10%, destacando-se a argilização do mesmo, por vezes em processo de pseudomorfose.

O horizonte A diferencia-se do B₁ pela maior ocorrência de vazios, que atinge 10% da abundância relativa do fundo matricial, dos tipos intergranulares complexos, cavidades e canais, com dimensões máximas 2,8 mm, de origem litopórica e pedopórica. O plasma passa a ser constituído por caulinita ± gibbsita, não se verificando a ocorrência de illita, sendo o processo de argilização representado por monossilicização e alitização. As cavidades e canais distribuem-se aleatoriamente e os vazios intergranulares proporcionam modesta individualização de *peads*, originando grau moderado de pedalidade. Observa-se, também, ocorrência de feição pedológica do tipo pedotúbulo em preenchimento de canais, constituído por óxidos/hidróxidos de Fe e possivelmente Mn + matéria orgânica. No plasma, destaca-se a ocorrência de matéria orgânica, conferindo coloração mais escura ao mesmo.

6.2.3 - PERFIL MHL-3 - BRUNIZÉM AVERMELHADO

O perfil MHL-3 desenvolve-se a partir de rochas do Domínio geológico *Greenstone-belt* de Lavras, segundo Quéméneur (inédito).

Fácies Rocha Fresca

A amostra MHL-3R representa o fácies rocha fresca desse perfil, apresentando microscopicamente mineralogia essencial constituída por clinopiroxênio da série diopsídio-augita (30%), anfibólio da série hornblenda-edenita (30%), plagioclásio (35%) e traços de quartzo.(microfotografia 4.11 e 4.12). A mineralogia secundária, originada por reações mineralógicas retrógradas (retrometamórficas) representa 05%, sendo formada principalmente por tremolita-actinolita/uralita e traços de sericita, óxidos/hidróxidos de ferro e titânio. Cristais isolados de apatita representam a mineralogia acessória.

Apresenta textura nematoblástica, sendo a foliação definida por agregados orientados de anfibólio (hornblenda-edenita) e clinopiroxênio (diopsídio-augita), exibindo relações de substituição retrometamórfica. Agregados granoblásticos de plagioclásio encontram-se associados ou preenchendo interstícios.

As reações retrógradas (retrometamórficas) definem fácies xisto verde à rocha, sendo representadas por:

Clinopiroxênio \Rightarrow Anfibólio \pm Óxidos/Hidróxidos de ferro (hematita/goethita) e
titânio - Tremolita-actinolita/Uralita

Plagioclásio \Rightarrow Sericita (processo incipiente)

Microscopicamente essa rocha classifica-se como Piroxenito granulitizado.

Fácies Rocha Alterada

A amostra MHL-3R₁, correspondendo o fácies alterado da amostra MHL-3R, apresenta constituição mineralógica essencial semelhante a esta última, destacando-se ligeiro decréscimo na ocorrência de plagioclásio (25%), e acréscimo na ocorrência de anfibólio (35%). A mineralogia secundária também é similar, passando a perfazer 10% da composição mineralógica total, ressaltando-se incremento nas reações de alteração ao longo dos planos de clivagem e microfraturas dos cristais de clinopiroxênio e anfibólio, com maior ocorrência de óxidos de ferro e titânio e processo de argilização incipiente do plagioclásio, além da sericitização. (microfotografia 4.13).

Alterito

O alterito é constituído pelos horizontes C₁, C₂ e C₃, representados respectivamente pelas amostras MHL-3C₁, MHL-3C₂ e MHL-3C₃, com a alteração progredindo do horizonte C₃ ao C₁.

A estrutura litológica encontra-se preservada nas amostras MHL-3C₃ e MHL-3C₂. Apresentam fundo matricial constituído por 40 a 60% de esqueleto, 35 a 55% de plasma e cerca de 05% de vazios. A proporção de plasma sofre acréscimo do horizonte C₃ ao C₁, juntamente com o decréscimo na abundância relativa de esqueleto.

Nos horizontes C₃ e C₂, o esqueleto é constituído por 30% de anfibólio, 10% de pseudomorfos de clinopiroxênio, 15% de plagioclásio, 05% de opacos (óxidos de ferro e titânio) e traços de quartzo. Já no horizonte C₁, com o avanço da alteração mineralógica, os cristais de anfibólio desaparecem, passando a constituir pseudomorfos juntamente com o clinopiroxênio, ambos perfazendo cerca de 28%; o plagioclásio é relictual (10%), e o restante (02%) é constituído por óxidos de ferro e titânio. (microfotografia 4.14).

Os constituintes do esqueleto apresentam forma genética xenomórfica a hipidiomórfica, textura superficial corroída, fraturada e ferruginizada, sem evidências de transporte. As dimensões máximas são 2,00 mm, médias 0,40 mm e mínimas 0,04 mm. A distribuição de base passa de agregada (MHL-3C₃), refletindo a estrutura litológica original, a aleatória no horizonte C₁, assim como a distribuição referida passa de alinhada, segundo foliação milonítica relictual, a sem relação. A distribuição relativa varia de quitônica a porfírica fechada a porfírica (Stoops e Jongerius, 1975) na evolução do perfil. A origem é *in situ* decorrente de processos de alteração mineralógica, ressaltando pseudomorfose de clinopiroxênio e anfibólio.

Observaram-se na mineralogia constitutiva do esqueleto as seguintes reações mineralógicas retrógradas:

Pseudomorfos (Clinopiroxênio \pm \Rightarrow Anfibólio) \Rightarrow Tremolita-actinolita/Uralita \Rightarrow

Talco \pm Esmectita \pm Caulinita \pm Óxidos/Hidróxidos de ferro
(hematita/goethita) e titânio

Plagioclásio \Rightarrow Sericita \Rightarrow Esmectita \pm Caulinita

Opacos \Rightarrow Óxidos/Hidróxidos de ferro (hematita/goethita) e titânio

O plasma nos horizontes C₃ e C₂ apresenta-se constituído por associação microcristalina de sericita ± talco ± esmectita ± caulinita (20%), cerca de 10% de óxidos/hidróxidos de ferro (hematita/goethita) e titânio e micro-cristais relictuais ao processo de alteração mineralógica, tais como tremolita-actinolita/uralita e sericita, perfazendo 05%. Já no horizonte C₁, não se verifica a ocorrência de sericita e microcristais relictuais à alteração mineralógica. A associação talco ± esmectita ± caulinita atinge 25% e destaca-se a ocorrência de 30% de óxidos/hidróxidos de ferro e titânio, mostrando a evolução dos processos de alteração mineralógica crescente na evolução do alterito, destacando-se a ferruginização e argilização:bissialitização e monossialitização, com processos de pseudomorfose. A estrutura plásmica varia de crística (MHL-3C₃) a omniépica a isotrópica isótica (MHL-3C₁) e a distribuição relativa varia de quitônica a porfírica (Stoops e Jongerius, 1975).

Os vazios apresentam formas planares - fissuras concordantes à foliação milonítica relictual e cavidades e canais aleatoriamente distribuídos, de origem litopórica, com presença de *box works*, e pedopórica no horizonte C₁. Neste último verifica-se, também, a ocorrência de formas intergranulares complexas, definindo grau de pedalidade moderada.

No horizonte C₁, verificou-se a presença de cutans a hipocutans do tipo ferrans, de grãos (pseudomorfos e opacos) e poros, cuja origem possível seja difusão a partir dos pseudomorfos de clinopiroxênio/anfibólio.

Fácies de Transição

A amostra MHL-3BC, representativa do horizonte de transição ou BC, mostrou-se microscopicamente semelhante à amostra MHL-3C₁, com decréscimo

da abundância relativa de esqueleto (30%) e acréscimo na ocorrência de vazios, que atingem 15%. (microfotografia 4.15 e 4.16) O plasma apresenta distribuição (55%) e composição semelhante. No esqueleto observa-se decréscimo na ocorrência de plagioclásio relictual (02%). Entre as feições pedológicas, além de ferrans e ferriargilans (microfotografia 4.17), ocorre uma glóbula de dimensão 2,00 mm do tipo concreção (segundo Brewer, 1964; Petijohn, 1949), evidenciando processos de iluviação e concentração.

Fácies Sólum

Representada pelos horizontes B₁ e A, cujas amostras analisadas microscopicamente foram designadas de MHL-3B e MHL-3A, respectivamente.

O fundo matricial do horizonte B₁ caracteriza-se pelo decréscimo de esqueleto (12%), acréscimo de plasma (70%) e cerca de 18% de vazios. O esqueleto é constituído por 05% de pseudomorfos de clinopiroxênio e anfibólio, traços de plagioclásio relictual e pseudomorfos deste mineral, 02% de opacos (óxidos de ferro e titânio) e quartzo que perfaz cerca de 05%. (microfotografia 4.18). Apresentam textura superficial corroída e ferruginizada e o quartzo encontra-se fraturado, a forma genética é xenomórfica. A distribuição de base é aleatória, sem relação e a distribuição relativa é porfirica aberta (Stoops e Jongerius, 1975). Apresentam dimensões máximas 0,52 mm, médias 0,20 mm e mínimas 0,04 mm. A origem é *in situ* decorrente dos processos de substituição mineralógica retrógrada, com destaque para a pseudomorfose do anfibólio e plagioclásio. A proporção de quartzo sugere processo de concentração relativa.

As reações mineralógicas retrógradas observadas foram:

Pseudomorfos (Clinopiroxênio ± Anfibólio) ⇒ Talco ± Esmectita ± Caulinita ±
Óxidos/Hidróxidos de ferro (hematita/goethita) e titânio

[Plagioclásio] ⇒ Esmectita ± Caulinita

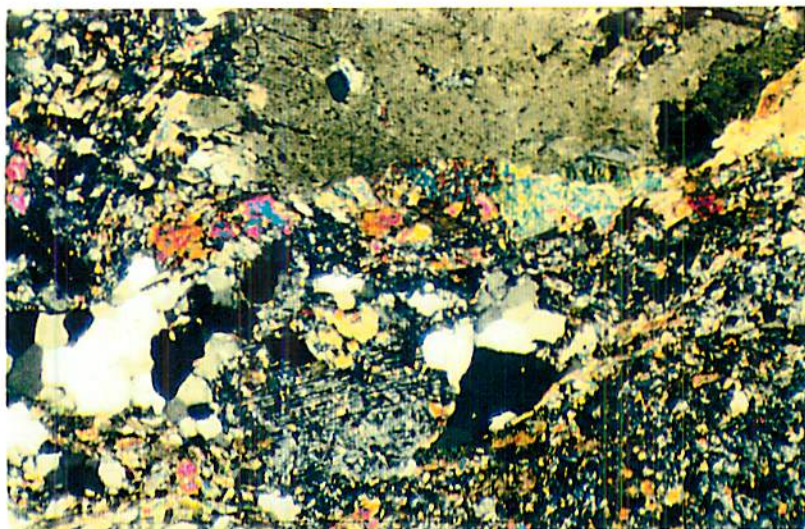
Opacos ⇒ Óxidos/Hidróxidos de ferro (hematita/goethita) e titânio

O plasma apresenta-se constituído por associação microcristalina de talco ± esmectita ± caulinita (35%) e óxidos/hidróxidos de ferro (hematita/goethita) e titânio (35%). A estrutura plásmica é omnissépica a isotrópica isótica e a distribuição relativa é porfírica aberta (Stoops e Jongerius, 1975). Observam-se segregações plásmicas por concentrações diferenciadas de óxidos/hidróxidos de ferro e microagregações plásmicas por microfaturas preenchidas por óxidos/hidróxidos de ferro. É marcado pela crescente evolução dos processos de alteração, destacando-se a ferruginização e argilização: bissialitização e monossialitização.

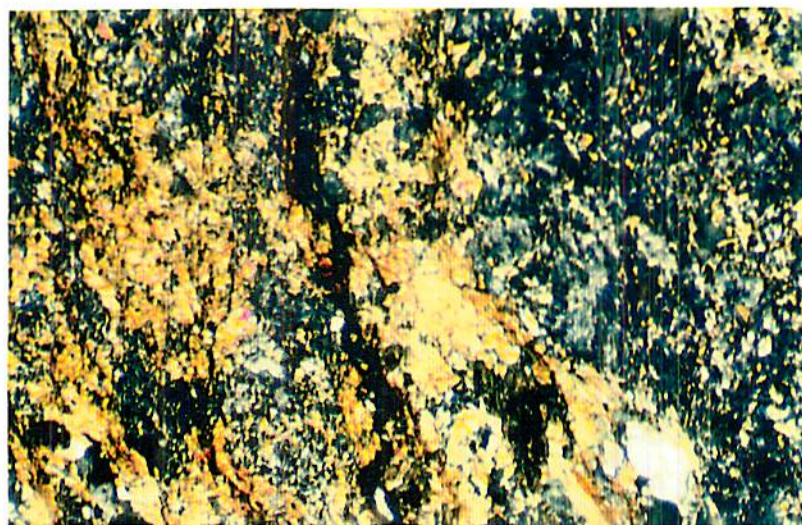
Os vazios são de origem litopórica (*box works*) a pedopórica, constituídos por cavidades, canais e alvéolos, fissuras a microfissuras oblíquas e rachaduras, de distribuição aleatória, não orientados. Mostram dimensões máximas 4,00 mm, médias 0,20 mm e mínimas 0,04 mm, sendo os diâmetros dos canais variando de 0,40 a 0,08 mm. O grau de pedalidade é moderado.(microfotografia 4.18).

Verifica-se a ocorrência de cutans de poros, microagregados e microfissuras, do tipo ferroargilans e ferrans (microfotografia 4.18), evidenciando processo de iluviação.

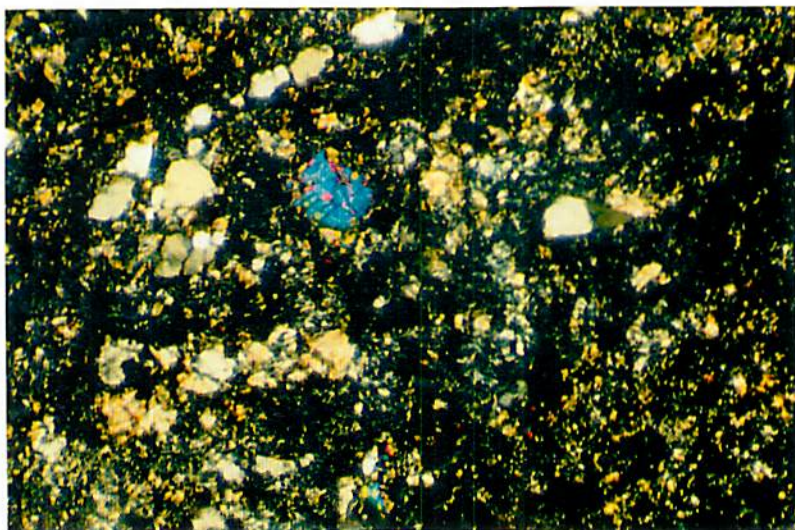
O horizonte A, semelhante ao horizonte B, apresenta coloração mais escura em função da ocorrência de matéria orgânica.



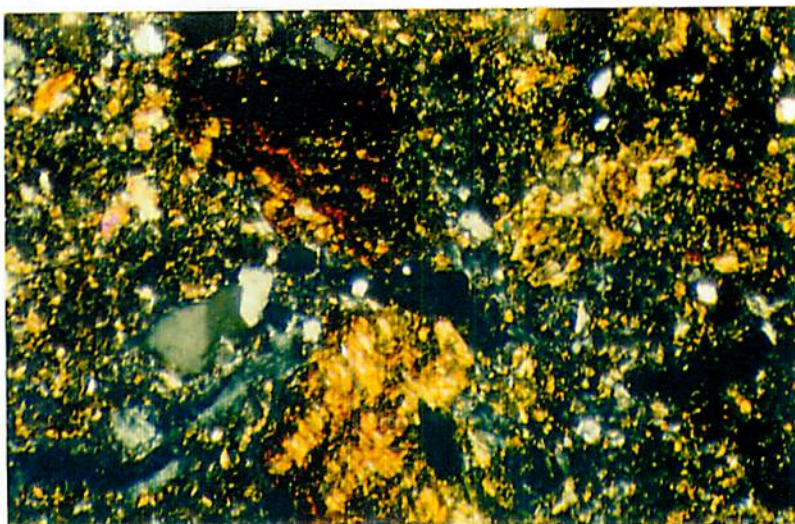
MICROFOTOGRAFIA 4.1 - PERFIL MHL-1 - AMOSTRA MHL-1R - Fácies rocha fresca. Agregados de anfibólio e plagioclásio em processo de substituição retrógrada, com quartzo intersticial. Feições texturais. (Obj. 6.3x; Oc. 8x, nicóis cruzados).



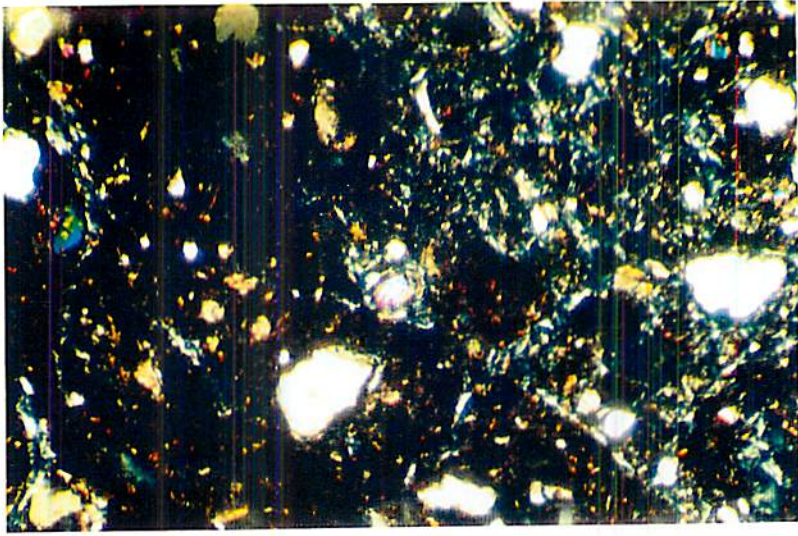
MICROFOTOGRAFIA 4.2 - PERFIL MHL-1 - AMOSTRA MHL-1R₁ - Fácies rocha alterada. Feições de fraturamento com percolação de óxidos/hidróxidos de ferro e incremento no processo de alteração mineralógica. (Obj. 6.3x; Oc. 8x; nicóis cruzados)



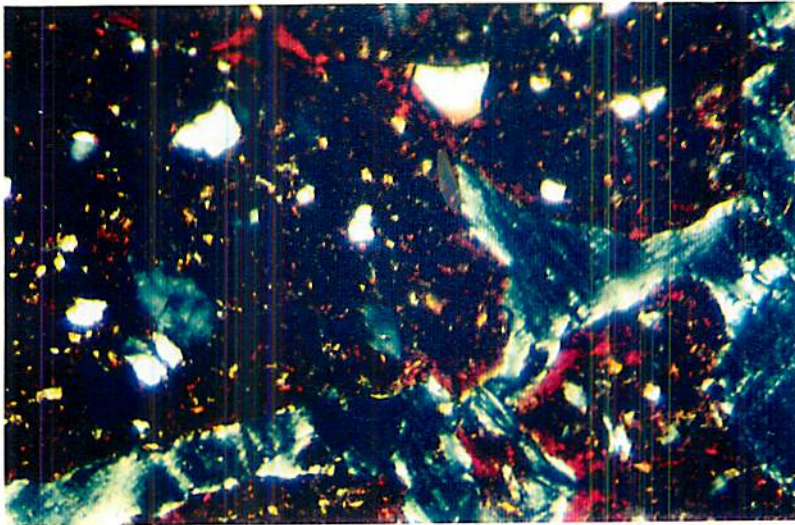
MICROFOTOGRAFIA 4.3 - PERFIL MHL-1 - AMOSTRA MHL-1C₂ - Fácies alterito. Fundo matricial e esqueleto (quartzo e epidoto) com feições texturais litológicas preservadas. (Obj. 6.3x; Oc. 8x; nicóis cruzados).



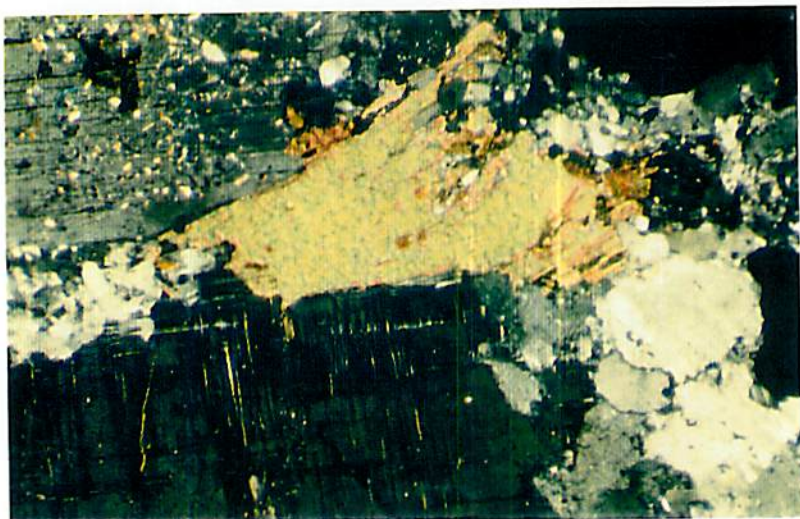
MICROFOTOGRAFIA 4.4 - PERFIL MHL-1 - AMOSTRA MHL-1C₃ - Fácies alterito. Feições do fundo matricial e esqueleto, com pseudomorfos de anfibólio/biotita. Processos de ferruginização e argilização. (Obj. 6.3x; Oc. 8x, nicóis cruzados).



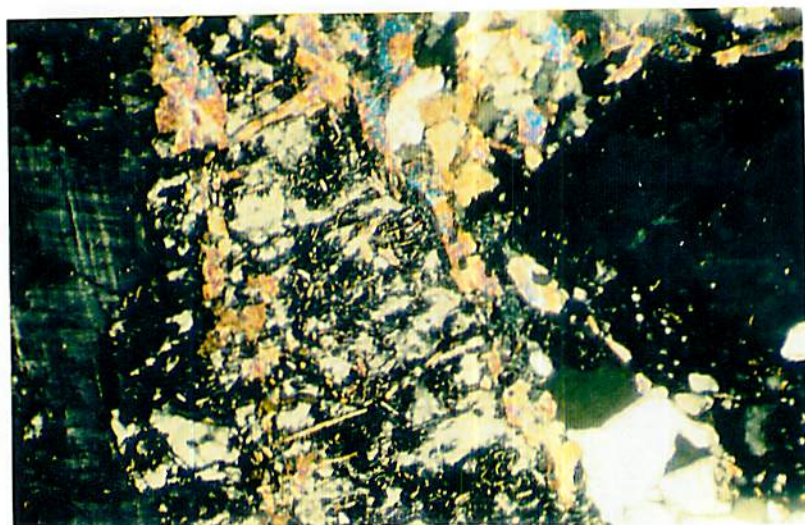
MICROFOTOGRAFIA 4.5 - PERFIL MHL-1 - AMOSTRA MHL-1BC - Fácies de transição. Fundo matricial (caulinita + gibbsita - vermiculita cloritizada) e esqueleto a quartzo, epidoto e mica branca (textura porfírica). (Obj. 6.3x; Oc. 8x, nicóis cruzados).



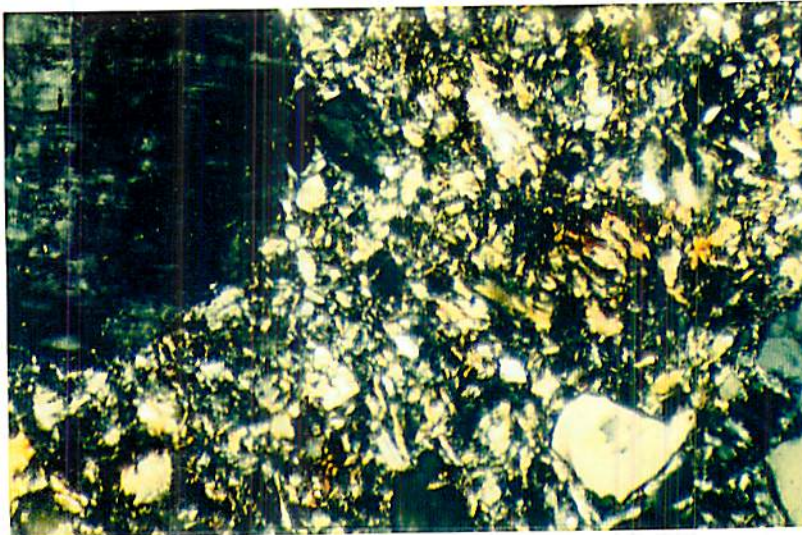
MICROFOTOGRAFIA 4.6 - PERFIL MHL-1 - AMOSTRA MHL-1B - Fácies sólum - horizonte B₁. Ocorrência de cutans (ferriargilans), evidenciando processo de iluviação. (Obj. 6.3x; Oc. 8x; nicóis cruzados).



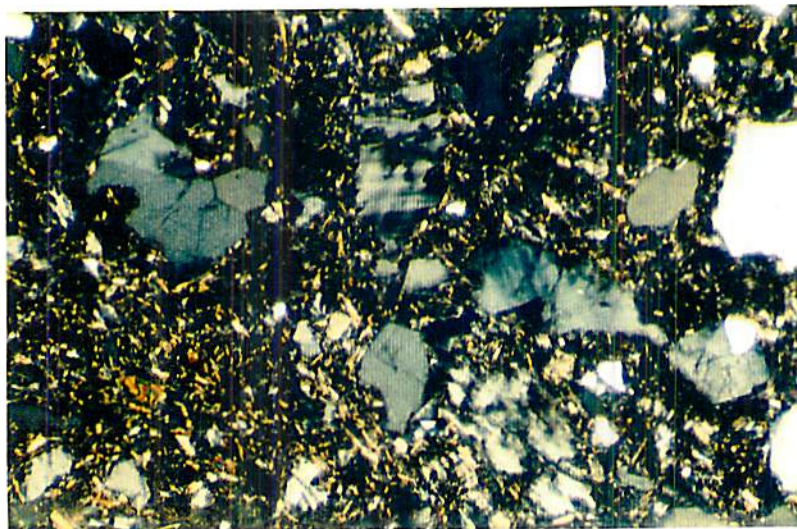
MICROFOTOGRAFIA 4.7 - PERFIL MHL-2 - AMOSTRA MHL-2R - Fácies rocha fresca. Agregados de microclina, plagioclásio e quartzo, com biotita intersticial. Processos de substituição no plagioclásio e biotita. (Obj. 6.3x; Oc. 8x, nicóis cruzados).



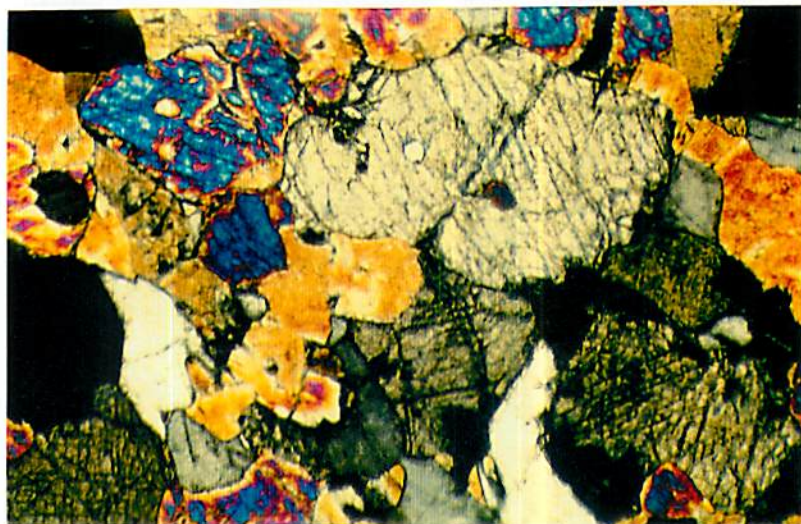
MICROFOTOGRAFIA 4.8 - PERFIL MHL-2 - AMOSTRA MHL-2R₁ - Fácies rocha alterada. Alteração mineralógica em cristais de plagioclásio (argilização) e biotita (mica branca). (Obj. 6.3x; Oc. 8x; nicóis cruzados).



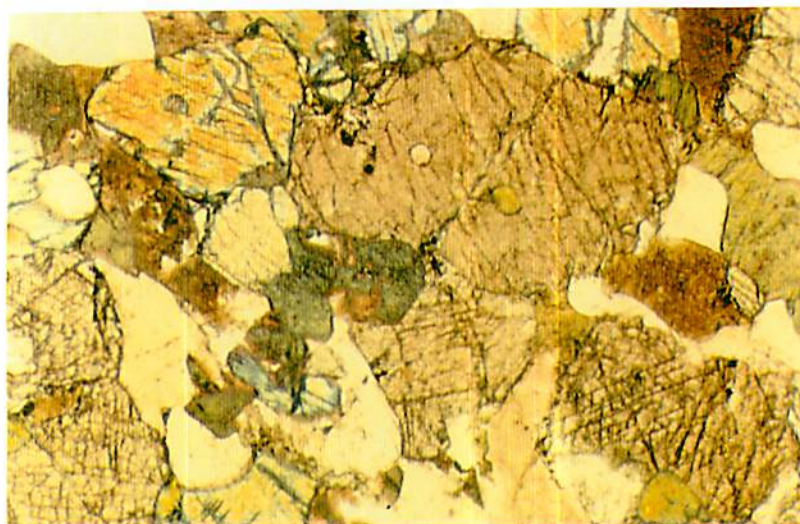
MICROFOTOGRAFIA 4.9 - PERFIL MHL-2 - AMOSTRA MHL-2C₁ - Fácies alterito. Fundo matricial (textura plásmica cristalica) e esqueleto a quartzo e microclina hipidomórfica. Ausência de plagioclásio. (Obj. 6.3x; Oc. 8x, nicóis cruzados).



MICROFOTOGRAFIA 4.10 - PERFIL MHL-2 - AMOSTRA MHL-2B - Fácies sólum - horizonte B₁. Fundo matricial de estrutura porfírica fechada com esqueleto a quartzo, feldspato potássico e mica branca. (Obj. 6.3x; Oc. 8x; nicóis cruzados).



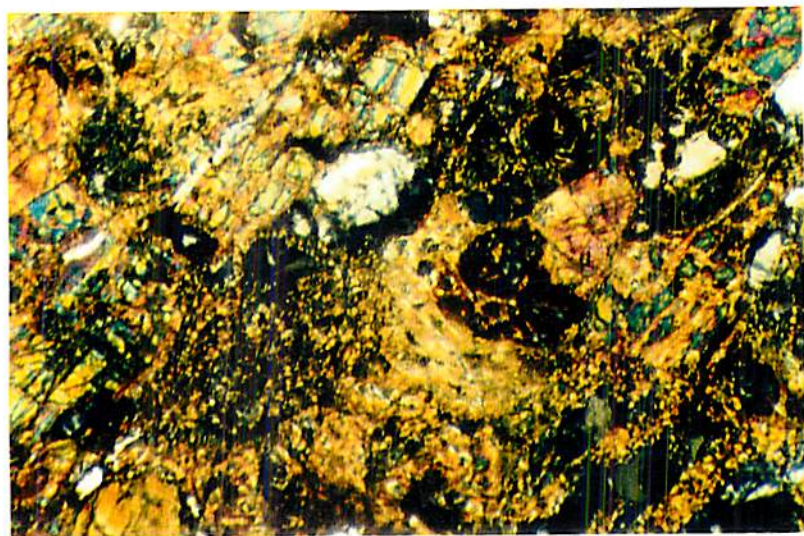
MICROFOTOGRAFIA 4.11 - PERFIL MHL-3 - AMOSTRA MHL-3R - Fácies rocha fresca. Granoblastos de clinopiroxênio, anfibólio e plagioclásio. Feições texturais. (Obj. 6.3x; Oc. 8x, nicóis cruzados).



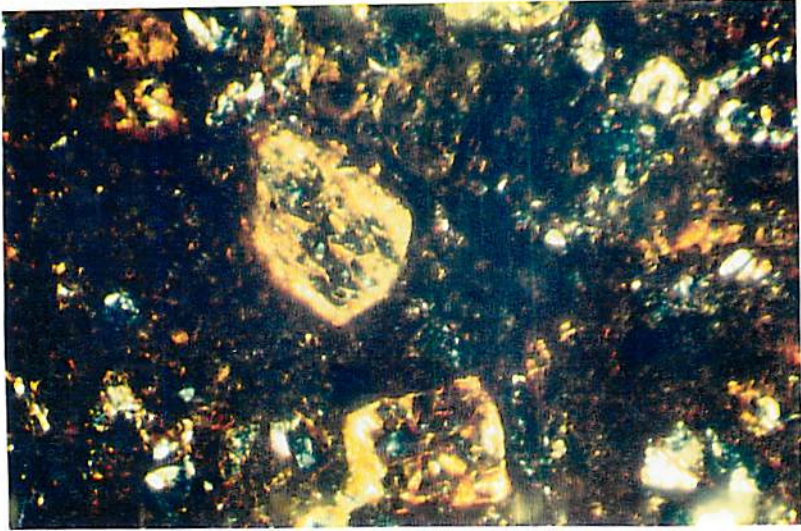
MICROFOTOGRAFIA 4.12 - PERFIL MHL-3 - AMOSTRA MHL-3R - Fácies rocha fresca. Granoblastos de clinopiroxênio, anfibólio e plagioclásio. Feições texturais. (Obj. 6.3x; Oc. 8x, nicóis paralelos).



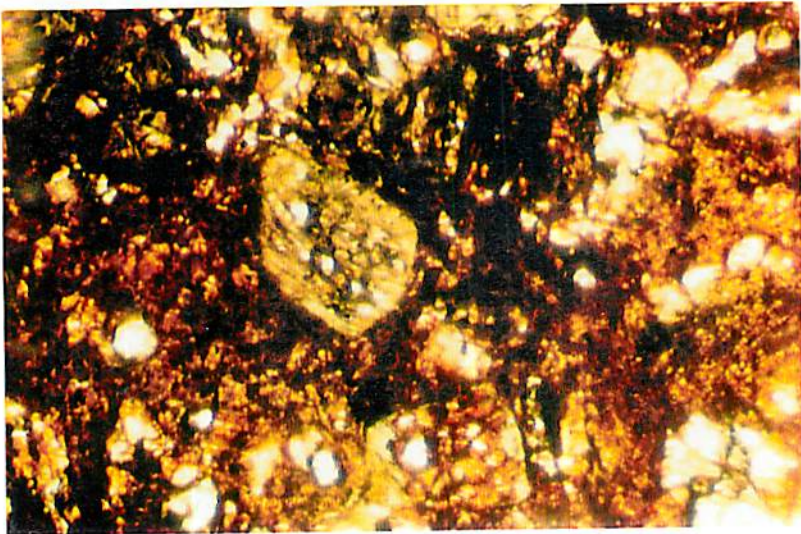
MICROFOTOGRAFIA 4.13 - PERFIL MHL-3 - AMOSTRA MHL-3R₁ - Fácies rocha alterada. Feições de alteração mineralógica (planos de clivagem e microfraturas) em cristais de plagioclásio, clinopiroxênio e anfíbólio. (Obj. 6.3x; Oc. 8x; nicóis cruzados).



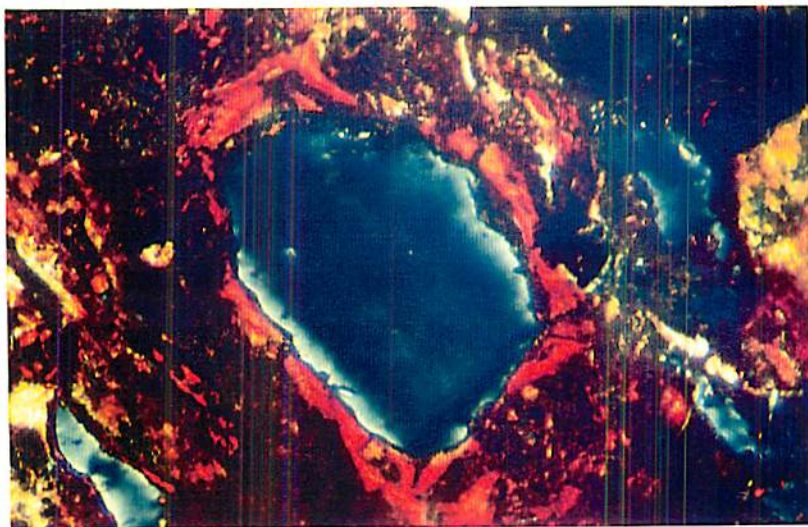
MICROFOTOGRAFIA 4.14 - PERFIL MHL-3 - AMOSTRA MHL-3C₂ - Fácies alterito. Acréscimo na alteração mineralógica (argilização e ferruginização), com pseudomorfos de minerais *primários*. (Obj. 6.3x; Oc. 8x, nicóis cruzados).



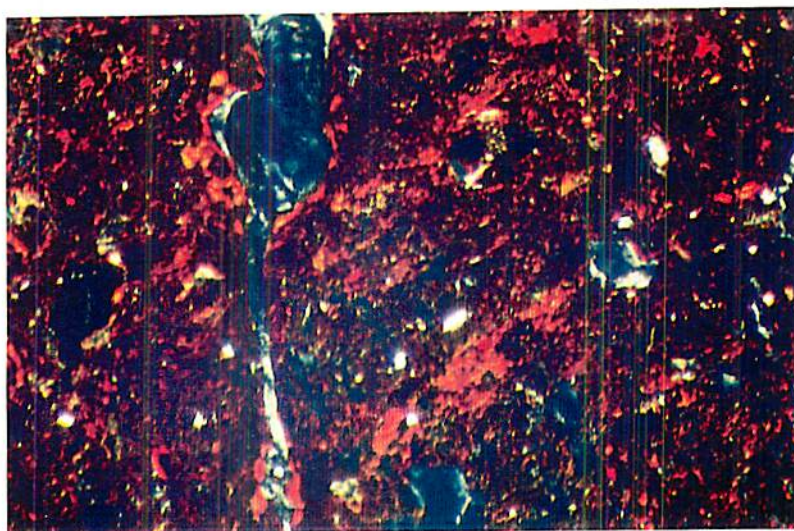
MICROFOTOGRAFIA 4.15 - PERFIL MHL-3 - AMOSTRA MHL-3BC - Fácies de transição. Fundo matricial (talco + esmectita + caulinita + óxidos/hidróxidos de ferro e titânio) com pseudomorfos de clinopiroxênio. (Obj. 6.3x; Oc. 8x; nicóis cruzados).



MICROFOTOGRAFIA 4.16 - PERFIL MHL-3 - AMOSTRA MHL-3BC - Fácies de transição. Fundo matricial (talco + esmectita + caulinita + óxidos/hidróxidos de ferro e titânio) com pseudomorfos de clinopiroxênio. (Obj. 6.3x; Oc. 8x; nicóis paralelos).



MICROFOTOGRAFIA 4.17 - PERFIL MHL-3 - AMOSTRA MHL-3BC - Fácies de transição. Fundo matricial (talco + esmectita + caulinita + óxidos/hidróxidos de ferro e titânio), com ocorrência de ferriargilans de poros. (Obj. 6.3x; Oc. 8x; nicóis cruzados).



MICROFOTOGRAFIA 4.18 - PERFIL MHL-3 - AMOSTRA MHL-3B - Fácies sólum - horizonte B₁. Feições do fundo matricial e ocorrência de cutans (ferriargilans), evidenciando processo de iluviação. (Obj. 6.3x; Oc. 8x; nicóis cruzados).

6.3 - MATERIAL DE ORIGEM X EVOLUÇÃO DOS PERFIS DE ALTERAÇÃO

A evolução dos perfis de alteração mostra-se diretamente vinculada à textura, composição química e mineralógica dos materiais originais, refletindo-se na micromorfologia e composição mineralógica dos horizontes que compõem cada perfil, especialmente o horizonte diagnóstico - B textural, concordando com as características físicas e químicas apresentadas pelos solos correspondentes, tal como discutido no capítulo 3.

PERFIL MHL-1 - Podzólico Vermelho-Escuro

O material de origem deste perfil - diorito milonitizado, sendo uma rocha de composição intermediária, é constituído por minerais silicatados de intemperização rápida a moderada, segundo Goldich (1938), alguns portadores de Fe e Mg na sua composição química (anfíbólio, biotita e clorita), outros portadores de Ca (plagioclásio, epidoto e titanita). O Fe e Ti também estão presentes em óxidos de ferro e titânio (magnetita e ilmenita). Entre os minerais resistentes ao intemperismo destaca-se a ocorrência moderada a discreta de quartzo.

A evolução da alteração desta rocha ao longo do perfil é moderada a acentuada já no alterito, evoluindo em direção ao sólum, atingindo clímax no horizonte B, caracterizando diminuição da proporção de esqueleto (de 25 para 15%) e acréscimo discreto do plasma (de 65 para 70 %), sendo que o esqueleto passa a ser constituído basicamente por quartzo, desaparecendo os demais

minerais *primários*⁽⁴⁾ à intemperização. No plasma, mais significativo que a abundância relativa, é a sua composição mineralógica, representada por associação caulinita + vermiculita cloritizada + gibbsita, sendo 30% do mesmo constituído de óxidos/hidróxidos de ferro (hematita/goethita) e titânio, desaparecendo os demais minerais silicatados *primários*. Desta maneira, a estrutura plásmica crística no alterito passa a omnissépica no sólum, com distribuição relativa porfírica. Esta evolução mostra hidrólise crescente dos minerais silicatados *primários* que se inicia com a biassilitização e monossilitização no alterito evoluindo-se para alitização no sólum, com liberação de Fe, entre outros cátions, promovendo o processo de ferruginização ascendente. Esta evolução é decorrente da composição mineralógica e química da rocha originária, restando do processo de alteração somente o quartzo, mineral resistente ao intemperismo, cuja tendência é concentração na fração mais grosseira do solo, constituindo o esqueleto. Os demais minerais silicatados *primários* foram substituídos por mineralogia secundária de origem intempérica, basicamente argilo-minerais silicatados e oxi-hidróxidos de alumínio e ferro.

Assim sendo, processos de lixiviação e pseudomorfose são moderados a acentuados. A ocorrência de *box works* reflete-se no acréscimo de vazios, especialmente no sólum, favorecendo o desenvolvimento da pedalidade, atingindo grau moderado a forte. A composição do plasma favorece processo de iluviação, verificado através de ocorrência de ferriargilans.

A análise das reações de substituição mineralógica ao longo do perfil, permitiu estabelecer a ordem de destruição intempérica dos minerais silicatados

⁽⁴⁾ *Primários* referem-se a minerais primários à alteração intempérica, muitas vezes não sendo minerais primários da rocha de origem.

primários ao longo do perfil de alteração: Anfibólio - Plagioclásio - Titanita - Clorita/Epidoto/Biotita - Sericita.

PERFIL MHL-2 - Podzólico Vermelho-Amarelo

Este perfil tem como material de origem um granito, de composição ácida, com mineralogia essencial representada, segundo Goldich (1938), por minerais de grau de intemperização lento, tais como quartzo, feldspato potássico e mica branca/sericita; minerais de grau de intemperização moderado (plagioclásio sódico-cálcico) e, no caso analisado, menos de 10% de minerais de meteorização rápida (anfibólio, biotita, epidoto, carbonato, clorita). É uma rocha de baixo teor em ferro, presente na composição do anfibólio, biotita e clorita, além de minerais opacos (óxidos de ferro) que constituem traços na rocha em questão.

Esta composição mineralógica reflete-se na evolução do perfil de alteração, que é fraca a moderada no alterito, não apresentando evolução significativa em direção ao sólum. O alterito, assim como o horizonte B_t, apresenta cerca de 40% de esqueleto, com predomínio do quartzo e feldspato potássico, além da presença dos demais minerais silicatados *primários*, com exceção do anfibólio, que desaparece nos primeiros estágios de alteração. O plasma apresenta praticamente a mesma distribuição relativa tanto no alterito como no horizonte B_t (cerca de 57%), constituído por associação sericita/illita + caulinita + gibbsita (cerca de 30%) e óxidos/hidróxidos de ferro (hematita/goethita) variando de 02 a 13% do alterito ao sólum. Outros minerais *primários* microcristalinos, além da sericita, ainda mostram-se presentes no plasma do horizonte B_t, mostrando pouca evolução no processo de alteração. Esta evolução é governada pelo baixo grau de intemperização da maioria dos minerais

silicatados *primários* do material originário, originando um sólum de tendência arenosa, dada a tendência de concentração desses minerais no esqueleto, principalmente o quartzo e o feldspato potássico, além da mica branca. Apesar da grande proporção de esqueleto, a distribuição relativa permanece porfirica, com tendência a quitônica. Esta evolução mostra atuação de hidrólise seletiva em relação ao grau de intemperização dos minerais; no entanto, quando atuante atinge a alitização já no alterito, marcada pela presença de gibbsita. A liberação de ferro, assim como o processo de ferruginização, é compatível com a pequena quantidade deste elemento na composição mineralógica da rocha original.

Os processos de lixiviação e pseudomorfose são, então, moderados a fracos. A presença de *box works* é limitada, não colaborando no desenvolvimento de litoporos, e os vazios não ultrapassam 03% no horizonte B₁, que mostra grau de pedalidade fraco.

A análise das reações de substituição mineralógica ao longo do perfil, permitiu estabelecer a ordem de destruição intempérica dos minerais silicatados *primários* ao longo do perfil de alteração: Anfibólio - Carbonato - Plagioclásio - Titanita - Epidoto/Clorita/Biotita - Mica branca - Sericita - Feldspato potássico.

PERFIL MHL-3 - Brunizém Avermelhado

A rocha de origem do perfil MHL-3 é um piroxenito granulizado, rocha de composição básica constituída, segundo Goldich (1938), por minerais essenciais de rápida meteorização, apresentando Fe e Mg na sua composição mineralógica (clinopiroxênio, hornblenda-edenita e tremolita-actinolita), além do

plagioclásio, que contém Ca e Na na sua composição. O Fe e Ti também estão presentes em óxidos de ferro e titânio.

Esta composição mineralógica é responsável pela rápida evolução da alteração dos minerais *primários* do alterito até o sólum. O alterito é constituído por 40% até 60% de esqueleto, representado pela maioria dos minerais primários, com exceção do clinopiroxênio e eventualmente anfibólio, que já sofreram pseudomorfose neste estágio de intemperização. O plasma (35% a 55%) é representado pela associação sericita + talco + esmectita + caulinita (20% a 25%) e óxidos/hidróxidos de ferro (hematita/goethita) (10% a 30%), além de tremolita-actinolita/uralita (até 05%). No sólum, o esqueleto contribui somente com 12%, sendo 05% de pseudomorfos de clinopiroxênio e anfibólio, e o plasma passa a constituir 70% da abundância relativa, não apresentando minerais *primários* susceptíveis à intemperização (35% da associação talco + esmectita + caulinita e 35% de óxidos/hidróxidos de ferro (hematita/goethita)). Os vazios sofrem acréscimo de 05% no alterito para 18% no horizonte B₁. Em função desta evolução nos processos de alteração a estrutura plásmica passa de crística a omniépica do alterito ao sólum e a distribuição relativa passa de quitônica/porfírica fechada a porfírica aberta. Os processos de substituição mineralógica, destacando-se a pseudomorfose, mostram atuação de hidrólise dos minerais silicatados *primários*, com bissialitização e monossialitização, porém não atingindo a alitização. A hidrólise é rápida, com destruição de todos os minerais silicatados *primários*, porém de intensidade moderada, em função do excessivo suprimento de soluções ricas em Si^{+4} , Al^{+3} , Mg^{+2} e Fe^{+2} . A liberação do ferro através de hidrólise e oxidação favorece o processo de ferruginização crescente ao longo do perfil, favorecida pela composição mineralógica da rocha original, enriquecida neste elemento.

Portanto, os processos de lixiviação e pseudomorfose são acentuados. A presença de *box works* proporciona ao solum o acréscimo de vazios, favorecendo o desenvolvimento da pedalidade, atingindo grau moderado. Processo de iluviação pode ser verificado através de ocorrência de ferriargilans e ferrans, favorecidos pela composição plásmica.

A análise das reações de substituição mineralógica ao longo do perfil, permitiu estabelecer a ordem de destruição intempérica dos minerais silicatados *primários* ao longo do perfil de alteração: Clinopiroxênio - Hornblenda/edenita - Tremolita-actinolita/Uralita - Sericita - Plagioclásio.

7 - CONCLUSÕES

A análise microscópica com auxílio da identificação mineralógica, através de análise de Difração de Raios-X ao longo dos três perfis analisados, ou seja MHL-1 - Podzólico Vermelho-Escuro, MHL-2 - Podzólico Vermelho-Amarelo e MHL-3 - Brunizém Avermelhado, permitiu avaliar:

- ① As feições texturais e composição mineralógica essencial, secundária e acessória das fácies rocha fresca dos perfis estudados;
- ② a natureza das reações de substituição mineralógica no decorrer da alteração ao longo dos perfis;

③ os processos de alteração atuantes desde a rocha fresca até o sólum, tais como ferruginização e hidrólise de minerais silicatados *primários*, com evidências de lixiviação (*box works*), pseudomorfose e iluviação (*cutans*);

④ as formas, tipos e origem de vazios, que juntamente com a microagregação do plasma definem o grau de pedalidade crescente ao longo dos perfis;

⑤ a natureza e proporção dos constituintes do esqueleto e do plasma e sua variação na abundância relativa ao longo da evolução dos perfis;

⑥ as relações entre material de origem (composição mineralógica e química) e evolução da alteração dos perfis estudados;

⑦ a ordem de destruição intempérica dos minerais silicatados *primários* ao longo dos perfis:

Perfil MHL-1: Anfibólio - Plagioclásio - Titanita - Clorita/Epidoto/Biotita - Sericita

Perfil MHL-2: Anfibólio - Carbonato - Plagioclásio - Titanita - Epidoto/Clorita/Biotita - Mica branca - Sericita

Perfil MHL-3: Clinopiroxênio - Hornblenda/edenita - Tremolita-actinolita/Uralita - Sericita - Plagioclásio.

8 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARNHISEL, R. I. Chlorites and hydroxy interlayered vermiculite and smectite. In: DIXON, J. B.; WEED, S. B. ed. **Minerals in Soil Environments**. Madison: Soil Science Society of America, 1977. p-331-356.
- BARSHAD, I. Chemistry of soil development. In: BEAR, F. F. ed. **Chemistry of the soil**. New York: Reinhold Publ. Corp., 1964.
- BREWER, R. **Fabric and Mineral Analysis of Soils**. New York: John Wiley, 1964. 470p.
- BREWER, R. **Fabric and Mineral Analysis of Soils**. New York: Robert E. Krieger, 1976. 482p.
- BROWN, G. **The X-ray identification and crystal structure of clays minerals**. London: London Mineralogical Society, 1961. 544p.
- CADY, J. G.; WILDING, L. P.; DREES, L. R. Petrography Microscope Techniques. In: KLUTTE, A. ed. **Methods of Soil Analysis - Part 1 Physical and Mineralogical Methods**. 2.ed. Madison: SSSA, 1986. p. 185-218.
- CASTRO, S. S. **Sistemas de transformação pedológica em Marília, SP: B latossólicos e B texturais**. São Paulo: USP, 1989. 274 p. (Tese de doutorado)
- DREES, L. R. & RANSOM, M. D. Light Microscopic Techniques in Quantitative Soil Mineralogy. In: LUXMOORE, R. J. ed. **Quantitative Methods in Soil Mineralogy**. Madison: SSSA, 1994. p. 137-176.
- FANNINGS, D. S.; KERAMIDAS, V. Z. Micas. In: DIXON, J. B.; WEED, S. B. eds. **Minerals in soil environments**. Madison: SSSA, 1977. p. 195-258.
- FITZPATRICK, E. A. **The micromorphology of soils**. Escócia: Univ. of Aberdeen, 1980.

- FITZPATRICK, E. A. **Soil Microscopy and Micromorphology**. New York: John Willey & Sons, 1993. 304 p.
- GOLDICH, S. A. A study in rock-weathering. *Journ. Geol.*, v. 46, p. 17-23, 1938. In: BESOAIN, E. **Mineralogía de Arcillas de Suelos**. San José, Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperacion para la Agricultura, 1985. 1205p.
- GRIM, R. F. **Clay mineralogy**. 2.ed. New York: McGraw Hill, 1968. 596p.
- JACKSON, M. L. **Soil chemical analysis. Advanced course**. Madison: Wisconsin University, 1973. 895 p.
- JACKSON, M. L. Clay transformation in soil genesis during the Quaternary. *Soil Science*, v. 99, n. 1, p. 15-22, 1965.
- JOINT COMMITTEE ON POWDER DIFFRACTION STANDARDS. **Selected powder diffraction data for minerals**. Pennsylvania: JCPDS, 1974. 833 p.
- KÄMPF, N.; CURI, N. Argilominerais e óxidos em solos. In: LEPSCH, I. F.; KÄMPF, N.; ESPÍNDOLA, C. R.; MONIZ, A. C., eds. **Gênese, Morfologia, Classificação e Levantamento de Solos**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1991. (em fase de preparo para publicação)
- KERR, L. C. **Optical mineralogy**. 5.ed. New York: McGraw-Hill, 1977. 492p.
- KRAUSKOPF, K. B. **Introdução à Geoquímica**. São Paulo: Polígono, 2v, 1972.
- KUBIENA, W. L. **Micropedolgy**. Iowa: Collegiate Press, 1938. 243 p.
- KUBIENA, W. L. **Micromorphological features of soil geography**. New Brunswick, N.J.: Rutgers University Press, 1970.
- LOUGHNAN, F. C. **Chemical weathering of the silicate minerals**. New York: Elsevier, 1969. 154p.
- MEHRA, O. P.; JACKSON, M. L. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. *Clay and Clay Minerals*, New York, v.7, p. 317-327, 1960.

- MONIZ, A. C. **Elementos de Pedologia**. São Paulo: Polígono, 1972. 459 p.
- PETTJOHN, F. J. **Sedimentary Rocks**. New York:Harper Brothers, 1949. 526 p.
- QUÉMÉNEUR, J. J. G. **Os magmatismos de idade arqueana e transamazônica na região Campos das Vertentes, MG (Sul do Cráton do São Francisco), com base em geoquímica e geocronologia**. Belo Horizonte:CPMTC-IGC-UFMG, (inédito).79p.
- STOOPS, G.; JONGERIUS, A. Proposal for micromorphological classification of soil materials. I. A classification of the related distribution of coarse and fine particles. **Geoderma**, v. 13, p. 189-199, 1975.
- STRECKEISEN, A. To each plutonic rocks its proper name. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 12, p. 1-33. 1976.
- WILDING, L. P.; FLACH, K. Micropedology and Soil Taxonomy. In: DOUGLAS, L. A. & THOMPSON, M. L. ed. **Soil Micromorphology and soil classification**. Madison: SSSA, Especial Publicação nº 15, 1985.
- WHITTIG, L. D.; ALLARDICE, W. R. X-ray diffraction techniques. In: KLUTE, A. ed. **Methods of Soil Analysis. Part 1 - Physical and mineralogical methods**. 2 ed. USA:SSSA-Agronomy, n. 9, 1986.

CAPÍTULO 5 - GEOQUÍMICA DE PERFIS DE SOLOS B TEXTURAIIS NA REGIÃO DE LAVRAS, MG.

1 - RESUMO

A partir de estudos de correlação geo-pedológica na região de Lavras, MG, selecionaram-se perfis de solos B texturais para investigação do comportamento geoquímico ao longo dos processos de alteração e parâmetros químicos de evolução pedológica vinculados ao material de origem, discriminado geoquímica e petrologicamente. Os solos com horizonte B textural foram selecionados para tal estudo, dado seu grau de evolução que permite melhor avaliar características herdadas da rocha original, sendo escolhidas classes de solos B texturais, desenvolvidos em relevo ondulado a forte ondulado, a partir de materiais geológicos litoquimicamente distintos: Perfil MHL-1 - Podzólico Vermelho-Escuro, desenvolvendo-se a partir de rochas do Domínio geológico Diorito do Rosário; Perfil MHL-2 - Podzólico Vermelho-Amarelo originado por alteração de rochas do Domínio geológico Granito de Itutinga; e Perfil MHL-3 - Brunizém Avermelhado, evoluindo a partir de rochas do Domínio geológico *Greenstone-belt* de Lavras. Ao longo de cada perfil, realizaram-se análises geoquímicas de elementos maiores-óxidos constituintes, 14 elementos traços e elementos das terras raras (ETR), para determinação do comportamento destes elementos durante a alteração pedológica, avaliando-se perdas e ganhos através do balanço químico de massa. As interpretações dos dados geoquímicos nos três perfis estudados revelaram, para os elementos maiores, perda moderada de SiO₂, lixiviação de bases e enriquecimento relativo discreto do Al, Fe e Ti, além do estabelecimento da ordem de perda desses constituintes. Para os elementos traços analisados, apesar da grande mobilidade apresentada, o estudo possibilitou o grupamento destes de acordo com seu comportamento, caracterizando perdas, enriquecimentos relativos e ganhos ao longo da seqüência de alteração: classe I - elementos de mobilidade moderada-alta, caracterizando perda desde a rocha fresca até o sólum; e classe II - elementos de mobilidade moderada com enriquecimento relativo e eventualmente real no sólum, especialmente no horizonte B, devido à limitação da mobilidade pela co-precipitação com oxihidróxidos de Fe. O comportamento dos ETR revelou grande mobilidade desses elementos ao longo da evolução da alteração.

2- ABSTRACT

From studies of pedogenetic correlation carried out in the region of Lavras, Minas Gerais in Brazil, profiles of soils with argilic horizons were selected to evaluate the geochemical behavior during the process of soil formation and investigate chemical parameters related to the parent material, which was previously geochemically and petrologically differentiated. Within this region, these soils occur on sloping and hilly landscapes and they were selected for the study because they preserve characteristics inherited from the original bedrocks. Three profiles formed from geologic material with different chemical composition were selected: Profile MHL-1 - Dark-Red Podzolic formed from dioritic rocks (Diorito do Rosário); Profile MHL-2 - Red-Yellow Podzolic developed from granitic rocks (Granito de Itutinga); and Profile MHL-3 - Reddish Brunizem formed from basic rocks of the Greenstone-belt of Lavras. Throughout the layers of each profile, from the consolidated bedrock until the solum, geochemical analyses of major elements - main oxides, 14 trace elements and rare earth elements (REE) were performed to study the behavior of these elements during pedogenesis and evaluate gains and losses through the mass chemical balance. The results showed for the major elements a moderate loss of SiO_2 , leaching of bases and a slight relative enrichment of Al, Fe and Ti. The leaching order of these elements from the profiles were also established. For the trace elements analyzed, despite their great mobility, it was possible to group them into classes according to this mobility by characterizing losses, relative enrichment and gains throughout the weathering profiles: class I - moderate-high mobility elements, characterized for loss since consolidated rocks until the solum; and class II - moderate mobility elements with relative enrichment and occasionally real in the Bt horizon, because of the limitation of the mobility from co-precipitation with iron oxides. For the REE, the work showed a great mobility throughout the weathering evolution.

3 - INTRODUÇÃO

No estudo de correlação geo-pedológica na região de Lavras, MG, foram selecionados perfis de classes de solos B texturais mais significativas na região, para a realização de estudos da alteração e comportamento geoquímico ao longo da evolução dos processos pedogenéticos, partindo-se de materiais de origem geoquimicamente distintos.

Esses solos desenvolvem-se, na região, em relevo ondulado a forte ondulado, originando classes de solo B texturais distintas em função do tipo de material originário, discriminado petrológica e geoquimicamente.

Os solos selecionados para o estudo da alteração foram: Podzólico Vermelho-Amarelo desenvolvido no Domínio geológico intitulado de Granito de Itutinga (Quéméneur, inédito); Podzólico Vermelho-Escuro formado a partir de intemperização de rochas do Domínio geológico denominado Diorito do Rosário (Quéméneur, inédito); e Brunizém Avermelhado originado da alteração de rochas básicas do Domínio geológico *Greenstone-belt* de Lavras (Quéméneur, inédito).

Neste capítulo foi realizada a caracterização geoquímica de todos os horizontes que compõem os perfis de alteração, desde a rocha fresca até o sólum, através de análises químicas realizadas por metodologias combinadas de Espectrometria de Fluorescência de Raios-X (FRX) e Espectroscopia de Emissão Atômica com Plasma de Acoplamento Indutivo (ICP), com determinações analíticas de elementos maiores-óxidos constituintes, 14 elementos traços e elementos das terras. A partir dos dados químicos realizou-se a discriminação

petrológica do material de origem de cada um dos perfis e avaliou-se a variação da composição química dos mesmos ao longo da seqüência de alteração, desde a rocha fresca até o sólum. Através de cálculos volumétricos e balanço químico de massa foi possível a análise do comportamento da mobilidade e distribuição dos elementos químicos ao longo da evolução pedogenética, bem como a quantificação de perdas e ganhos.

4 - REFERENCIAL TEÓRICO

A geoquímica compreende o estudo da distribuição e migração dos elementos e das reações químicas que ocorrem durante os fenômenos geológicos. Neste contexto, dois grandes segmentos têm sido considerados; a Geoquímica dos Processos Endógenos e a Geoquímica dos Processos Exógenos. Esta última, também designada de Geoquímica de Superfície, e sua ramificação denominada de Pedogeoquímica, envolve processos geológicos que acontecem no ambiente exógeno, tratando-se do estudo do comportamento dos elementos químicos durante fenômenos naturais relacionados à Ecosfera, tendo-se como exemplo o intemperismo químico, os processos sedimentares, a mobilidade e a dinâmica dos elementos químicos nos vários ambientes superficiais (Carvalho, 1995).

O ambiente natural de superfície é definido como a parte do Globo Terrestre onde as condições físico-químicas reinantes permitem a ação do intemperismo e, na maioria das vezes, o desenvolvimento de atividades de organismos vivos. Dessa forma, ele se restringe à porção mais superior da Litosfera, toda a Hidrosfera, a porção mais inferior da Atmosfera e toda a

Biosfera. Trata-se de um sistema compreendido dentro do campo de estabilidade da água, definido em função de PO_2 e PH_2 (pressões parciais de oxigênio e hidrogênio) e de pH e Eh. No diagrama Eh x pH, os limites dos mais diversificados ambientes definem um paralelogramo compreendido entre as linhas de pH de 4 a 9 e as linhas que definem a estabilidade da água. Dentro deste conceito, são incluídos os mais variados ecossistemas conhecidos (Carvalho, 1995).

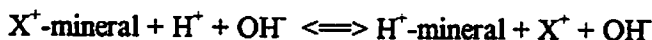
No ambiente superficial, as rochas primárias, formadas a temperaturas e pressões bem superiores, vão estar em permanente desequilíbrio, que se acentua quando essas rochas entram em contato com as águas meteóricas. Essas águas contêm quantidades variáveis de oxigênio e dióxido de carbono dissolvidos, que são suficientes para reagirem com a maioria dos minerais formadores de rochas, fazendo com que sejam formadas novas fases minerais estáveis a estas condições superficiais. As transformações pelas quais os minerais são submetidos quando na superfície da crosta denominam-se intemperismo, cujo processo químico é responsável pelas reações químicas entre os minerais e as soluções meteóricas ou componentes atmosféricos. Os principais tipos de reações que acarretam as alterações químicas no ambiente natural de superfície são: 1) hidratação-desidratação; 2) oxidação-redução; 3) dissolução-precipitação; 4) carbonatação-descarbonatação; 5) hidrólise; e 6) complexação (Carvalho, 1995).

As reações de hidrólise destacam-se entre as reações de intemperização química de minerais, na decomposição de minerais silicatados primários, tais como feldspatos, piroxênios, anfibólios, biotita e outros presentes na grande maioria das rochas da crosta terrestre. A hidrólise é consequência da dissociação

parcial da água em íons H^+ e OH^- , processando-se principalmente nos silicatos complexos de Ca, Mg, K, Na, Al e Fe (Krauskopf, 1972).

Os silicatos de alumínio envolvem a complicação de que o produto de sua climatização é quase sempre um argilo-mineral. Em função da intensidade, a hidrólise pode ser considerada em 3 níveis, designados de modelos de processos de formação de argilo-minerais: a) Dessilicatização limitada - BISSIALITIZAÇÃO: a quantidade de sílica no sistema permite a formação de argilo-minerais 2:1, nos quais parte dos cátions alcalinos ocupam entre-camadas; b) Dessilicatização moderada - MONOSSIALITIZAÇÃO: condições que propiciam a formação de argilo-minerais 1:1 (caulinita); e c) Dessilicatização completa - ALITIZAÇÃO: apenas o Al permanece no sistema, com a formação de gibbsita. A hidrólise promove, então, a liberação e lixiviação de cátions e dessilicatização (Krauskopf, 1972).

O íon H^+ desempenha um papel fundamental na meteorização de rochas e minerais primários, iniciando sua alteração nos minerais por substituição dos cátions estruturais superficiais. O íon H^+ tem forte influência sobre a solução do solo e pode determinar a precipitação de alguns íons liberados pela meteorização. O tamanho do íon H^+ e seu elevado potencial iônico (Z/r) é a causa da facilidade de penetração na estrutura cristalina e sua capacidade para substituir outros cátions (Besoain, 1985). Assim, a hidrólise é a fonte mais importante de H^+ nos processos de meteorização, esquematizada através da equação a seguir:



Assim, o pH das soluções de meteorização afeta a solubilidade dos minerais silicatados e o grau de mobilidade que estes podem ter. A acidez ou alcalinidade determina, também, se alguns produtos podem precipitar ou não. O pH das águas de percolação varia, geralmente, entre 4 e 9, e nesta amplitude de variação os hidróxidos alcalinos e alcalinos terrosos são solúveis, enquanto que o hidróxido $\text{Fe}(\text{OH})_3$ e os óxidos Al_2O_3 e TiO_2 permanecem insolúveis e não podem ser mobilizados (Loughnan, 1969). Os componentes cuja mobilidade está influenciada pelo pH do meio são aqueles dependentes do pH, como $\text{Fe}(\text{OH})_2$, CaCO_3 e $\text{Ti}(\text{OH})_4$.

No solo, o pH determina a precipitação de alguns elementos. Para o Al, a precipitação como $\text{Al}(\text{OH})_3$ se inicia a pH 5 e se completa a pH 6. Para o ferro férrico, a solubilidade somente ocorre em valores de pH muito ácidos, inferiores a 3, enquanto que para o ferro ferroso, como hidróxido, a precipitação não ocorre nem nas soluções neutras (Rankama e Sahama, 1954); em condições redutoras, as águas naturais podem transportar compostos ferrosos. A separação do ferro e alumínio no ciclo exógeno deve-se, então, à grande diferença de pH de precipitação do $\text{Fe}(\text{OH})_2$ e $\text{Al}(\text{OH})_3$ (Besoin, 1985).

A solubilidade da sílica depende da temperatura, tamanho das partículas, polimento da superfície dos grãos, etc. A influência do pH manifesta-se somente a partir de pH 8 a 9. A solubilidade diminui com aumento da ordem estrutural e a densidade de agrupamentos de tetraedros. Isto significa que a solubilidade aumentará em minerais silícicos na seguinte ordem: quartzo, cristobalita, tridmita, opala, sílica amorfa.

O pH afeta sensivelmente os produtos mineralógicos que se produzem durante a meteorização. Experimentos realizados por Stevens e Carron (1948) em uma série de minerais contendo cátions alcalinos e alcalino-terrosos demonstraram que, para a solubilidade, o valor do pH nos limites da superfície entre o mineral e água, tem frequentemente maior importância que aquele da solução de meteorização. Este pH dependente do mineral chama-se pH de abrasão. Por exemplo, o quartzo pulverizado em água, hidrolisa-se a um pH entre 6 e 7, levemente ácido, enquanto que os feldspatos hidrolisam-se a pH entre 8 e 9, os piroxênios a pH 8 a 11 e os anfibólios e feldspatóides a valor de pH entre 10 e 11. Keller (1957) considera de extrema importância estas variações nos valores de pH, pelo seu efeito nas solubilidades relativas de Al_2O_3 e SiO_2 , os quais são também produtos de reação de hidrólise.

A meteorização de minerais silicatados libera cátions constituintes da estrutura dos minerais; entretanto, nem todos os cátions são solubilizados com a mesma facilidade. Alguns tendem a ser prontamente lixiviados pelas águas de percolação, enquanto outros são resistentes e tornam-se progressivamente concentrados no *resíduo* (Loughnan, 1969).

No diagrama solubilidade versus pH, pode-se prever o comportamento da solubilidade de vários componentes dos solos em função do pH. De acordo com Mason (1952), como os valores de pH de águas naturais normalmente variam entre 4 e 9, é necessário considerar esta variação juntamente com a variação da mobilidade dos principais componentes envolvidos na meteorização de minerais silicatados. Neste diagrama, as curvas de Al_2O_3 , SiO_2 , TiO_2 e $CaCO_3$ foram determinadas por Correns (1949) e Krauskopf (1958), enquanto que as demais

foram calculadas através de seus produtos de solubilidade a 20-25°C (Loughnan, 1969).

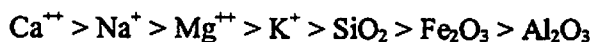
Esse diagrama mostra que dentro da variação *normal* do pH de águas naturais, Ca(OH)_2 , Mg(OH)_2 e os alcalinos são completamente solúveis, enquanto TiO_2 , Fe(OH)_3 e Al_2O_3 permanecem insolúveis e não podem ser mobilizados. A solubilidade da sílica, geralmente baixa, é praticamente constante e não afetada pelas variações de pH. Os outros componentes, cuja mobilidade é influenciada pelas variações do pH do meio, são denominados pH-dependentes, tais como Ti(OH)_4 , CaCO_3 e Fe(OH)_2 . Deve ser salientado que a curva para SiO_2 refere-se à sílica amorfa ou sílica liberada a partir de silicatos, e não ao quartzo, o qual, de acordo com Krauskopf (1958), tem a solubilidade de aproximadamente 1/10 da sílica amorfa (Loughnan, 1969).

Portanto, o SiO_2 precipita-se quando a concentração da solução aumenta, como ocorre por evaporação ou quando o grau de acidez das soluções aumenta (Correns, 1952). Esta é a razão pela qual em muitos solos encontram-se géis de sílica. A pH 8 a solubilidade do Al_2O_3 é muito reduzida. Keller (1957) estima que neste valor de pH, o Al_2O_3 hidratado precipitar-se-á, provavelmente como gibbsita ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) ou como diásporo ou boehmita ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$), enquanto que grande parte do SiO_2 permanece em solução e pode ser eliminado do meio.

Entretanto, deve-se levar em consideração que ocorrem ambientes excepcionais, nos quais a variação do pH das águas naturais pode sair do limite considerado *normal*, como, por exemplo, em ambientes cujas rochas sujeitas à alteração são ricas em minerais com altos valores de pH de abrasão, como olivina, augita e nefelina, e as águas podem tornar-se particularmente alcalinas,

suficiente para provocar a solubilização da alumina com aluminatos (AlO_4) e precipitação de Mg. Tais ambientes podem ser favoráveis à formação de minerais do grupo paligorskita-sepiolita (Loughnan, 1969). Ambientes com presença de matéria orgânica em solos bem drenados, tais como podzóis, podem atingir valores de pH abaixo de 4. Sob estas condições, alumina é considerada potencialmente móvel e pode migrar para horizontes mais profundos dos solos, menos ácidos (Loughnan, 1969).

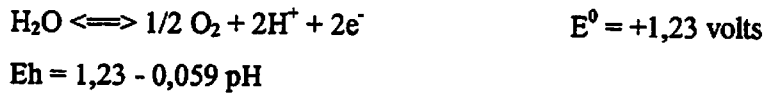
Várias tentativas têm sido feitas para determinar empiricamente a ordem de perda de constituintes. Polynov (1937) comparou a composição média de matéria mineral dissolvida em rios e concentrados em bacias em áreas de rochas maciças, com a composição média de rochas ígneas e obteve a seguinte ordem de perda de constituintes:



Esta seqüência está de acordo com a obtida por Goldich (1938) a partir de estudos de alteração de granito-gnaiss em Minnesota e por Tyler (1958), citado por Loughnan (1969), a partir de alteração de material basáltico no Sul da Austrália.

Certos elementos, em particular Fe e Ti, são capazes de ocorrer em mais de um estado de valência, em combinação com ânions. Se houver diferença da solubilidade entre estes estados de valência, o potencial redox (Eh) do meio afeta seriamente a mobilidade do elemento (Loughnan, 1969).

Para se fazerem previsões sobre os processos de mobilização-
 imobilização de elementos sujeitos à variação no potencial redox, necessita-se ter
 idéia aproximada dos valores de Eh, assim como do pH nas condições naturais. A
 variação de pH, discutida anteriormente, varia em águas naturais entre 4 e 9. O
 agente oxidante mais forte habitualmente encontrado na natureza é o oxigênio da
 atmosfera, assim o limite superior dos potenciais redox é definido pela reação
 (Krauskopf, 1972):



Os agentes redutores limitam-se a substâncias que não reagem com a
 água; neste caso, a reação resultaria numa liberação de hidrogênio. O potencial
 redox limite é o da reação do eletrodo de hidrogênio:



Através destes limites naturais de Eh e pH podem-se, então, construir
 diagramas de Eh versus pH, para diversos elementos sujeitos à variação de
 valência por oxi-redução, em que se pode analisar, em condições naturais, quais
 os compostos dos elementos que se solubilizam e/ou se precipitam (Krauskopf,
 1972).

Não se deve deixar de salientar a eficiência dos ácidos orgânicos na
 degradação mineral, que depende de uma série de fatores, entre eles, a
 concentração e reatividade química dos mesmos. Com base somente na

concentração, ácidos humificados, tais como ácido fúlvico (AF) e ácido húmico (AH), considerados os principais constituintes da matéria orgânica do solo, são mais importantes do que os ácidos orgânicos não-humificados. Estes últimos podem ser quimicamente tão efetivos quanto as substâncias húmicas, mas devido à sua menor ocorrência, seu efeito deve ser limitado em relação ao AF e AH (Baker, 1973; Singer e Navrot, 1976).

Com base em reatividade química os ácidos orgânicos podem ser divididos em dois grupos: (1) ácidos orgânicos cujas características ácidas são atribuídas somente pela presença de grupos $-COOH$; (2) ácidos orgânicos cujas características ácidas são atribuídas aos grupos $-COOH$ e OH -fenólicos. No primeiro grupo de ácidos seu efeito em decomposição mineral é geralmente função do efeito acidulante (íons H^+). O segundo grupo de ácidos orgânicos incluem AF e AH e alguns ácidos não-humificados complexos. Em função da presença de grupos $-COOH$ e OH -fenólicos em suas moléculas, além da ação acidulante, apresentam reações de interação, por: (a) atração eletrostática ou coulombiana; (b) formação de quelatos ou quelação; e (c) pontes de água (Tate e Theng, 1980)

Pela formação de organo-metal-quelatos, estes ácidos orgânicos conduzem à dissolução de minerais primários e secundários nos solos. A maior afinidade dos cátions metálicos pelo AHs e a maior estabilidade do quelato metal-HA formado, facilitará a dissolução do cátion a partir da estrutura do mineral (Tan, 1986).

Goldschmidt (1934) sugeriu que o comportamento dos diversos íons em reações de meteorização pode ser diretamente correlacionado ao potencial iônico

$\phi = Z/r$; uma propriedade fundamental do elemento, relacionada à eletronegatividade, onde Z = valência e r = raio iônico do elemento. Tal autor demonstrou que o potencial iônico pode explicar razoavelmente os fenômenos relacionados com a distribuição de elementos entre os sedimentos e águas naturais. Baseando-se no potencial iônico, Goldschmidt (1934, 1937) dividiu os elementos em três grupos:

- **Grupo I** - elementos (cátions) com potencial iônico pequeno (< 3), tais como Na, K, Ca, Mg e outros (Cs, Rb, Ba, Pb, Sr, La, Mn, Cu, Fe, Li) que tendem a permanecer em solução iônica, ainda que em valores de pH elevados, tendendo a ser lixiviados do meio.

- **Grupo II** - elementos com potencial iônico maior que os do grupo I (entre 3 e 12), que se hidrolisam e precipitam com facilidade na forma de hidróxidos, tal como ocorre com o Be, Al, Ti, Zr, Cr e outros (Th, Lu, Y, Sc, V, Ga, Hf, Sn, Mo, Nb, Si) e concentram-se no *resíduo*;

- **Grupo III** - inclui os elementos de potencial iônico maior que 12, que constituem ânions com o oxigênio e tendem a permanecer em solução iônica. É o caso dos elementos N, C, S, P e B que em águas naturais formam ânions complexos tais como NO_3^- , CO_3^{2-} , SO_4^{2-} e PO_4^{3-} (Rankama et al, 1954).

Assim sendo, o conceito de potencial iônico explica o comportamento dos elementos na meteorização, assinalando quais serão eliminados e quais serão concentrados no processo (Besoain, 1985).

Diante do exposto, considerando os diversos fatores químicos envolvidos na hidrólise e meteorização de minerais silicatados, ainda que pH, Eh e reações de queelação pelos ácidos orgânicos exerçam importante papel, a extensão da

alteração química e a natureza do produto residual formado serão função do grau de lixiviação sofrido pela rocha. Considerando o pH com variação *normal* entre 4 e 9, é possível descrever a perda e retenção de íons comuns, em relação a esses fatores. (tabela 5.1) (Loughnan, 1969).

Com relação aos elementos das terras raras, estes têm sido referidos na bibliografia como resistentes ao fracionamento diante dos processos intempéricos (Nance e Taylor, 1977; Hanson, 1980 e Henderson, 1984). Outros trabalhos, pelo contrário, têm mostrado que os elementos das terras raras podem ser submetidos a transporte e fracionamento significativos, especialmente ao longo do próprio perfil e perante intemperismo intenso (Nesbitt e Taylor, 1979; Duddy, 1980; Banfield e Eggleton, 1989; Formoso, Melfi e Kronberg, 1989 e Gasparetto e Menegotto, 1995).

Diante do exposto, é notória a mobilidade dos elementos químicos durante os processos intempéricos, especialmente o intemperismo químico. Para a determinação da distribuição e migração desses elementos químicos ao longo da meteorização química, recorre-se ao balanço químico de massa, que é definido pela relação ou diferença entre o ganho e perda de elementos químicos durante a alteração do material original até o material residual de intemperismo, devido à mobilidade dos elementos quando submetidos ao intemperismo químico. Os fatores que afetam a mobilidade dos elementos são agrupados em quatro categorias: 1) ordem atômica-iônica, tais como raio iônico, grau de oxidação e potencial iônico; 2) ordem cristalográfica, inerente ao grau de cristalinidade do mineral; 3) ordem litológica, referente à granulometria, porosidade, permeabilidade e composição química global da rocha; e 4) ordem ambiental, tais como temperatura, índice de pluviosidade, atividade orgânica, fisiografia local e

características físico-químicas (pH, Eh) das soluções meteóricas de percolação (Carvalho, 1995).

TABELA 5.1 - Mobilidade de cátions comuns em solos (Loughnan, 1969).

↑	1) Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ = rapidamente mobilizados e lixiviados sob condições normais
	2) K^+ = rapidamente mobilizado e lixiviado, sob condições normais, mas a taxa de lixiviação pode ser retardada pela fixação na estrutura de illitas.
	3) Fe^{2+} = taxas de lixiviação depende do potencial redox e grau de lixiviação
	4) Si^{4+} = lentamente lixiviado sob condições normais
	5) Ti^{4+} = pode mostrar mobilidade se liberado do mineral parental como $\text{Ti}(\text{OH})_4$; se for liberado na forma TiO_2 , imobiliza-se
	6) Fe^{3+} = imobiliza-se sob condições oxidantes
	7) Al^{3+} = imobiliza-se nas variações de pH de 4,5 a 9,5

↑ = Aumento da taxa de lixiviação do meio

A determinação da mobilidade dos elementos químicos durante as alterações exógenas permite a obtenção de índices indicativos do tipo de intemperismo atuante em uma determinada região, o estabelecimento da seqüência de mobilidade dos elementos em um determinado ambiente, inclusive a nível dos diversos horizontes do perfil de alteração, a determinação dos fatores condicionantes dessa mobilidade e o balanço de massa entre o material de origem

e o produto resultante destas alterações. Entre os principais métodos de determinação da mobilidade destacam-se os cálculos volumétricos de balanço de massa (Carvalho, 1995).

5 - MATERIAL E MÉTODOS

5.1 - MATERIAL

O material deste trabalho constituiu-se da amostragem realizada ao longo dos perfis de alteração, nas rochas e seus diferentes estágios de alteração e os solos sobre elas desenvolvidos, individualizados em seus horizontes. Os perfis de alteração, quando desenvolvidos em relevo ondulado a forte ondulado, foram criteriosamente selecionados a partir da correlação geo-pedológica realizada na região de Lavras, MG, partindo-se da discriminação geoquímica e petrológica dos domínios geológicos de origem.

Os solos com horizonte B textural foram escolhidos por preservarem características químicas e mineralógicas das rochas originais em função do seu grau de evolução.

Os perfis selecionados foram aqueles correspondentes às classes de solo com horizonte B textural mais significativas e representativas na região estudada, ou seja: Podzólico Vermelho-Escuro - Perfil MHL-1, desenvolvido sobre diorito milonitizado (rocha ígnea de composição intermediária, com 55 a 66% de SiO₂) do Domínio geológico Diorito do Rosário (Queméneur, inédito); Podzólico

Vermelho-Amarelo - Perfil MHL-2, formado a partir de rochas granitóides de composição granítica (rocha ígnea de composição ácida, teor de $\text{SiO}_2 > 66\%$) do Domínio geológico intitulado Granito de Itutinga (Queméneur, inédito); e Brunizém Avermelhado, tendo como material de origem um piroxenito granulitizado (rocha ígnea com teor de SiO_2 entre 55 a 45%) do Domínio geológico denominado *Greenstone-belt* de Lavras (Queméneur, inédito). A correlação regional de solos B texturais com rochas básicas e ultrabásicas (teor de $\text{SiO}_2 < 45\%$) é a Terra Roxa Estruturada; no entanto, durante as investigações de perfis desta classe de solo, foi constatada a ocorrência de Brunizém Avermelhado, selecionado para tal estudo.

A localização desses perfis dentro da área estudada encontra-se na figura 3.1 - Localização da área e perfis estudados. As coordenadas geográficas dos perfis são: perfil MHL-1 - Podzólico Vermelho-Escuro: $44^\circ 53' \text{W}$ e $21^\circ 16' 38'' \text{S}$; perfil MHL-2 - Podzólico Vermelho-Amarelo: $44^\circ 35' 28'' \text{W}$ e $21^\circ 17' 50'' \text{S}$; e perfil MHL-3 - Brunizém Avermelhado: $45^\circ 02' 56'' \text{W}$ e $21^\circ 11' \text{S}$.

5.2 - MÉTODOS

5.2.1 - CAMPO

Através de campanhas de campo, observando-se a correlação entre material de origem e classes de solo formado, obedecendo-se ao tipo de relevo estabelecido para a formação de solos com horizonte B textural na região, ou seja, relevo ondulado a forte ondulado, foi realizada a seleção dos perfis de

alteração e sua amostragem. A maior dificuldade encontrada nessa etapa foi a seleção de perfis completos, desenvolvidos a partir de rochas frescas, com horizonte C representativo das diversas fases de alteração, além de horizonte B, significativo.

Para as análises geoquímicas foi coletado cerca de 1,0 Kg de material ao longo dos horizontes de cada perfil. Procurou-se coletar amostras representativas desde a rocha fresca até o sólum, baseando-se em observações dos estágios de alteração, tais como características texturais preservadas das rochas originais, composição mineralógica original, coloração, friabilidade e características morfológicas do sólum.

Para a determinação da densidade aparente foram coletadas amostras indeformadas em todos os horizontes que compõem o perfil de alteração, além de amostras de rochas alteradas e rochas frescas.

5.2.2 - LABORATÓRIO

As amostras de solo para as análises geoquímicas foram secas ao ar e homogeneizadas granulometricamente através de graal de ágata, sendo individualizadas alíquotas de cerca de 30 g na granulometria < 150 #. As amostras de rocha fresca e rocha alterada foram britadas e pulverizadas em moinho de W no CPMT/IGC/UFMG, sendo, também, individualizadas alíquotas de cerca de 30 g. As amostras indeformadas para a determinação da densidade aparente foram secas ao ar.

Análises geoquímicas

As análises geoquímicas foram realizadas no CPMT/IGC/UFMG através de metodologias combinadas de Espectrometria de Fluorescência de Raios-X (FRX) e Espectroscopia de Emissão Atômica com Plasma de Acoplamento Indutivo (ICP).

Os elementos maiores analisados foram expressos em porcentagem ponderal dos óxidos constituintes: SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO, MgO, Na₂O, K₂O, TiO₂, MnO, P₂O₅; e perda ao fogo. Os elementos menores ou traços analisados foram expressos em ppm, sendo analisados os seguintes elementos: Ba, Ni, Cr, V, Co, Zn, Mo, Rb, Sr, Y, Cu, Zr, Nb e Pb. Analisaram-se, também, os elementos das terras raras: La, Ce, Nd, Sm, Gd, Dy, Ho, Er, Yb e Lu.

A partir dos dados químicos foi realizado balanço químico de massa, através do cálculo isovolumétrico proposto por Millot e Bonifas (1955) e Bonifas (1959) para calcular a mobilidade dos elementos químicos durante as alterações por intemperismo químico através da expressão:

$$t\% = 100 [(d_a \cdot x_a / d_o \cdot x_o) - 1]$$

Onde t% = taxa de mobilidade

d_a = densidade relativa para o produto de alteração

d_o = densidade relativa para o material original

x_a = teor do elemento no produto de alteração

x_o = teor de elemento no material original

Análises físicas

A determinação da densidade do solo ou densidade aparente foi determinada através do método do torrão parafinado (EMBRAPA, 1979).

6 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a caracterização química ao longo dos perfis de alteração estudados, ou seja: MHL-1 - Podzólico Vermelho-Escuro, MHL-2 - Podzólico Vermelho-Amarelo e MHL-3 - Brunizém Avermelhado, foram realizadas determinações analíticas incluindo análises quantitativas de elementos maiores, expressos em % ponderal dos óxidos constituintes, elementos traços e elementos das terras raras, estes dois últimos referidos em ppm.

A correspondência entre as amostras analisadas e horizontes pedogenéticos ao longo dos perfis de alteração estudados encontra-se nas tabelas 5.2, 5.3 e 5.4.

TABELA 5.2 - Correspondência entre amostras e horizontes do Perfil MHL-1

PERFIL MHL-1 - PODZÓLICO VERMELHO-ESCURO			
Amostras	Material/Horizonte	Profundidade (cm)	Densidade (g/cm³)
MHL-1A	Solo/Horizonte A	0-20	1,28
MHL-1B	Solo/Horizonte B ₁	20-80	1,47
MHL-1BC	Solo/Horizonte BC	80-130	0,97
MHL-1C ₁	Alterito/Horizonte C ₁	130-260	1,07
MHL-1C ₂	Alterito/Horizonte C ₂	260-430	1,06
MHL-1C ₃	Alterito/Horizonte C ₃	260-435	1,18
MHL-1R ₁	Rocha alterada		2,60
MHL-1R	Rocha fresca		2,82

TABELA 5.3 - Correspondência entre amostras e horizontes do Perfil MHL-2

PERFIL MHL-2 - PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO			
Amostras	Material/Horizonte	Profundidade (cm)	Densidade (g/cm³)
MHL-2A	Solo/Horizonte A	0-55	1,38
MHL-2B	Solo/Horizonte B _t	55-95	1,35
MHL-2BC	Solo/Horizonte BC	95-130	1,27
MHL-2C ₁	Alterito/Horizonte C ₁	130-210	1,31
MHL-2C ₂	Alterito/Horizonte C ₂	210-310	1,25
MHL-2R ₁	Rocha alterada		2,28
MHL-2R	Rocha fresca		2,59

TABELA 5.4 - Correspondência entre amostras e horizontes do Perfil MHL-3

PERFIL MHL-3 - BRUNIZÉM AVERMELHADO			
Amostras	Material/Horizonte	Profundidade (cm)	Densidade (g/cm³)
MHL-3A	Solo/Horizonte A	0-18	1,25
MHL-3B	Solo/Horizonte B _t	18-55	1,45
MHL-3BC	Solo/Horizonte BC	55-85	1,09
MHL-3C ₁	Alterito/Horizonte C ₁	85-120	1,09
MHL-3C ₂	Alterito/Horizonte C ₂	120-230	1,51
MHL-3C ₃	Alterito/Horizonte C ₃		2,16
MHL-3R	Rocha fresca		2,99

Os resultados obtidos pela análise química através de FRX e ICP para os perfis MHL-1, 2 e 3 encontram-se listados nas tabelas 5.5 - elementos maiores-óxidos constituintes (resultados normalizados para 100%); 5.6 - elementos menores ou traços; e 5.7 - elementos das terras raras.

6.1 - DISCRIMINAÇÃO PETROLÓGICA BASEADA NOS DADOS QUÍMICOS

Com a finalidade de corroborar a discriminação petrológica das rochas sobre as quais os perfis de alteração foram desenvolvidos, foi realizada a discriminação petrológica baseada nos dados químicos do fácies rocha fresca de cada perfil.

Nos perfis MHL-1 e MHL-2, as amostras MHL-1R e MHL-2R, correspondentes ao fácies rocha fresca dos respectivos perfis, foram plotadas no Diagrama Q - P de nomenclatura das rochas ígneas, segundo La Roche (1964), modificado por Debon e Le Fort (1983). Os parâmetros são expressos em átomo-grama x 10.000 (milicátion) em 100 g de rocha, em que $Q = Si/3 - (K + Na + 2Ca/3)$ e $P = K - (Na + Ca)$. A amostra MHL-1R posicionou-se no campo das rochas de composição diorítica, enquanto que a amostra MHL-2R localizou-se no campo das rochas de composição granítica, corroborando, assim, a discriminação petrológica do material de origem desses perfis de alteração, ou seja, Domínio geológico Diorito do Rosário para o perfil MHL-1 e Domínio geológico Granito de Itutinga para o perfil MHL-2 (figura 5.1).

TABELA 5.5 - Dados analíticos (FRX e ICP) dos perfis MHL-1, 2 e 3 - Elementos maiores/Óxidos constituintes (% ponderal)

Amostra	Horiz	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	PF	Total
PERFIL MHL-1													
MHL-1A	A	54,80	18,50	8,79	0,78	0,53	0,20	0,44	0,81	0,11	0,04	14,98	100,0
MHL-1B	Bt	52,74	21,60	10,75	0,26	0,27	0,10	0,52	0,83	0,06	0,01	12,86	100,0
MHL-1BC	BC	55,28	20,90	9,43	0,59	0,86	0,12	1,04	0,81	0,09	0,02	10,85	100,0
MHL-1C ₁	C ₁	56,71	20,31	8,76	0,68	1,48	0,12	1,03	0,72	0,11	0,03	10,05	100,0
MHL-1C ₂	C ₂	56,61	19,34	8,82	0,78	2,42	0,19	1,04	0,75	0,12	0,02	9,91	100,0
MHL-1C ₃	C ₃	63,08	18,34	6,43	0,38	1,54	0,15	1,08	0,55	0,07	0,03	8,34	100,0
MHL-1R ₁	R ₁	54,77	16,54	7,63	6,70	3,70	5,17	0,65	0,90	0,07	0,23	3,64	100,0
MHL-1R	R	55,64	17,10	7,54	6,68	3,80	5,22	1,20	0,94	0,08	0,23	1,58	100,0
PERFIL MHL-2													
MHL-2A	A	69,65	15,90	1,38	0,02	0,04	0,19	2,75	0,16	0,01	0,08	9,82	100,0
MHL-2B	B	66,71	19,51	1,69	0,02	0,08	0,24	2,75	0,19	0,01	0,06	8,73	100,0
MHL-2BC	B _t	69,04	18,33	1,62	0,02	0,08	0,20	2,73	0,18	0,01	0,06	7,72	100,0
MHL-2C ₁	C ₁	72,57	17,28	0,39	0,01	0,02	0,19	3,64	0,08	0,01	0,05	5,75	100,0
MHL-2C ₂	C ₂	67,60	18,06	1,55	0,02	0,08	0,23	3,38	0,18	0,01	0,04	8,84	100,0
MHL-2R ₁	R ₁	71,06	15,57	1,50	0,28	0,27	2,57	6,04	0,11	<0,01	0,03	2,57	100,0
MHL-2R	R	72,10	14,38	1,57	0,92	0,24	4,25	5,63	0,12	<0,01	0,03	0,76	100,0
PERFIL MHL-3													
MHL-3A	A	43,95	11,94	18,86	4,49	5,24	0,20	0,26	1,01	0,29	0,01	13,75	100,0
MHL-3B	Bt	38,27	18,84	22,54	0,72	0,86	0,03	0,21	1,12	0,16	0,01	17,23	100,0
MHL-3BC	BC	37,71	18,60	23,10	0,72	0,80	0,01	0,14	1,14	0,16	0,01	17,60	100,0
MHL-3C ₁	C ₁	42,21	15,64	20,56	2,64	2,84	0,01	0,18	1,08	0,19	0,01	14,64	100,0
MHL-3C ₂	C ₂	47,46	13,27	16,99	4,66	6,31	0,27	0,21	0,86	0,17	0,01	9,78	100,0
MHL-3C ₃	C ₃	52,61	11,51	14,84	6,56	8,20	1,03	0,31	0,73	0,17	0,01	4,03	100,0
MHL-3R	R	52,12	9,08	11,58	10,90	11,80	2,89	0,09	0,73	0,17	0,05	0,60	100,0

TABELA 5.6 - Dados analíticos (FRX e ICP) dos perfis MHL-1, 2 e 3 - Elementos traços (ppm)

Amostra	Horiz.	Ba	Ni	Cr	V	Co	Zn	Mo	Rb	Sr	Y	Cu	Zr	Nb	Pb
PERFIL MHL-1															
MHL-1A	A	643	36	54	134	30	48	6	25	40	15	34	150	8	19
MHL-1B	Bt	633	36	58	152	34	46	6	18	25	15	34	132	8	18
MHL-1BC	BC	680	32	53	129	32	53	7	31	32	17	33	136	9	19
MHL-1C ₁	C ₁	852	31	55	121	28	51	7	37	35	16	37	129	9	19
MHL-1C ₂	C ₂	646	36	49	114	28	52	6	38	41	15	27	124	9	18
MHL-1C ₃	C ₃	1160	32	53	95	24	51	7	43	35	16	23	107	9	20
MHL-1R ₁	R ₁	444	20	68	127	24	52	<5	7	550	36	45	127	21	<5
MHL-1R	R	574	14	68	132	24	44	<5	14	494	15	40	126	7	<5
PERFIL MHL-2															
MHL-2A	A	414	15	25	40	14	48	8	210	36	22	17	159	11	31
MHL-2B	B	389	16	25	40	14	49	8	215	37	23	18	153	12	31
MHL-2BC	B ₁	386	15	25	40	14	49	8	227	35	22	17	147	11	32
MHL-2C ₁	C ₁	486	16	24	32	12	47	8	253	41	24	20	117	12	34
MHL-2C ₂	C ₂	478	13	26	39	14	49	8	239	37	24	17	141	11	32
MHL-2R ₁	R ₁	850	11	101	12	<5	48	<5	309	38	56	5	144	30	50
MHL-2R	R	710	<5	180	12	<5	75	<5	250	116	57	<5	133	30	43
PERFIL MHL-3															
MHL-3A	A	250	160	438	225	55	46	<5	<10	17	9	45	55	5	14
MHL-3B	Bt	272	159	302	232	57	45	5	<10	17	10	51	57	6	13
MHL-3BC	BC	269	138	229	228	57	44	<5	<10	16	9	32	48	5	13
MHL-3C ₁	C ₁	246	131	224	223	50	45	5	<10	22	11	29	54	6	14
MHL-3C ₂	C ₂	174	121	204	170	42	46	<5	<10	22	10	8	51	6	14
MHL-3C ₃	C ₃	122	107	78	135	36	46	<5	<10	31	11	11	53	6	14
MHL-3R	R	17	234	1182	266	42	76	<5	8	107	28	55	35	7	5

TABELA 5.7 - Dados analíticos (ICP) dos perfis MHL-1, 2 e 3 - Elementos das Terras Raras (ppm)

Amostra	Horiz	La	Ce	Nd	Sm	Gd	Dy	Ho	Er	Yb	Lu
PERFIL MHL-1											
MHL-1A	A	30,40	72,00	47,40	11,40	6,10	5,10	0,80	3,70	2,00	0,70
MHL-1B	Bt	44,40	85,80	72,00	17,20	8,00	7,40	1,30	5,40	3,30	0,80
MHL-1BC	BC	76,00	140,30	119,60	27,00	13,80	13,10	3,80	9,20	6,60	1,30
MHL-1C ₁	C ₁	34,80	79,00	52,50	10,20	6,40	5,50	1,80	4,40	2,40	0,80
MHL-1C ₂	C ₂	37,30	89,30	53,80	10,30	6,50	5,40	0,90	3,80	2,20	0,70
MHL-1C ₃	C ₃	26,90	53,40	42,20	6,70	5,40	4,30	0,30	3,90	1,50	0,50
MHL-1R ₁	R ₁	24,10	55,20	43,90	8,30	7,70	5,20	0,60	4,00	1,80	0,70
MHL-1R	R	23,60	53,00	45,20	7,30	8,30	5,90	1,20	4,50	2,50	0,70
PERFIL MHL-2											
MHL-2A	A	37,20	76,00	46,30	7,50	5,10	4,60	1,10	3,40	1,60	0,50
MHL-2B	B	43,90	91,40	51,90	6,00	5,70	4,60	0,30	3,30	1,60	0,40
MHL-2BC	B ₁	47,40	77,40	58,30	10,30	5,80	4,50	0,70	3,50	1,40	0,40
MHL-2C ₁	C ₁	41,40	51,10	45,70	7,60	5,00	3,90	1,00	3,60	1,30	0,50
MHL-2C ₂	C ₂	90,90	73,80	108,90	21,30	8,50	6,90	1,70	4,80	2,60	0,60
MHL-2R ₁	R ₁	15,70	41,20	28,10	3,90	4,80	3,50	0,40	3,50	1,00	0,50
MHL-2R	R	33,60	76,70	47,60	10,00	7,30	6,00	2,00	5,00	1,60	0,70
PERFIL MHL-3											
MHL-3A	A	12,70	32,10	28,10	3,50	6,10	4,60	1,20	4,10	1,80	0,80
MHL-3B	Bt	10,30	31,80	27,00	5,40	5,20	4,50	0,30	3,90	1,80	0,90
MHL-3BC	BC	9,20	29,10	30,40	5,40	5,80	5,00	1,50	4,40	2,10	0,90
MHL-3C ₁	C ₁	10,30	25,10	36,20	8,30	7,80	7,30	1,40	5,70	3,40	1,10
MHL-3C ₂	C ₂	7,30	10,90	17,60	5,30	4,20	4,40	1,20	2,70	2,30	0,50
MHL-3C ₃	C ₃	8,10	12,20	18,20	5,20	4,40	5,20	1,40	3,20	3,10	0,50
MHL-3R	R	7,60	13,80	11,20	2,90	2,80	2,30	0,70	1,60	1,20	0,30

Para o perfil MHL-3, sua amostra correspondente ao fácies rocha fresca (MHL-3R) foi plotada no diagrama ternário $Al_2O_3 - Fe_2O_3 - MgO$, segundo Jensen (1976) e no diagrama ternário $CaO - MgO - Al_2O_3$, localizando-se, no primeiro, no campo dos basaltos komatiíticos e no segundo, no campo dos piroxenitos komatiíticos, corroborando, também, a discriminação petrológica das rochas originais pertencentes ao *Greenstone-belt* de Lavras (figura 5.2).

6.2 - CÁLCULOS VOLUMÉTRICOS - BALANÇO QUÍMICO DE MASSA

Conforme se pode observar através dos dados analíticos apresentados nas tabelas 5.5, 5.6 e 5.7, as composições químicas dos perfis de alteração apresentam magnitudes compatíveis aos seus materiais de origem, geoquimicamente distintos, ou seja: rocha de composição diorítica no perfil MHL-1; rocha de composição granítica no perfil MHL-2 e rocha de composição básica no perfil MHL-3. Observam-se, também, variações significativas entre as composições químicas das rochas frescas e seus vários estágios de alteração até o sólum, tanto na distribuição dos elementos maiores quanto dos elementos traços e elementos das terras raras.

Visto que as análises químicas convencionais, no caso dos elementos maiores-óxidos constituintes, consideram 100% em peso, a comparação entre duas amostras pode levar a estimativas ambíguas, pois as análises comparadas não são padronizadas para unidades de massa equivalente, isto é, as diferenças de

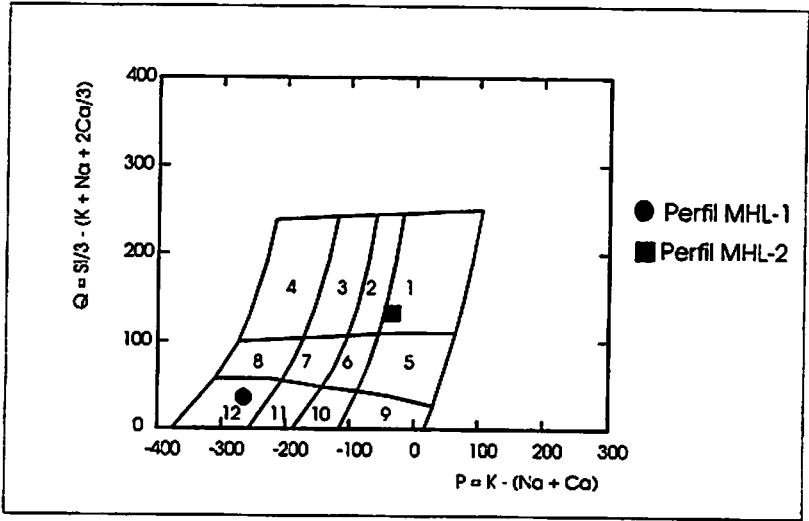


FIGURA 5.1 - Diagrama Q-P dos perfis MHL-1 e 2 (rocha fresca de origem), segundo La Roche (1964), modificado por Debon e Le Fort (1983). Em que: 1 = granito, 2 = adamello, 3 = granodiorito, 4 = tonalito, 5 = quartzo-sienito, 6 = quartzo-monzonito, 7 = quartzo-monzodiorito, 8 = quartzo-diorito, 9 = sienito, 10 = monzodiorito, 11 = monzogabro, 12 = diorito

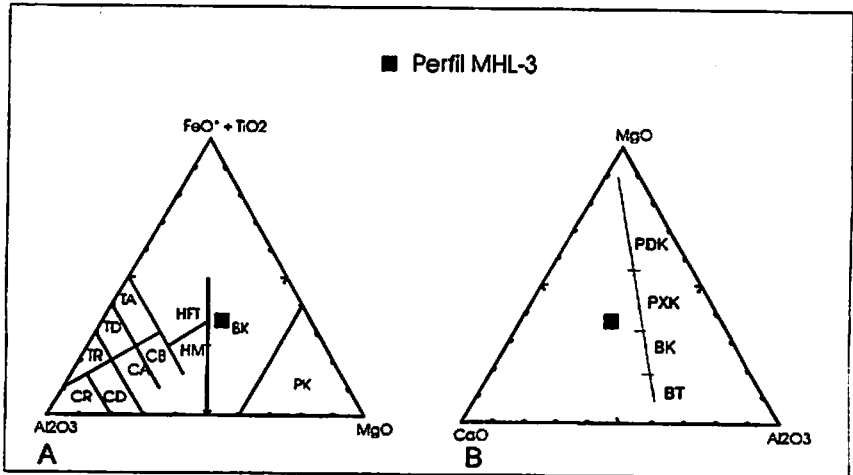


FIGURA 5.2 - Diagramas de discriminação petrológica para o perfil MHL-3 (rocha fresca de origem).

A = Diagrama segundo Jensen (1976), em que BK = basalto komatiítico.
 B = Diagrama CaO-MgO-Al₂O₃, onde PDK = peridotito komatiítico, PXX = piroxenito komatiítico, BK = basalto komatiítico e BT = basalto toleítico

distribuição composicional dos componentes químicos impostos pela alteração intempérica não são levadas em consideração. É pouco provável que a alteração intempérica de 100 g de uma rocha irá produzir 100 g de produto alterado, pois os componentes de diferentes pesos moleculares podem ser trocados da rocha fonte para o produto. Variações na densidade e sua relação com as mudanças de volume irão, deste modo, constituir parâmetros fundamentais na obtenção da padronização da rocha fonte e seus produtos, em uma unidade de massa equivalente.

Desta forma, os valores da densidade da amostra foram incorporados no cálculo de perdas e ganhos dos elementos da rocha original para os produtos alterados, de tal forma que se possa fixar a variação de volume. Os cálculos volumétricos de balanço químico de massa permitem a determinação das perdas e ganhos em termos absolutos dos elementos constituintes do material, quando este é submetido à ação do intemperismo químico. O cálculo isovolumétrico (Millot e Bonifas, 1955; Bonifas, 1959) é utilizado quando se têm evidências de que a variação de volume é nula ou desprezível, através da conservação da estrutura do material durante a alteração, sendo possível calcular a quantidade, em peso, de cada elemento por unidade de volume, e compará-la com a quantidade no mesmo volume de rocha fresca.

As observações microscópicas da seqüência de amostras que compõem os perfis de alteração, permitiram observar razoável conservação de estrutura litológica nos estágios iniciais de alteração, ou seja, no alterito (horizontes pedológicos C). Na evolução da alteração, representada pelos horizontes de transição (horizonte BC) e sólum (horizonte B, e A), foi possível observar feições indicativas de possível preservação de volume, tais como *box works* e aumento

gradativo na proporção de vazios em relação ao plasma + esqueleto no fundo matricial (vide capítulo 4).

6.2.1 - TEORES ABSOLUTOS - PERDAS E GANHOS AO LONGO DOS PERFIS DE ALTERAÇÃO

Foram, então, calculadas as quantidades absolutas de cada componente químico de toda a seqüência de alteração nos perfis MHL-1, 2 e 3, utilizando-se os teores dos elementos obtidos através da análise química e da medida da densidade das respectivas amostras, para os elementos maiores-óxidos constituintes, elementos traços e elementos das terras raras (tabelas 5.8, 5.9 e 5.10, respectivamente). Visto que a densidade da amostra é um parâmetro que reflete o grau de alteração de maneira sensível, foram elaborados diagramas de teor absoluto dos elementos maiores-óxidos constituintes, elementos traços e elementos das terras raras ($\text{g}/100\text{cm}^3$ para os elementos maiores e $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ para elementos traços e elementos das terras raras) versus densidade aparente para os perfis MHL-1, 2 e 3 (figuras 5.3 a 5.11).

Para a avaliação quantitativa das perdas e ganhos dos elementos químicos durante os processos pedogenéticos ao longo dos perfis de alteração estudados, partindo-se da rocha fresca de origem, procedeu-se aos cálculos de balanço químico de massa. Para efeito de cálculo, para os teores de elementos traços obtidos abaixo do limite de detecção, ou seja < 5 ppm e < 10 ppm, estabeleceram-se valores arbitrários de 3 e 5 ppm, respectivamente.

TABELA 5.8 - Teores absolutos (g/100cm³) dos elementos maiores-óxidos constituintes - Perfis MHL-1, 2 e 3

Amostra	D	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅
PERFIL MHL-1											
MHL-1A	1,28	70,15	23,68	11,25	1,00	0,68	0,26	0,57	1,04	0,14	0,05
MHL-1B	1,47	77,52	31,75	15,80	0,38	0,40	0,15	0,77	1,23	0,09	0,01
MHL-1BC	0,97	53,62	20,28	9,14	0,58	0,84	0,12	1,00	0,79	0,09	0,02
MHL-1C ₁	1,07	60,68	21,73	9,37	0,73	1,58	0,13	1,10	0,77	0,12	0,03
MHL-1C ₂	1,06	60,01	20,50	9,35	0,82	2,56	0,20	1,10	0,79	0,13	0,02
MHL-1C ₃	1,18	74,43	21,64	7,59	0,45	1,82	0,18	1,27	0,65	0,08	0,04
MHL-1R ₁	2,60	142,40	43,01	19,83	17,42	9,63	13,44	1,68	2,33	0,18	0,60
MHL-1R	2,82	156,89	48,22	21,27	18,85	10,72	14,71	3,38	2,64	0,23	0,65
PERFIL MHL-2											
MHL-2A	1,38	96,11	21,94	1,90	0,03	0,06	0,26	3,79	0,22	0,01	0,11
MHL-2B	1,35	90,06	26,34	2,28	0,03	0,11	0,33	3,71	0,26	0,01	0,08
MHL-2BC	1,27	87,68	23,28	2,06	0,03	0,10	0,26	3,47	0,23	0,01	0,08
MHL-2C ₁	1,31	95,07	22,64	0,52	0,01	0,03	0,25	4,77	0,11	0,01	0,07
MHL-2C ₂	1,25	84,50	22,58	1,94	0,03	0,10	0,29	4,23	0,23	0,01	0,05
MHL-2R ₁	2,28	162,01	35,50	3,43	0,64	0,62	5,86	13,77	0,25	-	0,07
MHL-2R	2,59	186,73	37,25	4,07	2,39	0,62	11,00	14,58	0,31	-	0,08
PERFIL MHL-3											
MHL-3A	1,25	54,94	14,93	23,58	5,61	6,55	0,25	0,33	1,27	0,36	0,01
MHL-3B	1,45	55,50	27,31	32,69	1,05	1,25	0,04	0,31	1,63	0,23	0,01
MHL-3BC	1,09	41,10	20,28	25,18	0,78	0,87	0,01	0,15	1,24	0,17	0,01
MHL-3C ₁	1,09	46,01	17,05	22,41	2,87	3,09	0,01	0,20	1,18	0,21	0,01
MHL-3C ₂	1,51	71,66	20,04	25,66	7,03	9,53	0,41	0,32	1,31	0,26	0,02
MHL-3C ₃	2,16	113,63	24,86	32,06	14,18	17,71	2,22	0,68	1,57	0,37	0,02
MHL-3R	2,99	155,83	27,14	34,61	32,59	35,27	8,65	0,27	2,17	0,51	0,15

D = densidade aparente (g/cm³)

TABELA 5.9 - Teores absolutos ($\mu\text{g}/\text{cm}^3$) dos elementos traços - Perfis MHL-1, 2 e 3

Amostra	D	Ba	Rb	Sr	Zr	Ni	Cr	Co	Cu	Zn	V	Mo	Y	Nb	Pb
PERFIL MHL-1															
MHL-1A	1,28	823,04	32,00	51,20	192,00	46,08	69,12	38,40	43,52	61,44	171,52	7,68	19,20	10,24	24,32
MHL-1B	1,47	930,51	26,46	36,75	194,04	52,92	85,26	49,98	49,98	67,62	223,44	8,82	22,05	11,76	26,46
MHL-1BC	0,97	659,60	30,07	31,04	131,92	31,04	51,41	31,04	32,01	51,41	125,13	6,79	16,49	8,73	18,43
MHL-1C ₁	1,07	911,64	39,59	37,45	138,03	33,17	58,85	29,96	39,59	54,57	129,47	7,49	17,12	9,63	20,33
MHL-1C ₂	1,06	684,76	40,28	43,46	131,44	38,16	51,94	29,68	28,62	55,12	120,84	6,36	15,90	9,54	19,08
MHL-1C ₃	1,18	1368,8	50,74	41,30	126,26	37,76	62,54	28,32	27,14	60,18	112,10	8,26	18,88	10,62	23,60
MHL-1R ₁	2,6	1154,4	18,20	1430,00	330,20	52,00	176,80	62,40	117,00	135,20	330,20	7,80	93,60	54,60	7,80
MHL-1R	2,82	1618,68	39,48	1393,08	355,32	39,48	191,76	67,58	112,80	124,08	372,24	8,46	42,30	19,74	8,46
PERFIL MHL-2															
MHL-2A	1,38	571,32	289,80	49,68	219,42	20,70	34,50	19,32	23,46	66,24	55,20	11,04	30,36	15,18	42,78
MHL-2B	1,35	525,15	290,25	49,95	206,55	21,60	33,75	18,90	24,30	66,15	54,00	10,80	31,05	16,20	41,85
MHL-2BC	1,27	490,22	288,29	44,45	186,69	19,05	31,75	17,78	21,59	62,23	50,80	10,16	27,94	13,97	40,64
MHL-2C ₁	1,31	636,66	331,43	53,71	153,27	20,96	31,44	15,72	26,20	61,57	41,92	10,48	31,44	15,72	44,54
MHL-2C ₂	1,25	597,50	298,75	46,25	176,25	16,25	32,50	17,50	21,25	61,25	48,75	10,00	30,00	13,75	40,00
MHL-2R ₁	2,28	1938,00	704,52	86,64	328,32	25,08	230,28	6,84	11,40	109,44	27,36	6,84	6,84	68,40	114,00
MHL-2R	2,59	1838,90	647,50	300,44	344,47	7,77	466,20	7,77	7,77	194,25	31,08	7,77	147,63	77,70	111,37
PERFIL MHL-3															
MHL-3A	1,25	312,50	6,25	21,25	68,75	200,00	547,50	68,75	56,25	57,50	281,25	3,75	11,25	6,25	17,50
MHL-3B	1,45	394,40	7,25	24,65	82,65	230,55	437,90	82,65	73,95	65,25	336,40	7,25	14,50	8,70	18,85
MHL-3BC	1,09	293,21	5,45	17,44	52,32	150,42	249,61	62,13	34,88	47,96	248,52	3,27	9,81	5,45	14,17
MHL-3C ₁	1,09	268,14	5,45	23,98	58,86	142,79	244,16	54,50	31,61	49,05	243,07	5,45	11,99	6,54	15,26
MHL-3C ₂	1,51	262,74	7,55	33,22	77,01	182,71	308,04	63,42	12,08	69,46	256,70	4,53	15,1	9,06	21,14
MHL-3C ₃	2,16	263,52	10,80	66,96	114,48	231,12	168,48	77,76	23,76	99,36	291,60	6,48	23,76	12,96	30,24
MHL-3R	2,99	50,83	23,92	319,93	104,65	699,66	3534,18	125,58	164,58	227,24	795,34	8,97	83,72	8,97	14,95

D = densidade aparente (g/cm^3)

TABELA 5.10 - Teores absolutos ($\mu\text{g}/\text{cm}^3$) dos elementos das terras raras - Perfis MHL-1, 2 e 3

Amostra	D	La	Ce	Nd	Sm	Gd	Dy	Ho	Er	Yb	Lu
PERFIL MHL-1											
MHL-1A	1,28	38,91	92,16	60,67	14,59	7,81	6,53	1,02	4,74	2,56	0,90
MHL-1B	1,47	65,27	126,13	105,84	25,28	11,76	10,88	1,91	7,94	4,85	1,18
MHL-1BC	0,97	73,72	136,09	116,01	26,19	13,39	12,71	3,69	8,92	6,40	1,26
MHL-1C ₁	1,07	37,24	84,53	56,18	10,91	6,85	5,89	1,93	4,71	2,57	0,86
MHL-1C ₂	1,06	39,54	94,66	57,03	10,92	6,89	5,72	0,95	4,03	2,33	0,74
MHL-1C ₃	1,18	31,74	63,01	49,80	7,91	6,37	5,07	0,35	4,60	1,77	0,59
MHL-1R ₁	2,60	62,66	143,52	114,14	21,58	20,02	13,52	1,56	10,40	4,68	1,82
MHL-1R	2,82	66,55	149,46	127,46	20,59	23,41	16,64	3,38	12,69	7,05	1,97
PERFIL MHL-2											
MHL-2A	1,38	51,34	104,88	63,89	10,35	7,04	6,35	1,52	4,69	2,21	0,69
MHL-2B	1,35	59,27	123,39	70,07	8,10	7,70	6,21	0,41	4,46	2,16	0,54
MHL-2BC	1,27	60,20	98,30	74,04	13,08	7,37	5,72	0,89	4,45	1,78	0,51
MHL-2C ₁	1,31	54,23	66,94	59,87	9,96	6,55	5,11	1,31	4,72	1,70	0,66
MHL-2C ₂	1,25	113,63	92,25	136,13	26,63	10,63	8,63	2,13	6,00	3,25	0,75
MHL-2R ₁	2,28	35,80	93,94	64,07	8,89	10,94	7,98	0,91	7,98	2,28	1,14
MHL-2R	2,59	87,02	198,65	123,28	25,90	18,91	15,54	5,18	12,95	4,14	1,81
PERFIL MHL-3											
MHL-3A	1,25	15,88	40,13	35,13	4,38	7,63	5,75	1,50	5,13	2,25	1,00
MHL-3B	1,45	14,94	46,11	39,15	7,83	7,54	6,53	0,44	5,66	2,61	1,31
MHL-3BC	1,09	10,03	31,72	33,14	5,89	6,32	5,45	1,64	4,80	2,29	0,98
MHL-3C ₁	1,09	11,23	27,36	39,46	9,05	8,50	7,96	1,53	6,21	3,71	1,20
MHL-3C ₂	1,51	11,02	16,46	26,58	8,00	6,34	6,64	1,81	4,08	3,47	0,76
MHL-3C ₃	2,16	17,50	26,35	39,31	11,23	9,50	11,23	3,02	6,91	6,70	1,08
MHL-3R	2,99	22,72	41,26	33,49	8,67	8,37	6,88	2,09	4,78	3,59	0,90

D = densidade aparente (g/cm_3)

Os cálculos isovolumétricos de balanço químico de massa (Millot e Bonifas, 1955; Bonifas, 1959) permitem a determinação de perdas e ganhos em termos absolutos dos elementos constituintes do material, quando este é submetido à ação do intemperismo químico, através da expressão $t\% = 100 \cdot [(d_o \cdot x_o / d_a \cdot x_a) - 1]$, em que $t\%$ refere-se à taxa de mobilidade do elemento químico durante o processo de alteração, definindo a porcentagem de perda, quando negativo, e ganho, quando positivo, dos componentes químicos nos vários estágios de alteração em relação ao seu material original.

Assim sendo, foi realizado o balanço químico de massa nos perfis MHL-1, 2 e 3, para os elementos maiores-óxidos (tabela 5.11), elementos traços (tabela 5.12) e elementos das terras raras (tabela 5.13).

6.2.1.1 - ELEMENTOS MAIORES - ÓXIDOS CONSTITUINTES

A interpretação dos dados de teores absolutos dos elementos maiores-óxidos constituintes apresentados na tabela 5.8, dos diagramas de distribuição dos mesmos em função da densidade, correspondendo à seqüência da evolução da alteração ao longo dos perfis MHL-1, 2 e 3 (figuras 5.3, 5.4 e 5.5), e do balanço químico de massa (tabela 5.11), permitem fazer os seguintes comentários:

SiO₂ - A perda nos teores absolutos de SiO₂ é observada nos perfis MHL-1, 2 e 3, sendo mais acentuada nos estágios iniciais da alteração, nas fácies de alteração rocha fresca ao alterito (horizonte C₃ no perfil MHL-1, horizonte C₂ no perfil

TABELA 5.11 - Balanço químico (isovolumétrico) dos elementos maiores-óxidos constituintes (%) - Perfis MHL-1, 2 e 3

Amostra	Horiz	Da	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	PF
PERFIL MHL -1													
MHL-1A	A	1,28	-55,29	-50,89	-47,11	-94,69	-93,66	-98,23	-83,14	-60,61	-39,13	-92,42	331,98
MHL-1B	Bt	1,47	-50,59	-34,16	-25,72	-97,98	-96,27	-98,98	-77,22	-53,41	-60,87	-98,48	325,68
MHL-1BC	BC	0,97	-65,82	-57,94	-57,03	-96,92	-92,16	-99,18	-70,41	-70,08	-60,87	-96,97	137,16
MHL-1C ₁	C ₁	1,07	-61,32	-54,94	-55,95	-96,13	-85,26	-99,12	-67,46	-70,83	-47,83	-95,45	142,34
MHL-1C ₂	C ₂	1,06	-61,75	-57,49	-56,04	-95,65	-76,12	-98,64	-67,46	-70,08	-43,48	-96,97	136,71
MHL-1C ₃	C ₃	1,18	-52,56	-55,12	-64,32	-97,61	-83,02	-98,78	-62,43	-75,38	-65,22	-93,94	121,85
MHL-1R ₁	R ₁	2,60	-9,24	-10,80	-6,77	-7,59	-10,17	-8,63	-50,30	-11,74	-21,74	-9,09	113,51
MHL-1R	R	2,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PERFIL MHL-2													
MHL-2A	A	1,38	-48,53	-41,10	-53,32	-98,74	-90,32	-97,64	-74,01	-29,03	-	37,50	588,32
MHL-2B	B	1,35	-51,77	-29,29	-43,98	-98,74	-82,26	-97,00	-74,55	-16,13	-	0,00	498,48
MHL-2BC	Bt	1,27	-53,04	-37,50	-49,39	-98,74	-83,87	-97,64	-76,20	-25,81	-	0,00	397,46
MHL-2C ₁	C ₁	1,31	-49,09	-39,22	-87,22	-99,58	-95,16	-97,73	-67,28	-64,52	-	-12,50	282,23
MHL-2C ₂	C ₂	1,25	-54,75	-39,38	-52,33	-98,74	-83,87	-97,36	-70,99	-25,81	-	-37,50	460,91
MHL-2R ₁	R ₁	2,28	-13,24	-4,70	-15,72	-73,22	0,00	-46,73	-5,56	-19,35	-	-12,50	197,46
MHL-2R	R	2,59	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00
PERFIL MHL-3													
MHL-3A	A	1,25	-64,74	-44,99	-31,87	-82,79	-81,43	-97,11	22,22	-41,47	-29,41	-93,33	849,17
MHL-3B	Bt	1,45	-64,38	0,63	-5,55	-96,78	-96,46	-99,54	14,81	-24,88	-54,90	-93,33	1280,66
MHL-3BC	BC	1,09	-73,63	-25,28	-27,25	-97,61	-97,53	-99,88	-44,44	-42,86	-66,67	-93,33	960,22
MHL-3C ₁	C ₁	1,09	-70,47	-37,18	-35,25	-91,19	-91,24	-99,88	-25,93	-45,62	-58,82	-93,33	781,77
MHL-3C ₂	C ₂	1,51	-54,01	-26,16	-25,86	-78,43	-72,98	-95,26	18,52	-39,63	-49,02	-86,67	716,02
MHL-3C ₃	C ₃	2,16	-27,08	-8,40	-7,37	-56,49	-49,79	-74,34	151,85	-27,65	-27,45	-86,67	380,66
MHL-3R	R	2,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

TABELA 5.12 - Balanço químico (isovolumétrico) para os elementos traços (%) - Perfis MHL-1, 2 e 3

Amostra	D	Ba	Rb	Sr	Zr	Ni	Cr	Co	Cu	Zn	V	Mo	Y	Nb	Pb
PERFIL MHL-1															
MHL-1A	1,28	-49,15	-18,95	-96,32	-45,96	16,72	-63,95	-43,26	-64,93	-50,48	-53,92	-9,22	-54,61	-48,13	187,47
MHL-1B	1,47	-42,51	-32,98	-97,36	-45,39	34,04	-55,54	-26,15	-59,72	-45,50	-39,97	4,26	-47,87	-40,43	212,77
MHL-1BC	0,97	-59,25	-23,83	-97,77	-62,87	-21,38	-73,19	-54,14	-74,20	-58,57	-66,38	-19,74	-61,02	-55,78	117,85
MHL-1C ₁	1,07	-43,68	0,28	-97,31	-61,15	-15,98	-69,31	-55,73	-68,09	-56,02	-65,22	-11,47	-59,53	-51,22	140,31
MHL-1C ₂	1,06	-57,70	2,03	-96,88	-63,01	-3,34	-72,91	-56,58	-76,93	-55,58	-67,54	-24,82	-62,41	-51,67	125,53
MHL-1C ₃	1,18	-15,44	28,52	-97,04	-64,47	-4,36	-67,39	-58,16	-78,13	-51,50	-69,89	-2,36	-55,37	-46,20	178,96
MHL-1R ₁	2,6	-28,68	-53,90	2,65	-7,07	31,71	-7,80	-7,80	-5,71	8,96	-11,29	-7,80	121,28	176,60	-7,80
MHL-1R	2,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PERFIL MHL-2															
MHL-2A	1,38	-68,93	-55,24	-83,46	-36,30	166,41	-92,60	148,65	201,93	-65,89	77,61	42,08	-79,44	-80,46	-61,59
MHL-2B	1,35	-71,44	-55,17	-83,37	-40,04	177,99	-92,76	143,24	212,74	-65,94	73,75	39,00	-78,97	-79,15	-62,42
MHL-2BC	1,27	-73,34	-55,48	-85,21	-45,80	145,17	-93,19	128,83	177,86	-67,96	63,45	30,76	-81,07	-82,02	-63,51
MHL-2C ₁	1,31	-65,38	-48,81	-82,12	-55,51	169,76	-93,26	102,32	237,19	-68,30	34,88	34,88	-78,70	-79,77	-60,01
MHL-2C ₂	1,25	-67,51	-53,86	-84,61	-48,83	109,14	-93,03	125,23	173,49	-68,46	56,85	28,70	-79,68	-82,30	-64,08
MHL-2R ₁	2,28	5,39	8,81	-71,16	-4,69	222,78	-50,60	-11,97	47,72	-43,65	-11,97	-11,97	-95,37	-11,97	2,36
MHL-2R	2,59	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PERFIL MHL-3															
MHL-3A	1,25	514,79	-73,87	-93,36	-34,30	-71,41	-84,51	-45,25	-65,80	-74,70	-64,64	-58,19	-86,56	-30,32	17,06
MHL-3B	1,45	675,92	-69,69	-92,30	-21,02	-67,05	-87,61	-34,19	-55,03	-71,29	-57,70	-19,18	-82,68	-3,01	26,09
MHL-3BC	1,09	476,84	-77,22	-94,55	-50,00	-78,50	-92,94	-50,53	-78,79	-78,89	-68,75	-63,55	-88,28	-39,24	-5,22
MHL-3C ₁	1,09	427,52	-77,22	-92,50	-43,76	-79,59	-93,09	-56,60	-80,78	-78,41	-69,44	-39,24	-85,68	-27,09	2,07
MHL-3C ₂	1,51	416,90	-68,44	-89,62	-26,41	-73,89	-91,28	-49,50	-92,65	-69,43	-67,72	-49,50	-81,96	1,00	41,40
MHL-3C ₃	2,16	418,43	-54,85	-79,07	9,39	-66,97	-95,23	-38,08	-85,55	-56,28	-63,34	-27,76	-71,62	44,48	102,27
MHL-3R	2,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

D = densidade aparente (g/cm³)

TABELA 5.13 - Balanço químico (isovolumétrico) para os elementos das terras raras (%)- Perfis MHL-1,2 e 3

Amostra	D	La	Ce	Nd	Sm	Gd	Dy	Ho	Er	Yb	Lu
PERFIL MHL-1											
MHL-1A	1,28	-41,53	-38,34	-52,40	-29,12	-66,64	-60,76	-69,74	-62,68	-63,69	-54,61
MHL-1B	1,47	-1,93	-15,61	-16,96	22,82	-49,76	-34,62	-43,53	-37,45	-31,19	-40,43
MHL-1BC	0,97	10,77	-8,94	-8,98	27,22	-42,81	-23,63	8,92	-29,68	-9,19	-36,12
MHL-1C ₁	1,07	-44,05	-43,44	-55,93	-46,98	-70,74	-64,63	-43,09	-62,90	-63,57	-56,64
MHL-1C ₂	1,06	-40,59	-36,67	-55,26	-46,96	-70,56	-65,60	-71,81	-68,26	-66,92	-62,41
MHL-1C ₃	1,18	-52,30	-57,84	-60,93	-61,60	-72,78	-69,50	-89,54	-63,74	-74,89	-70,11
MHL-1R ₁	2,60	-5,85	-3,97	-10,45	4,83	-14,47	-18,74	-53,90	-18,05	-33,62	-7,80
MHL-1R	2,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PERFIL MHL-2											
MHL-2A	1,38	-41,01	-47,20	-48,17	-60,04	-62,78	-59,15	-70,69	-63,77	-46,72	-61,94
MHL-2B	1,35	-31,90	-37,89	-43,17	-68,73	-59,30	-60,04	-92,18	-65,60	-47,88	-70,22
MHL-2BC	1,27	-30,83	-50,52	-39,94	-49,49	-61,04	-63,22	-82,84	-65,68	-57,09	-71,98
MHL-2C ₁	1,31	-37,68	-66,30	-51,44	-61,56	-65,36	-67,12	-74,71	-63,58	-58,90	-63,87
MHL-2C ₂	1,25	30,57	-53,56	10,42	2,80	-43,80	-44,50	-58,98	-53,67	-21,57	-58,63
MHL-2R ₁	2,28	-58,87	-52,71	-48,03	-65,67	-42,12	-48,65	-82,39	-38,38	-44,98	-37,12
MHL-2R	2,59	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PERFIL MHL-3											
MHL-3A	1,25	-30,14	-2,76	4,89	-49,54	-8,92	-16,39	-28,33	7,13	-37,29	11,48
MHL-3B	1,45	-34,28	11,75	16,91	-9,70	-9,94	-5,12	-79,22	18,21	-27,26	45,48
MHL-3BC	1,09	-55,87	-23,13	-1,05	-32,12	-24,49	-20,75	-21,88	0,25	-36,20	9,36
MHL-3C ₁	1,09	-50,59	-33,69	17,83	4,34	1,55	15,70	-27,09	29,87	3,29	33,67
MHL-3C ₂	1,51	-51,49	-60,11	-20,64	-7,70	-24,25	-3,39	-13,43	-14,78	-3,21	-15,83
MHL-3C ₃	2,16	-23,01	-36,13	17,39	29,54	13,52	63,33	44,48	44,48	86,62	20,40
MHL-3R	2,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

D = densidade aparente (g/cm³)

MHL-2 e C₁ no perfil MHL-3), permanecendo com poucas variações até o horizonte de transição - BC, seguido de discretíssimo acréscimo em direção ao solum (tabela 5.8 e figuras 5.3A, 5.4A e 5.5A).

O balanço químico (tabela 5.11) mostra que essa perda é moderada a partir do alterito. Entre os fácies de alteração rocha fresca e rocha alterada, a perda é pequena, e a partir desta é muito discretamente progressiva do alterito ao solum, mostrando valores ligeiramente mais baixos no horizonte B_i. As perdas verificadas são de cerca de 50-60%, atingindo 73% no horizonte BC do perfil MHL-3.

Al₂O₃, Fe₂O₃ e TiO₂ - Nos três perfis estudados, observa-se acréscimo discreto nos teores absolutos desses elementos nos horizontes B_i, seguido de subsequente decréscimo no horizonte A, após uma perda inicial, pouco significativa, da rocha fresca ao alterito, permanecendo, a partir do último, valores absolutos pouco variáveis até o horizonte BC (tabela 5.8 e figuras 5.3A, 5.4A e 5.5A e 5.3C, 5.4C e 5.5C).

Através do balanço químico (tabela 5.11), pode-se quantificar tal comportamento. O Al₂O₃ experimenta perda moderada ao longo da seqüência de alteração nos três perfis estudados, com exceção de ganho de 0,63% no horizonte B_i do perfil MHL-3, apresentando perdas médias (desconsiderando o fácies rocha alterada) de cerca de 50%, 37% e 33%, respectivamente, para os perfis MHL-1, 2 e 3. O Fe₂O₃ apresenta perda moderada a moderada-baixa, com valores médios de 51%, 57% e 25%, respectivamente, para os perfis em epígrafe. Para o TiO₂ as perdas médias são de cerca de 66%, 32% e 39% nos perfis MHL-1, 2 e 3, respectivamente. Nos três perfis em epígrafe os menores valores de perda de

Al_2O_3 , Fe_2O_3 e TiO_2 encontram-se nos horizontes B_1 de cada um dos perfis analisados, resultando num enriquecimento relativo desses constituintes químicos.

CaO, MgO, Na_2O e K_2O - Os teores absolutos destes constituintes químicos mostram perda geralmente acentuada ao longo da evolução da alteração intempérica, principalmente nas suas primeiras fases, da rocha fresca ao alterito, excetuando-se quando o teor inicial já é baixo. Do alterito até o sólum permanecem praticamente constantes a baixíssimos valores. Somente no perfil MHL-3 observa-se um subsequente acréscimo de CaO e MgO a partir do horizonte B_1 em direção ao horizonte A (tabela 5.8 e figuras 5.3B, 5.4B e 5.5B).

O balanço químico (tabela 5.11) quantifica as perdas para o CaO, MgO e Na_2O em acentuadas a praticamente totais a partir do alterito (horizontes C_3 no perfil MHL-1 e horizontes C_2 nos perfis MHL-2 e 3), que praticamente se mantém com poucas variações, em direção ao sólum, apresentando valores de perda menores de magnitude variável dos fácies rocha fresca a rocha alterada. Respectivamente, nos perfis MHL-1, 2 e 3, estes componentes químicos atingem valores de perda de 97,98%, 99,58% e 97,61% (CaO); 96,27%, 95,16% e 97,53% (MgO); e 99,18%, 97,73% e 99,88% (Na_2O). O K_2O nos perfis MHL-1 e 2 apresenta comportamento semelhante, com perdas menos acentuadas, com valores médios de cerca de 70%. Já no perfil MHL-3, o comportamento do K_2O mostra ganhos e perdas, devido ao seu baixo conteúdo na rocha original.

MnO - Permanece a valores baixos praticamente constantes em toda a evolução dos perfis de alteração (tabela 5.8 e figuras 5.3C, 5.4C e 5.5C), apresentando, ao balanço químico, perda moderada de cerca de 50% para os perfis MHL-1 e 3

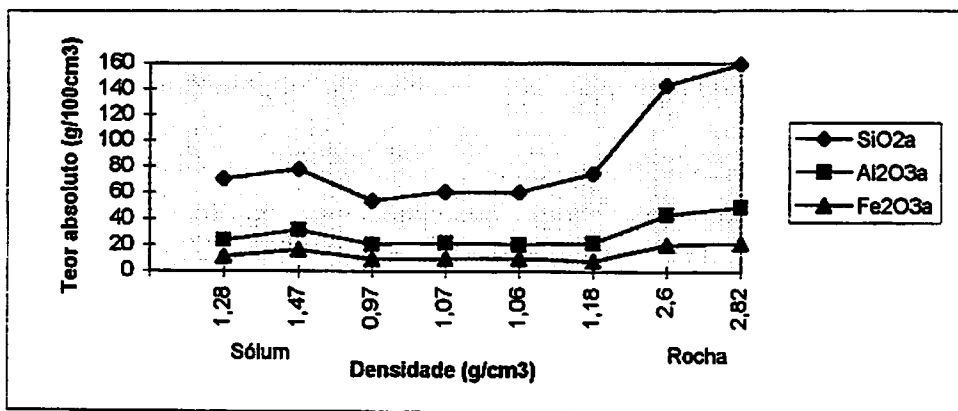
(tabela 5.11). No perfil MHL-2 não foi possível o cálculo de balanço de massa por apresentar valores no limite de detecção.

P_2O_5 - Apresenta comportamento semelhante ao descrito para CaO, MgO, Na_2O e K_2O nos perfis MHL-1 e 3, sendo menos significativa sua perda em função dos seus baixos teores originais. No perfil MHL-2 pode-se observar um ligeiro acréscimo deste constituinte químico a partir do horizonte C_2 em direção ao solum, após perda a partir da rocha fresca (tabela 5.8 e figuras 5.3C, 5.4C e 5.5C).

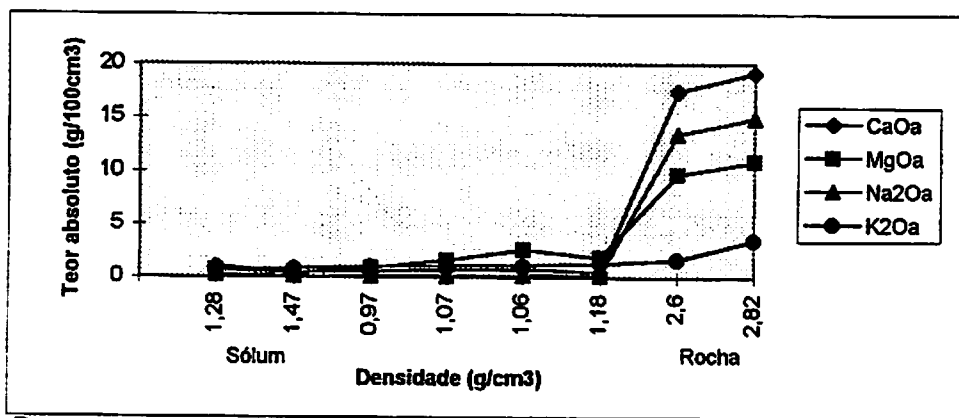
Os dados do balanço químico (tabela 5.11) mostram perda acentuada e progressiva a partir do alterito, com valores médios de perda de 96% e 92% para os perfis MHL-1 e 3, respectivamente. Já o perfil MHL-2 mostra perda média de cerca de 20% da rocha fresca ao horizonte C_1 , invariável nos horizontes BC e B_1 , seguido de ganho de 37,50% no horizonte A.

6.2.1.2 - ELEMENTOS TRAÇOS

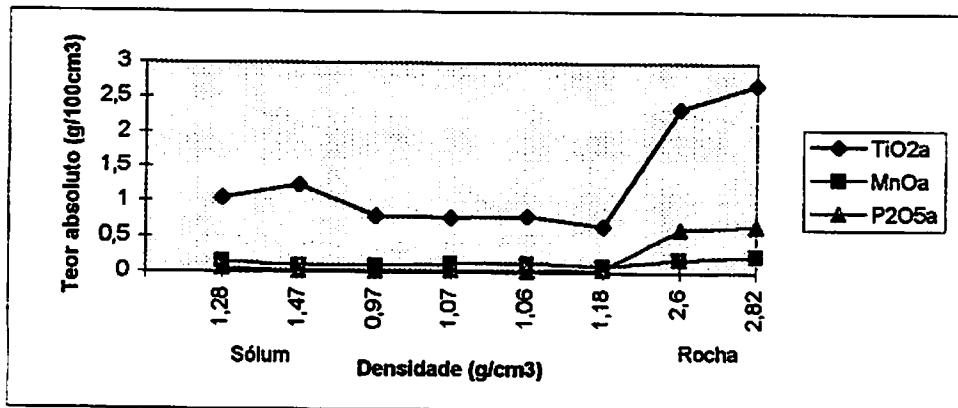
Os dados de teores absolutos dos elementos traços, apresentados na tabela 5.9, os diagramas de distribuição dos mesmos em função da densidade, correspondendo à seqüência da evolução da alteração ao longo dos perfis MHL-1, 2 e 3 (figura 5.6, 5.7 e 5.8), juntamente com o balanço químico (tabela 5.12), permitem fazer as seguintes interpretações:



A

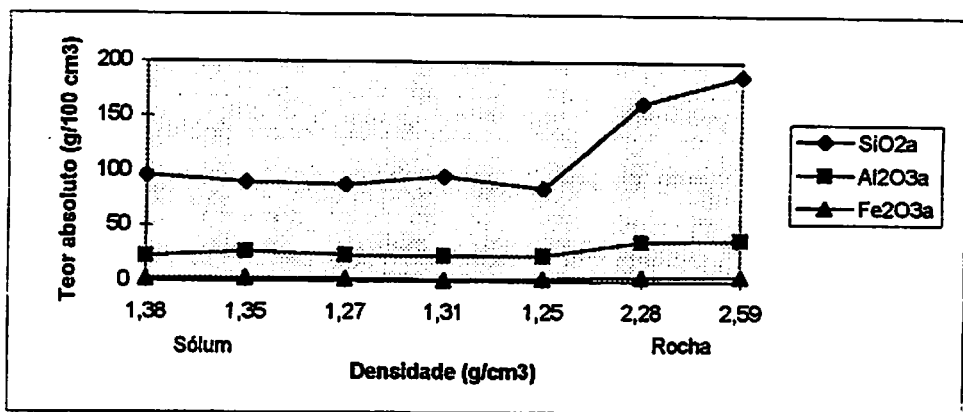


B

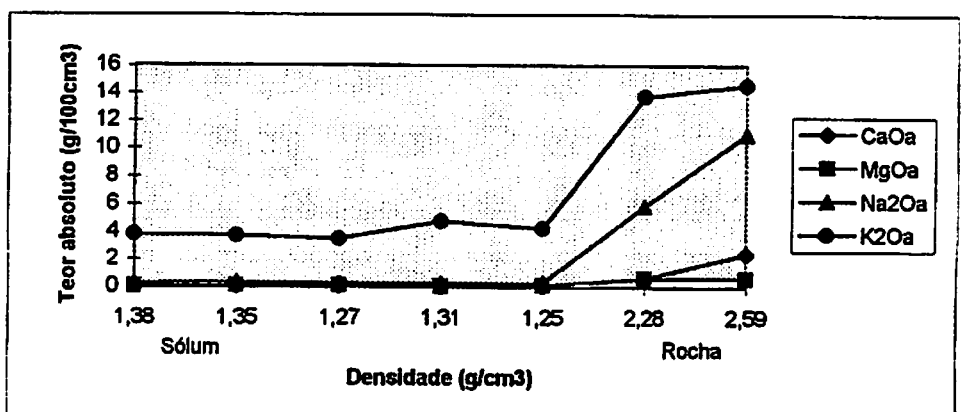


C

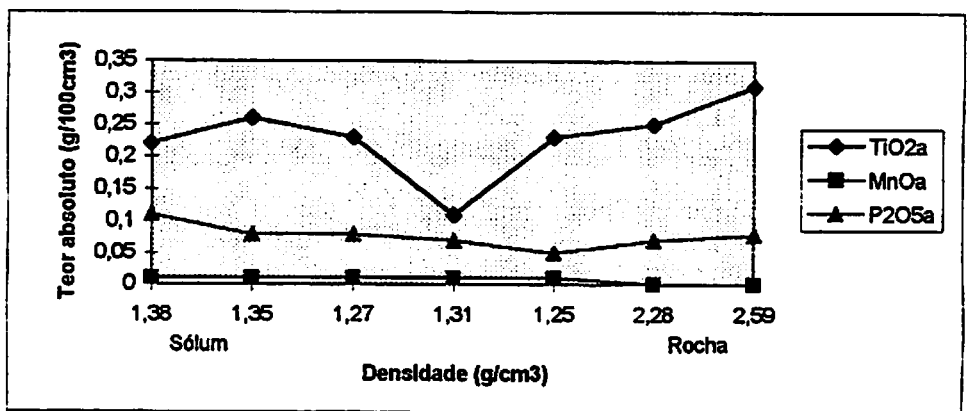
FIGURA 5.3 - Diagramas de distribuição dos elementos maiores em teores absolutos (a) em função densidade para o perfil MHL-1



A

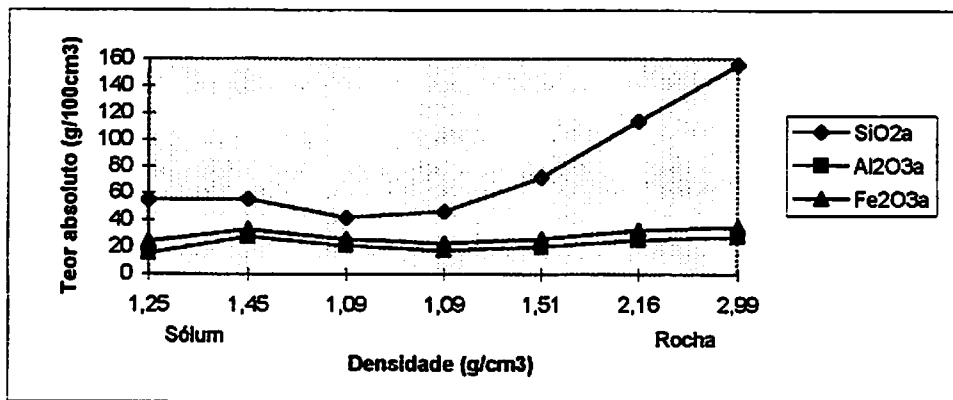


B

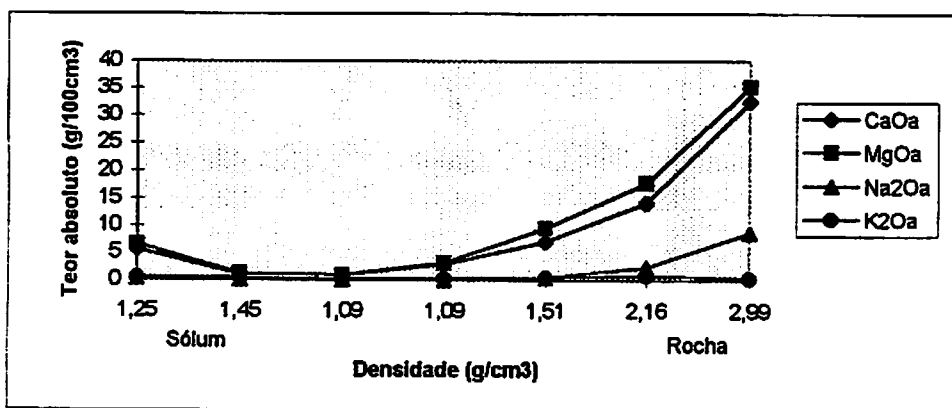


C

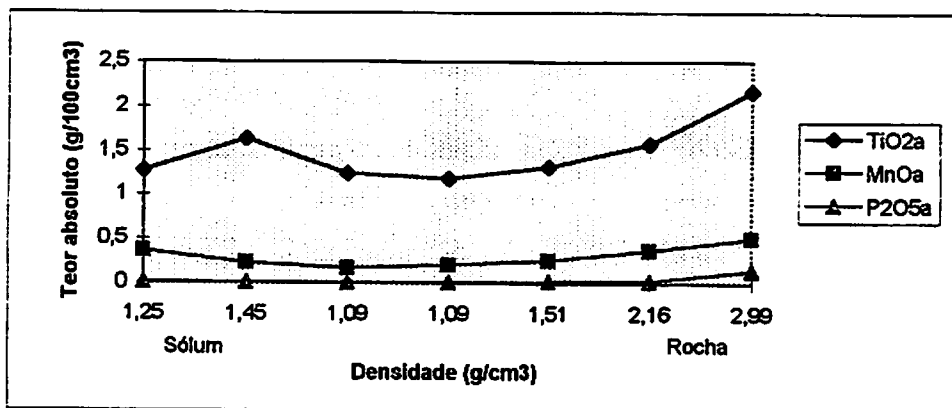
FIGURA 5.4 - Diagramas de distribuição dos elementos maiores em teores absolutos (a) em função densidade para o perfil MHL-2



A



B



C

FIGURA 5.5 - Diagramas de distribuição dos elementos maiores em teores absolutos (a) em função densidade para o perfil MHL-3

Ba - O teor absoluto de Ba varia significativamente nos perfis MHL-1, 2 e 3, com perda moderada, porém com variações ao longo da seqüência de alteração intempérica atingindo, ao balanço químico, 57% e 73% de perda em relação à rocha fresca de origem nos perfis MHL-1 e 2, respectivamente. No entanto, no perfil MHL-3, o Ba apresenta ganho crescente da rocha fresca ao sólum, atingindo 675,92 % de ganho no horizonte B₁ (tabela 5.9 e 5.12, figuras 5.6aA, 5.7aA e 5.8aA).

Sr, Rb e Zr - O Sr apresenta perda geralmente acentuada das fácies de alteração rocha fresca/rocha alterada ao alterito, permanecendo a valores pouco variáveis a partir do alterito em direção ao sólum, atingindo valores de perda de 97,77%, 85,21% e 94,55%, respectivamente, nos perfis MHL-1, 2 e 3 (tabela 5.9 e 5.12, figuras 5.6aB, 5.7aB e 5.8aB).

O Rb apresenta comportamento semelhante ao Sr no perfil MHL-2, atingindo 55,48% de perda ao balanço químico no horizonte BC e, no perfil MHL-3, a perda da rocha fresca ao alterito é discreta, com maior porcentagem de perda (-77,22%) nos horizontes C₁ e BC. Já no perfil MHL-1, verifica-se pequeno incremento da rocha fresca ao alterito (+28,52%) após uma perda no fácies de alteração rocha alterada (-53,90%) e, a partir do alterito em direção ao sólum, os valores absolutos variam pouco, refletindo ao balanço químico ganhos discretos até o horizonte C₁, seguidos de perdas de até 32,98% no horizonte B₁ (tabela 5.9 e 5.12, figuras 5.6aB, 5.7aB e 5.8aB).

Já o Zr mostra decréscimo dos teores absolutos ao longo das seqüências de alteração nos três perfis estudados, que se apresenta acentuado nos estágios

iniciais da alteração, da rocha fresca/rocha alterada até o alterito (tabela 5.9 e 5.12, figuras 5.6aB, 5.7aB e 5.8aB). Ao balanço químico, as perdas em relação à rocha fresca de origem atingem 64,47%, 55,51% e 50% nos perfis MHL-1, 2 e 3, respectivamente. A partir do horizonte de transição BC, verifica-se acréscimo nos teores absolutos no sólum, especialmente no horizonte B₁, o que, ao balanço químico, reflete-se nos menores valores de perda, indicando enriquecimento relativo.

Ni, Cr, Co, Cu, V e Zn - Nos perfis MHL-1 e 3, estes elementos geralmente mostram incremento, em seus teores absolutos a partir do alterito em direção ao sólum, que se pronuncia no horizonte B₁, com subsequente decréscimo em direção ao horizonte A (com exceção do Cr no perfil MHL-3, cujo acréscimo prossegue rumo ao horizonte A). Este incremento no sólum ocorre após decréscimo crescente, por vezes acentuado, e com variações nos estágios iniciais da alteração, ou seja, dos fácies de alteração rocha fresca/rocha alterada ao alterito.

No perfil MHL-3 observa-se decréscimo crescente dos elementos acima da rocha fresca ao horizonte de transição BC, com exceção do Cr e Cu. No perfil MHL-1, nota-se perda mais acentuada da rocha fresca/rocha alterada ao alterito (horizonte C₃) para o V, Cr, Cu e Zn, e estes juntamente com os demais permanecem em valores absolutos com pequenas variações a partir do alterito até o horizonte BC.

Já no perfil MHL-2 verifica-se acréscimo nos teores absolutos desses elementos, geralmente crescente, com algumas variações ao longo dos horizontes, desde a rocha fresca até o sólum, com exceção do Cr e Zn; o subsequente

decréscimo no horizonte A após acréscimo no horizonte B₁, é discretamente verificado somente para o Cu e Ni (tabela 5.9 e figuras 5.6bC e D, 5.7bC e D, 5.8bC e D).

O balanço químico (tabela 5.12) permite quantificar a mobilidade desses elementos químicos. No perfil MHL-1, verifica-se o ganho de Ni nos horizontes B₁ e A (34,04% e 16,72%, respectivamente) e os demais apresentam perda moderada em toda a seqüência de alteração a partir do alterito, com perdas médias de cerca de 67% para o Cr, 49% para o Co, 70 % para o Cu, 53% para o Zn e 60% para o V. No entanto, verificam-se as menores perdas no horizonte B₁, o que indica enriquecimento relativo.

No perfil MHL-2 verificam-se ganhos de Ni, Co, Cu e V ao longo de praticamente toda a seqüência de alteração, geralmente a partir do alterito, atingindo, respectivamente, porcentagens de ganho de +177,99, +148,65, +237,19 e +77,61, sendo esses maiores enriquecimentos preferencialmente no sólum. O Cr e o Zn apresentam perdas da ordem de 93% e 67%, respectivamente.

Já no perfil MHL-3, ocorrem perdas desses elementos em toda a seqüência de alteração, com valores médios a partir do alterito de -74%, -90%, -47%, -74%, -75% e -66%, respectivamente para Ni, Cr, Co, Cu, Zn e V. Porém, podem-se também verificar menores valores de perda em direção ao sólum, especialmente no horizonte B₁, indicando enriquecimento relativo, tal como no perfil MHL-1.

Mo, Y, Nb e Pb - Mostram comportamento semelhante ao descrito para Ni, Cr, Co, Cu e Zn, menos significativo em função dos baixos teores absolutos, ou seja: acréscimo no horizonte B₁ com subsequente decréscimo no horizonte A (pouco representativo no perfil MHL-2), a partir do alterito, e deste até o horizonte BC permanecendo valores com pequenas variações até o horizonte B₁. Para o Y e Nb esse incremento no sólum ocorre após decréscimo, com algumas variações, geralmente acentuado da rocha fresca/rocha alterada ao alterito. O Pb apresenta comportamento distinto nos perfis MHL-1 e 3, com acréscimo da rocha fresca ao alterito, assim como o Mo no perfil MHL-2 (tabela 5.9 e 5.12, figuras 5.6cE, 5.7cE e 5.8cE).

Ao balanço químico (tabela 5.12), as perdas médias de Y são cerca de 56%, 80% e 83%, respectivamente, para os perfis MHL-1, 2 e 3; e de Nb são de 49% e 81%, respectivamente, para os perfis MHL-1 e 2, ambos mostrando discretos menores valores no horizonte B₁. O Nb no perfil MHL-3 apresenta comportamento distinto, com perdas moderadas (máximo de -39,24%) nos horizontes BC e A e baixa (-3,01) no horizonte B₁, após ganhos de magnitude variáveis a partir da rocha fresca ao horizonte C₁. Os menores valores de perda no horizonte B₁ também indicam enriquecimento relativo desses elementos.

O Mo no perfil MHL-1 apresenta perdas variáveis desde -2,36% até -24,82%, mostrando enriquecimento de +4,26% no horizonte B₁, enquanto que no perfil MHL-3 as perdas são moderadas (média de -45%), com menor valor de perda no horizonte B₁. O perfil MHL-2 é marcado por ganhos de Mo de até +42,08% no sólum. O Pb apresenta ganhos nos perfis MHL-1 e 3 de até 212,37% e 26,09%, respectivamente, nos horizontes B₁, enquanto que no perfil MHL-2 mostra perdas médias de cerca de 62%.

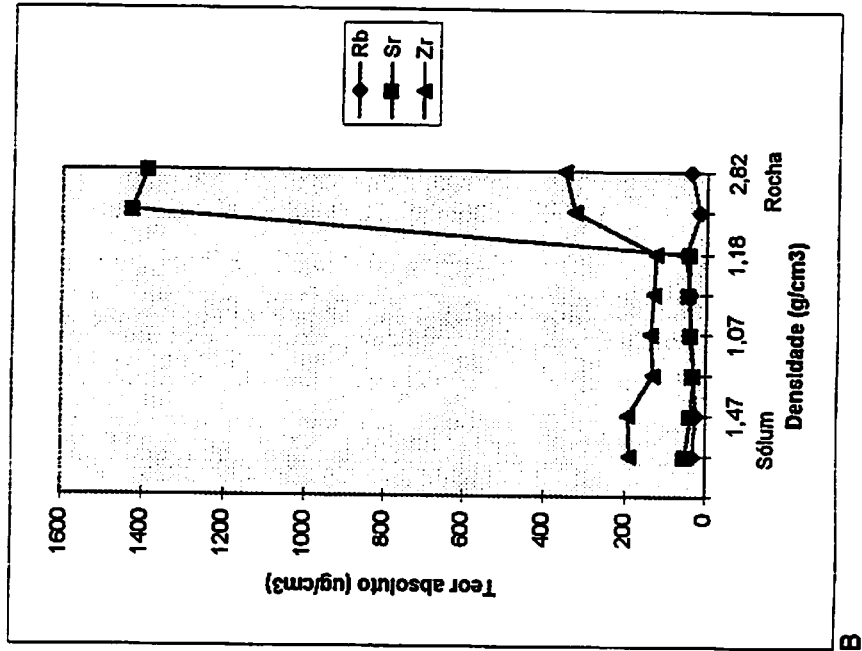
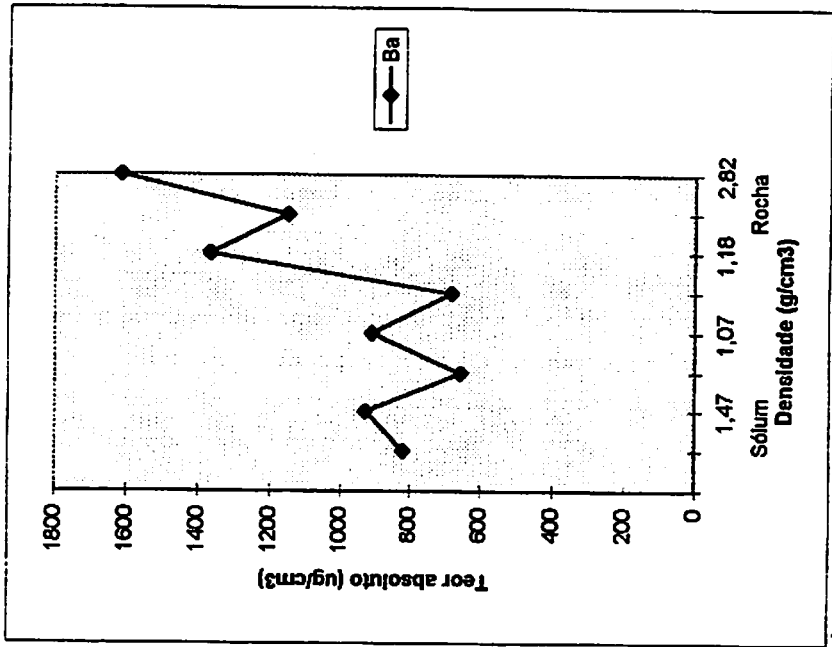
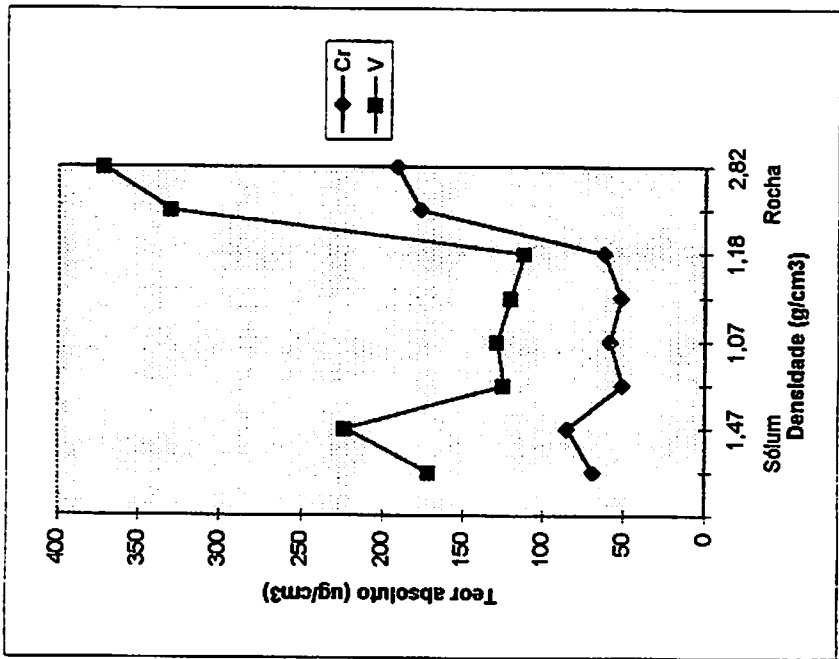
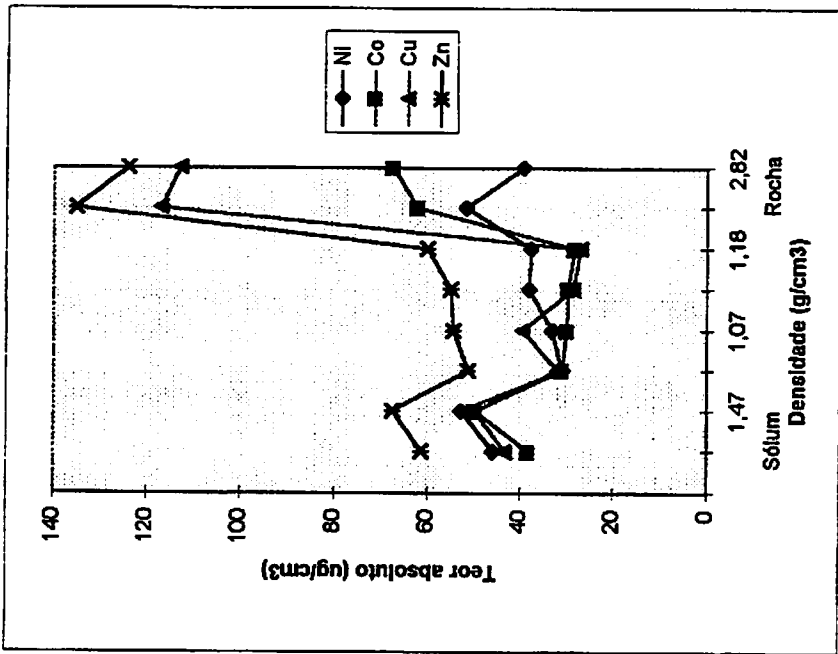


FIGURA 5.6a - Diagramas de distribuição de elementos traços em teores absolutos em função da densidade para o perfil MHL-1

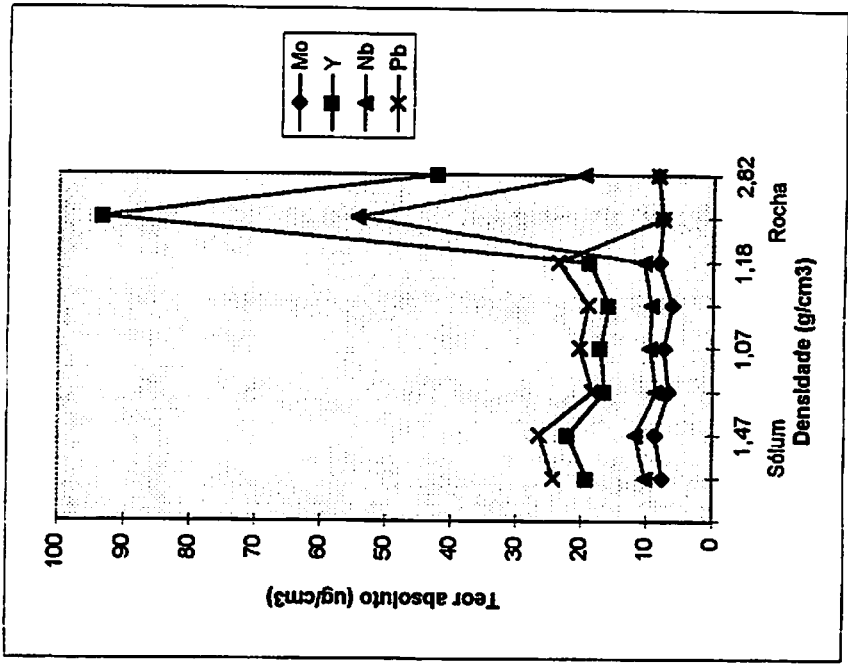


C



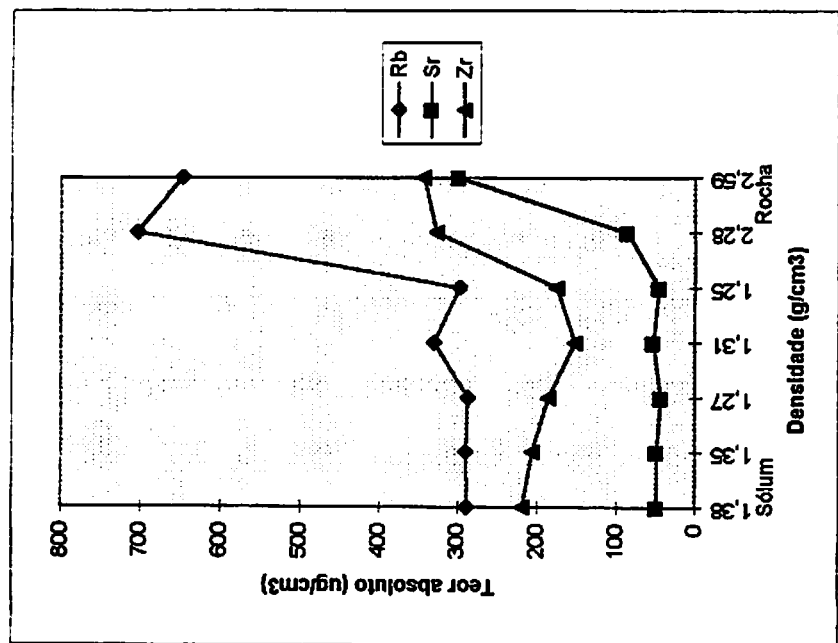
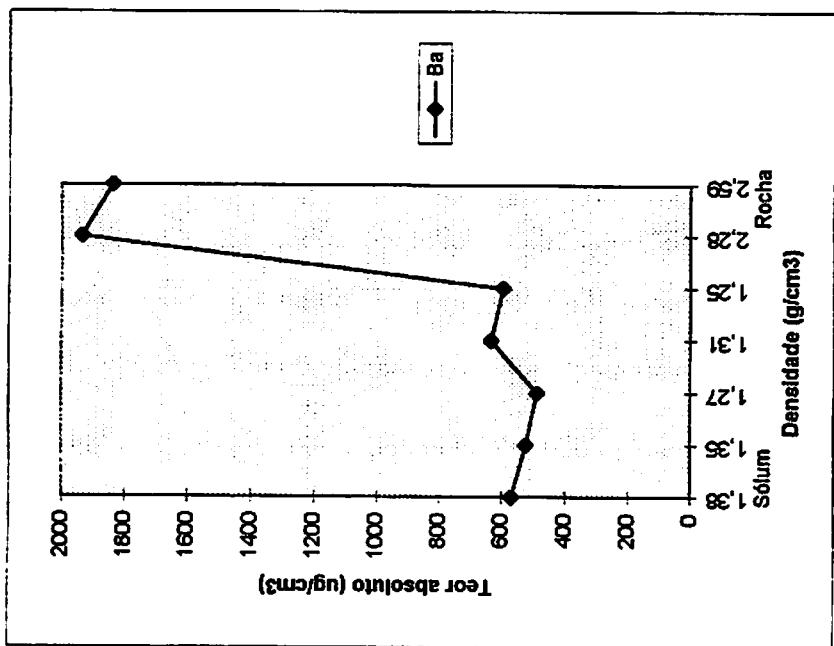
D

FIGURA 5.6b - Diagramas de distribuição de elementos traços em teores absolutos em função da densidade para o perfil MHL-1



E

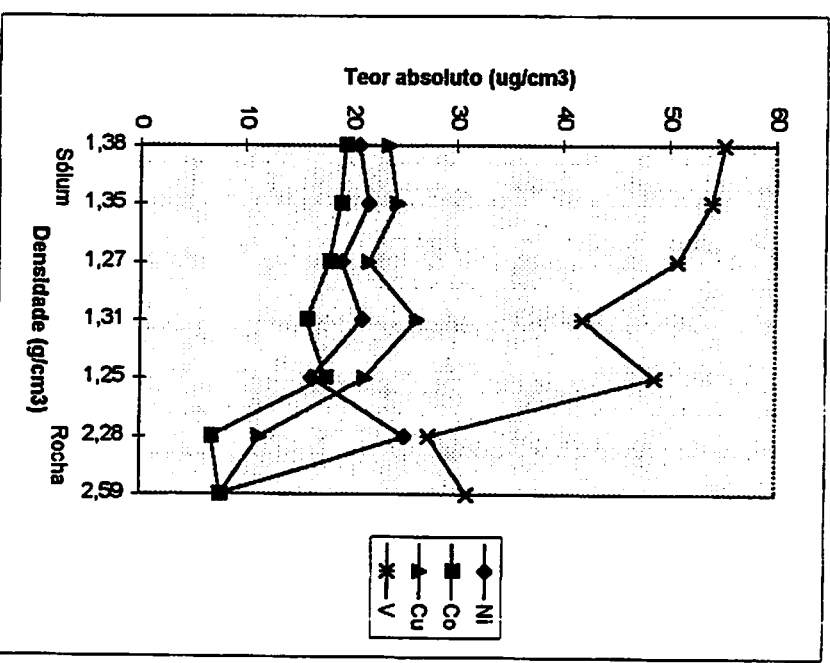
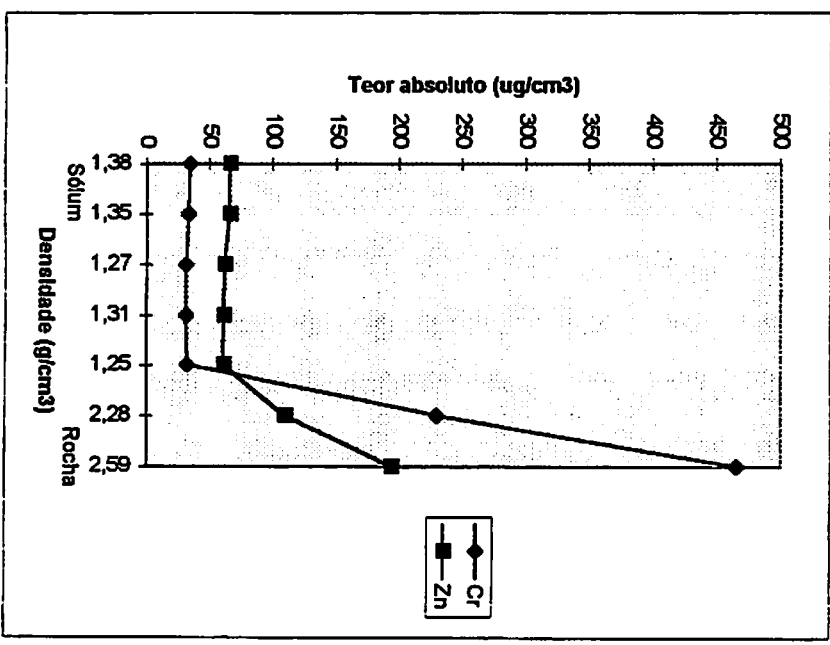
FIGURA 5.6c - Diagramas de distribuição de elementos traços em teores absolutos em função da densidade para o perfil MHL-1



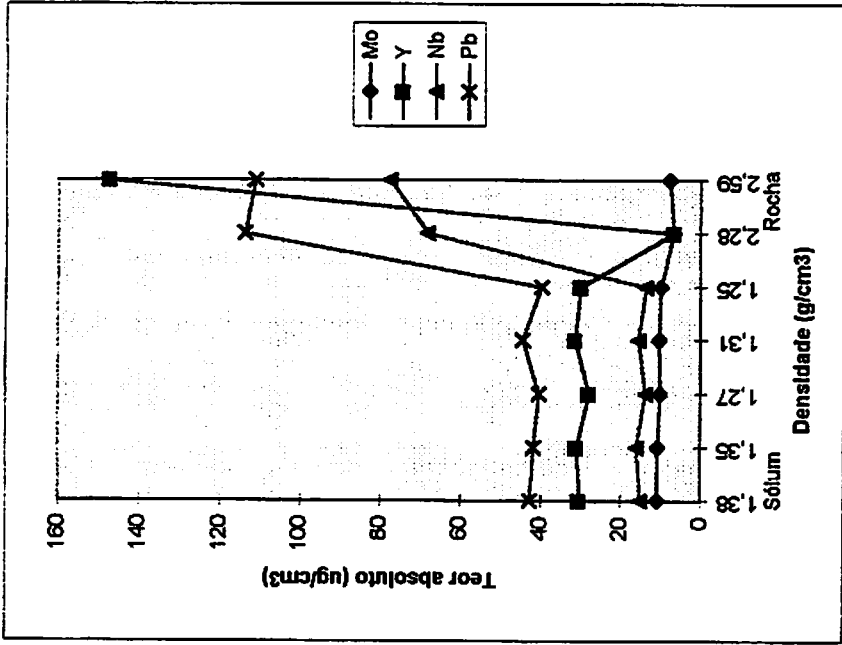
A

B

FIGURA 5.7a - Diagramas de distribuição de elementos traços em teores absolutos em função da densidade para o perfil MHL-2



C
FIGURA 5.7b - Diagramas de distribuição de elementos traços em teores absolutos em função da densidade para o perfil MHL-2
 D



E

FIGURA 5.7c - Diagramas de distribuição de elementos traços em teores absolutos em função da densidade para o perfil MHL-2

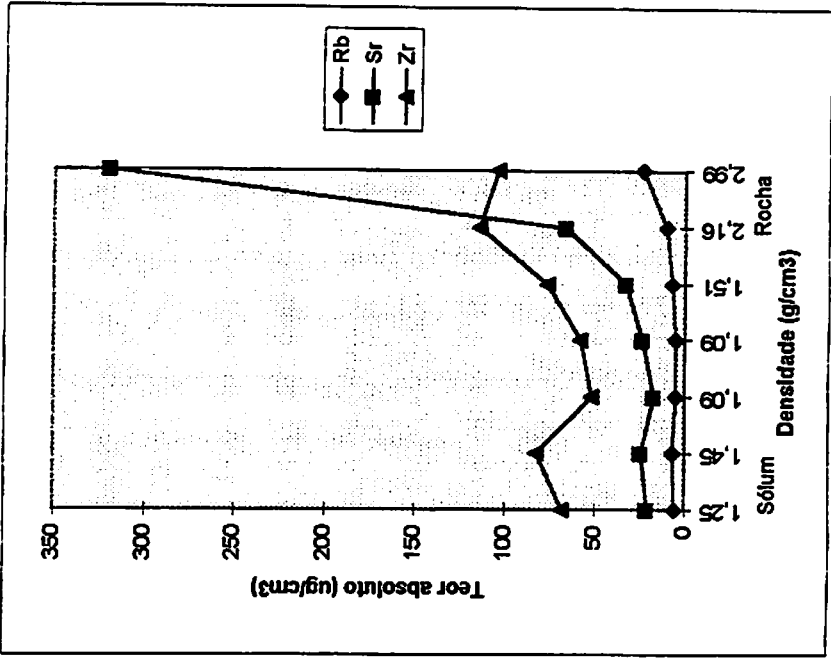
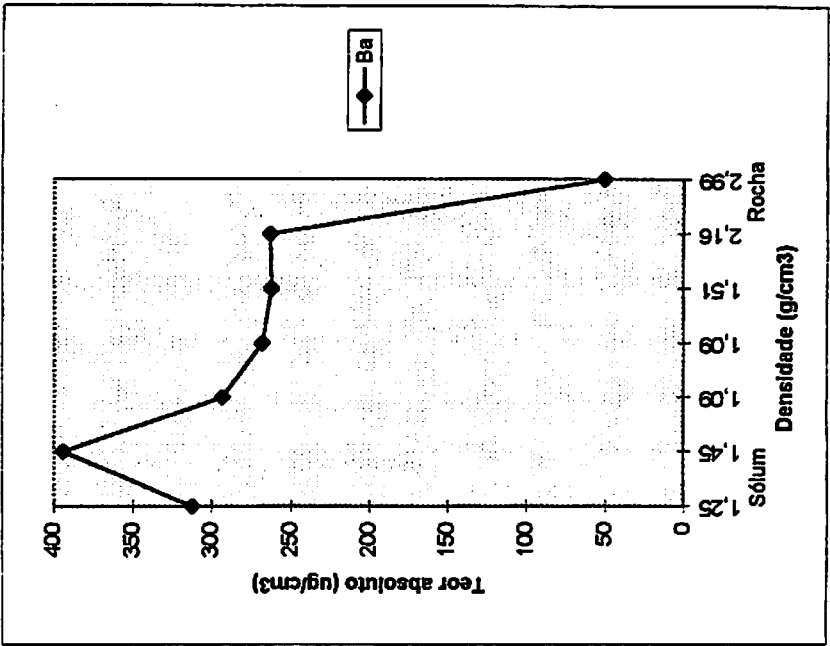
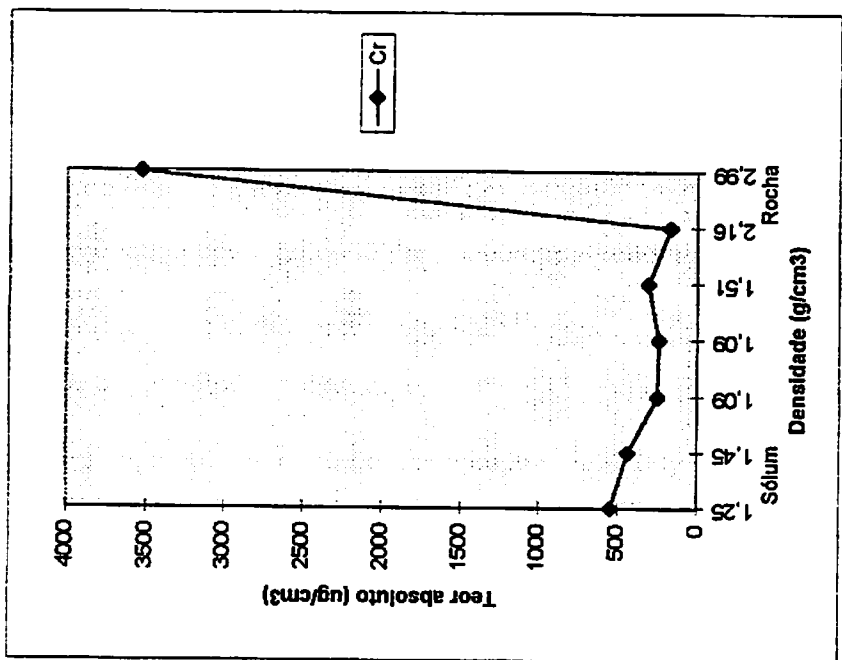
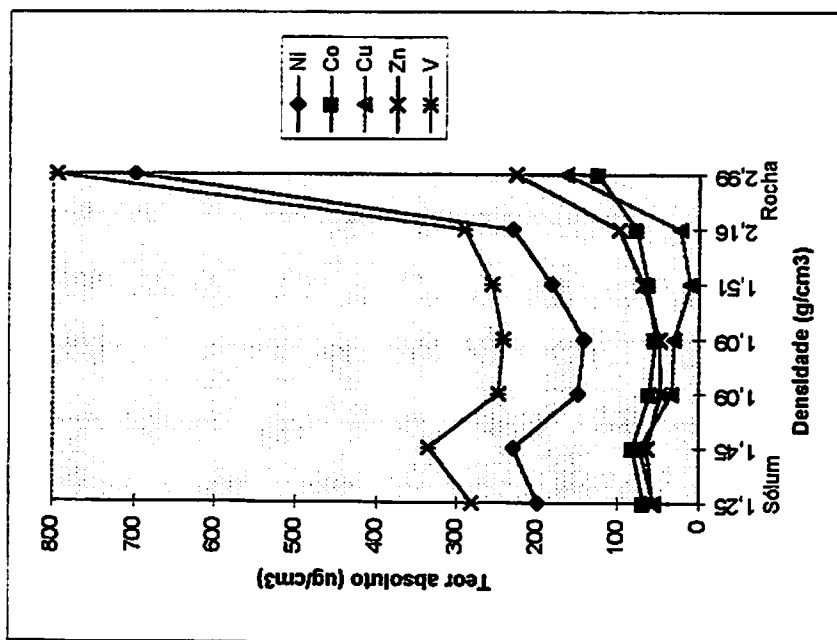


FIGURA 5.8a - Diagramas de distribuição de elementos traços em teores absolutos em função da densidade para o perfil MHL-3

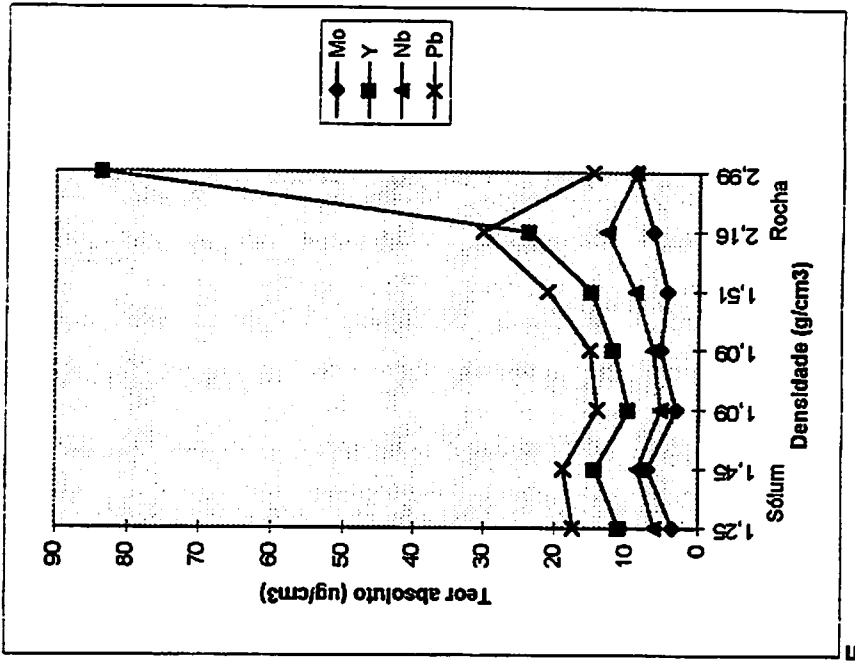


C



D

FIGURA 5.8b - Diagramas de distribuição de elementos traços em teores absolutos em função da densidade para o perfil MHL-3



E

FIGURA 5.8c - Diagramas de distribuição de elementos traços em teores absolutos em função da densidade para o perfil MHL-3

6.2.1.3 - ELEMENTOS DAS TERRAS RARAS

A distribuição dos elementos das terras raras (ETR) é bastante variável ao longo dos perfis MHL-1, 2 e 3, cujos teores absolutos encontram-se na tabela 5.10, seus respectivos diagramas de distribuição em função da densidade nas figuras 5.9, 5.10 e 5.11, correspondendo à seqüência da evolução da alteração ao longo dos perfis MHL-1, 2 e 3 e o balanço químico na tabela 5.13. Os dados geoquímicos dos elementos das terras raras mostram a mobilidade destes elementos no ciclo intempérico para as condições estudadas.

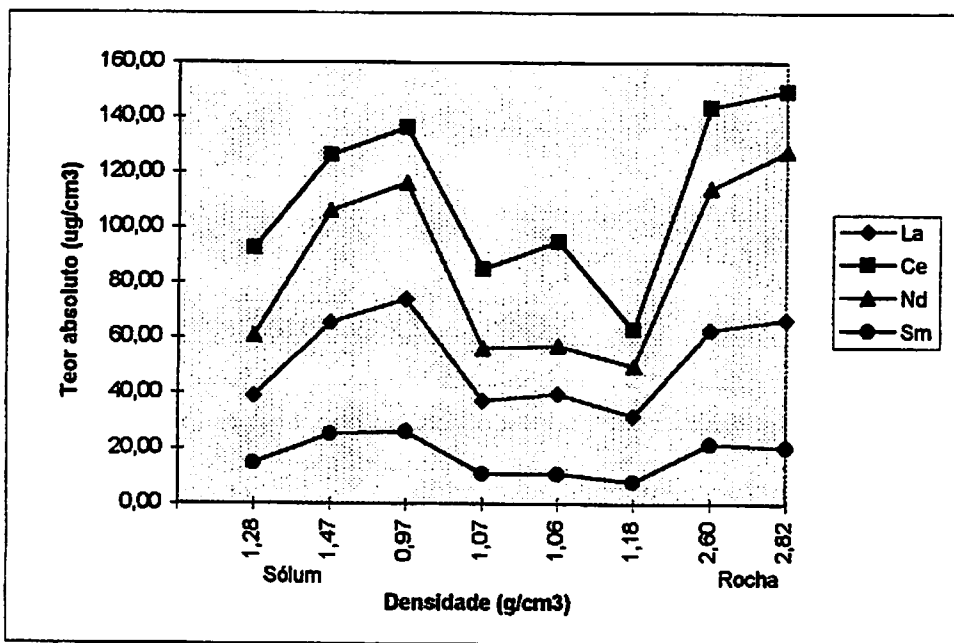
No entanto, algumas tendências de distribuição dos ETR podem ser discutidas. Ao longo da seqüência de alteração intempérica a tendência genérica observada é a de perda, geralmente moderada, a partir da rocha fresca até o sólum, apesar das variações observadas ao longo dos horizontes pedogenéticos, com algumas exceções: Perfil MHL-1: ganho de La (+10,66%) no horizonte BC, Sm nos horizontes BC (+27,22%) e B_t (+22,82%) e Ho (+8,92%) no horizonte BC; Perfil MHL-2: ganho de La (+30,57), Nd (10,42%) e Sm (2,80%) no horizonte C₂; Perfil MHL-3: ganho de Ce (+11,75%) no horizonte B_t, Nd nos horizontes A(+4,89%), B_t(+16,91), C₁(+17,83%) e C₃(+17,39%), Sm, Gd, Dy e Yb nos horizontes C₁(+4,34%, 1,55%, 15,70%, 3,29%) e C₃(+29,54%, 13,52%, 63,33%, 86,62%), Ho no horizonte C₃(44,48%), Er e Lu nos horizontes A (7,13 e 11,48%), B_t(18,21 e 45,48%), BC(0,25 e 9,36%), C₁(29,87 e 33,67%) e C₃(44,48 e 20,40%) (tabela 5.13).

O padrão de distribuição dos ETR no perfil MHL-1 segue a mesma tendência: perda da rocha fresca ao alterito (horizonte C₃), permanecendo a valores absolutos praticamente equivalentes até o horizonte C₁, seguidos de

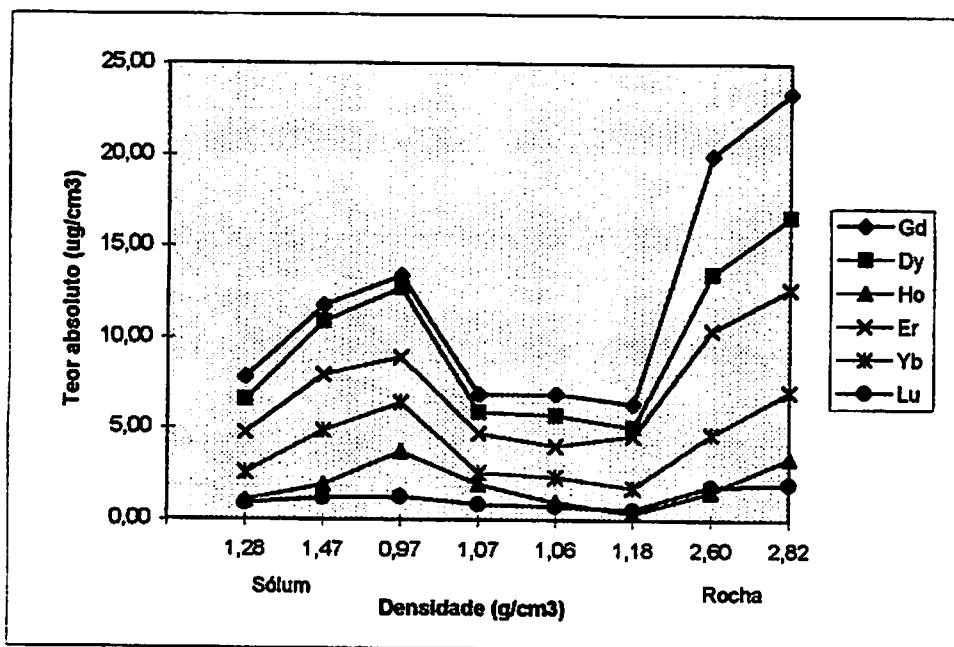
acrécimo em direção ao horizonte BC, com subsequente decréscimo no solum. Exceção é feita para o Lu, que mostra teores absolutos de pouca variação em toda a seqüência de alteração, em função dos seus baixos teores (tabela 5.10 e 5.13, figura 5.9). Ao balanço químico, as maiores perdas são das terras raras pesadas, com valores em torno de 60-70%, e as terras raras leves mostram perdas moderadas, da ordem de 40-50%. Os ganhos do La, Sm e Ho e as menores perdas dos demais, incluindo o Lu, encontram-se nos horizontes BC e B_t para todos os demais elementos das terras, evidenciando enriquecimento relativo.

No perfil MHL-2, podem-se distinguir dois padrões de distribuição, o primeiro nos ETR leves (La, Ce, Nd e Sm), que apresenta perda da rocha fresca à rocha alterada, da ordem de 50 a 60%, seguida de ganhos variáveis no horizonte C₂ (com exceção do Ce) e perdas moderadas (variando de cerca de 30 a 60%) a partir do horizonte C₂. A partir deste, os valores permanecem pouco variáveis até o solum, com exceção do Ce. O segundo padrão de distribuição refere-se aos ETR pesados (Gd, Dy, Ho, Er, Yb e Lu), que mostram perda geralmente crescente, com variações ao longo dos horizontes, da rocha fresca ao solum (perdas da ordem de 45 a 75%). A distribuição dos teores absolutos ao longo da seqüência de alteração para o Lu, apresenta-se tal como no perfil MHL-1 (tabela 5.10 e 5.12, figura 5.10).

Já no perfil MHL-3 é difícil estabelecer um padrão de distribuição regular para os ETR, distribuição esta marcada por perdas e ganhos alternados ao longo dos horizontes que definem o perfil de alteração. A distribuição dos teores absolutos do Lu apresenta-se com poucas variações, tal como nos perfis MHL-1 e 2 (tabela 5.10 e 5.13, figura 5.11).

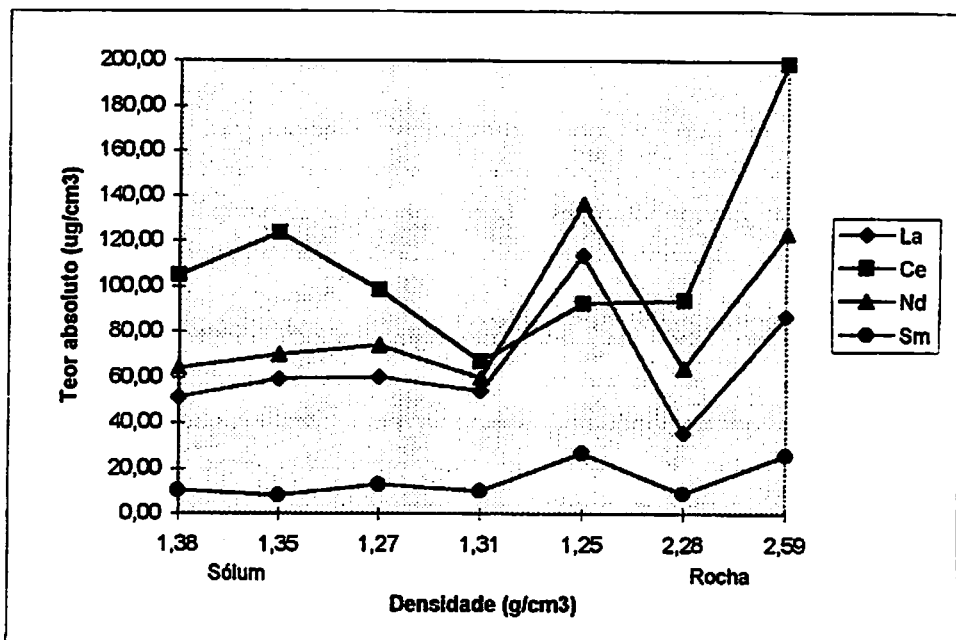


A

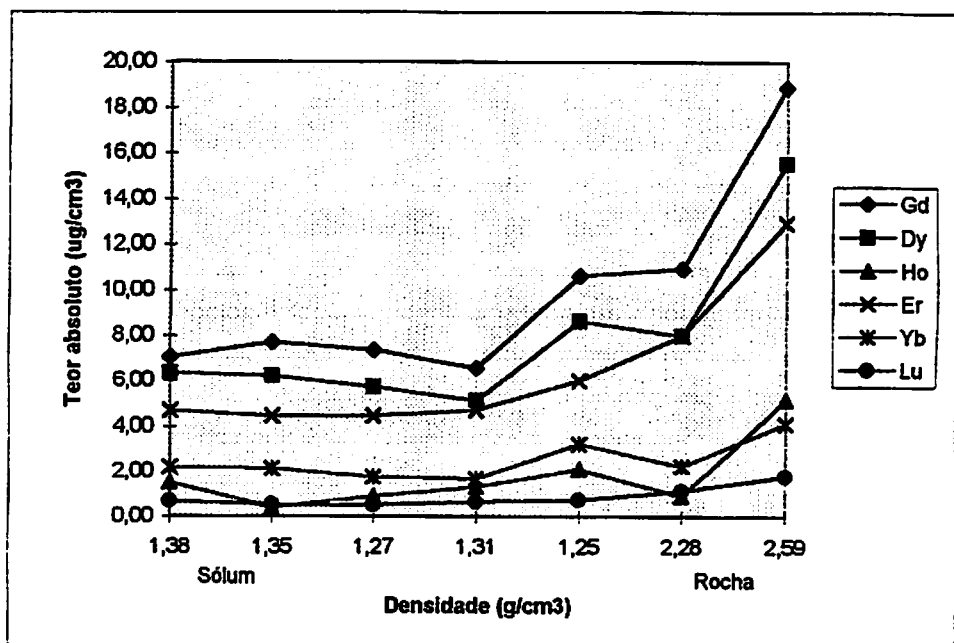


B

FIGURA 5.9 - Diagramas de distribuição dos elementos das Terras Raras em teores absolutos em função da densidade para o perfil MHL-1

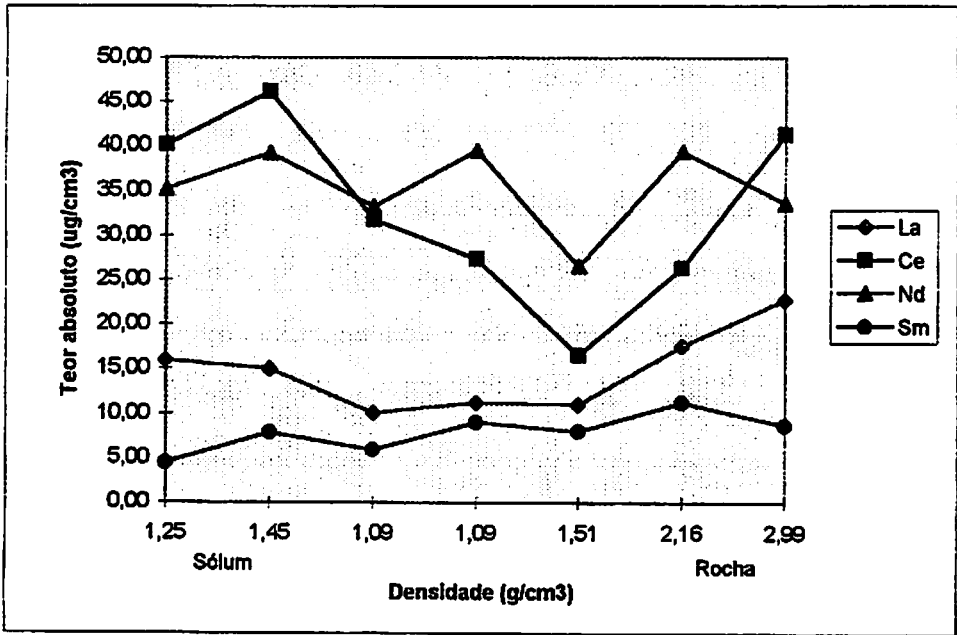


A

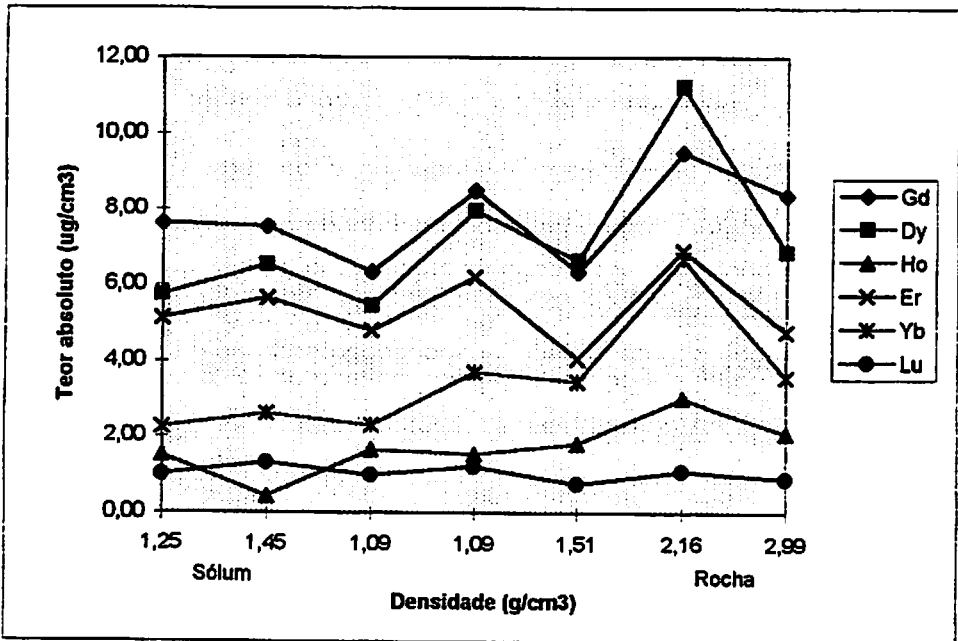


B

FIGURA 5.10 - Diagramas de distribuição dos elementos das Terras Raras em teores absolutos em função da densidade para o perfil MHL-2



A



B

FIGURA 5.11 - Diagramas de distribuição dos elementos das Terras Raras em teores absolutos em função da densidade para o perfil MHL-3

6.3 - COMENTÁRIOS SOBRE EVOLUÇÃO GEOQUÍMICA NOS PERFIS DE ALTERAÇÃO

Através dos resultados analíticos obtidos para os perfis MHL-1, 2 e 3, foi possível corroborar a discriminação petrológica dos materiais de origem de cada um dos perfis estudados, assim como avaliar a variação da composição química dos mesmos ao longo da seqüência de alteração, desde a rocha fresca até o sólum. Os cálculos volumétricos e balanço químico de massa permitiram analisar o comportamento da mobilidade e distribuição dos elementos químicos ao longo da evolução pedogenética, bem como quantificar suas perdas e ganhos.

A magnitude dos teores dos elementos maiores-óxidos constituintes, assim como dos elementos traços e elementos das terras raras ao longo dos perfis de alteração são compatíveis à composição química dos seus materiais originais, ou seja, rocha de composição diorítica para o perfil MHL-1 - Podzólico Vermelho-Escuro; rocha de composição granítica para o perfil MHL-2 - Podzólico Vermelho-Amarelo e rocha básica para o perfil MHL-3 - Brunizém Avermelhado. A variação química sofrida ao longo da seqüência de alteração pedogenética, da rocha fresca em direção ao sólum é proporcional aos teores originais, o que se reflete em atributos dos solos formados, assim como a individualização em classes de solos B texturais distintas.

No entanto, verifica-se comportamento geoquímico semelhante para os três perfis em questão, o que é reflexo do processo pedogenético e grau de evolução dos solos B texturais, que será discutido a seguir, individualizando-se comportamento dos elementos maiores-óxidos constituintes, elementos traços e

elementos das terras raras. O comportamento geoquímico nos três perfis avaliados é marcado, em linhas genéricas, pela perda acentuada da maioria dos constituintes químicos, nas primeiras fases da alteração, do fácies rocha-fresca ao alterito, mostrando que a alteração processa-se rapidamente a partir do início da atuação intempérica.

Elementos maiores-óxidos constituintes

Ao longo da evolução da alteração dos três perfis em questão, verificou-se o seguinte comportamento químico dos elementos maiores-óxidos constituintes:

- perdas moderadas de SiO_2 , da ordem de 50-60%;
- perdas acentuadas a praticamente totais, atingindo mais de 95% de CaO , MgO e Na_2O e menos acentuadas para o K_2O ;
- perdas moderadas de MnO , de cerca de 50%;
- perdas acentuadas de P_2O_5 , com exceção no perfil MHL-2;
- perdas moderadas de Al_2O_3 , moderada-baixas de Fe_2O_3 e TiO_2 , mostrando enriquecimento relativo no horizonte B, nos três perfis analisados.

Esse comportamento químico observado nos três perfis de alteração encontra-se compatível ao processo pedogenético responsável pela formação dos solos correspondentes (B texturais), com perda moderada de sílica, enriquecimento relativo moderado de Al e Fe e lixiviação de bases.

A dessilicatização moderada, juntamente com a perda moderada de Al_2O_3 , é verificada nas associações de argilo-minerais silicatados presentes nos perfis de alteração, com ocorrência de argilo-mineral 2:1: - Perfil MHL-1: illita + vermiculita cloritizada + caulinita + gibbsita, o primeiro ocorrendo até o horizonte BC e o último a partir deste (processos de bissialitização,

monossilicização até alitização); - Perfil MHL-2: caulinita + gibbsita + illita, este último até o horizonte B₁ (processos de bissialitização, monossilicização até alitização); e Perfil MHL-3: caulinita + talco + esmectita (processo de bissialitização e monossilicização).

A lixiviação praticamente completa de CaO, MgO e Na₂O encontra-se diretamente relacionada ao baixo grau de resistência ao intemperismo dos minerais silicatados primários que os contêm e sua ordem de destruição intempérica ao longo da alteração em cada perfil analisado. Nos perfis MHL-1 e 2, os minerais primários destruídos nos estágios iniciais da alteração intempérica são os silicatos ferromagnesianos e cálcio-sódicos, tais como os anfibólios (hornblenda-edenita) e plagioclásio cálcio-sódico e no perfil MHL-3 acrescenta-se a estes o clinopiroxênio (diopsídio-augita). Nos perfis MHL-1 e 2, o K₂O apresenta lixiviação menos acentuada, primeiro por estar principalmente na estrutura do feldspato potássico, mineral de maior resistência ao intemperismo químico, e segundo pela sua fixação na estrutura de argilo-minerais silicatados neo-formados, especialmente a illita. No perfil MHL-3, o comportamento geoquímico do K₂O é comprometido, devido aos baixos teores deste elemento no material original.

O enriquecimento relativo de Fe₂O₃, Al₂O₃ e TiO₂ no horizonte B₁, é justificado pela concentração de óxidos e hidróxidos secundários desses elementos nesse horizonte, que são liberados, também, pela meteorização de minerais primários que os contêm na estrutura, tais como silicatos ferromagnesianos (piroxênios e anfibólios) e óxidos primários de Fe e Ti. Os teores de Fe₂O₃ e TiO₂ nos solos são compatíveis, então, com o teores destes no material original, sendo

o perfil MHL-3 o mais enriquecido nesses constituintes químicos, o perfil MHL-2 o mais empobrecido e o perfil MHL-3 o intermediário.

Através da análise de perdas dos principais elementos maiores-óxidos constituintes ao longo dos três perfis avaliados, foi possível estabelecer a ordem de perda desses constituintes, através dos valores médios de perda ao longo de toda a seqüência de alteração:

- Perfil MHL-1: Na > Ca > Mg > K > Si > Al > Fe
- Perfil MHL-2: Ca > Na > Mg > K > Si > Fe > Al
- Perfil MHL-3: Na > Ca > Mg > Si > K > Al > Fe

No perfil MHL-3 a posição ocupada pelo K é discutível em função dos seus baixos teores na rocha original que compromete sua avaliação geoquímica. Com exceção deste, observa-se a mesma tendência de perda de constituintes e mobilidade dos cátions comuns nos solos, concordando, em linhas gerais, com a seqüência de perda de constituintes em solos estabelecida por Polynov (1937), Goldich (1938) e Tyler (1958) e a mobilidade de cátions comuns em solos segundo Loughnan (1969). Assim sendo, o primeiro grupo, com variações nas posições de perda para os três perfis, refere-se ao Ca, Mg e Na que são rapidamente mobilizados e lixiviados. Segue-se o K, que também é rapidamente mobilizado e lixiviado, mas a taxa de lixiviação pode ser retardada pela fixação na estrutura de illitas. O Si é lentamente lixiviado, o Ti^{+4} pode mostrar mobilidade se liberado como $Ti(OH)_4$; se for liberado na forma TiO_2 imobiliza-se; o Fe^{+3} imobiliza-se em condições oxidantes e Al^{+3} também imobiliza-se nas variações de pH de 4,5 a 9,5.

Elementos traços

A distribuição dos elementos traços ao longo da seqüência de evolução pedogenética para os três perfis avaliados, mostra a grande mobilidade dos elementos analisados; no entanto, pode-se fazer o grupamento destes elementos de acordo com seu comportamento geoquímico:

- **Classe I** - Elementos de mobilidade moderada-alta, caracterizando perda da rocha fresca ao sólum, por vezes mais acentuada da rocha fresca ao alterito: Rb, Sr e Ba, este último nos perfis MHL-1 e 2.
- **Classe II** - Elementos de mobilidade moderada, com perda geralmente acentuada da rocha fresca ao alterito e enriquecimento relativo e eventualmente real no sólum, especialmente no horizonte B_t: Ni, Cr, Co, Cu, Zn, V, Mo, Y, Nb, Pb e Zr.

Esse comportamento concorda, em linhas genéricas, salvo algumas exceções, com a subdivisão proposta por Goldschmidt (1934, 1937) referente ao comportamento dos elementos na meteorização baseado no potencial iônico dos mesmos.

O Ba, Rb e o Sr são elementos de mobilidade alta, geralmente associando-se ao K no feldspato potássico; por isto, seus menores teores encontram-se na seqüência de alteração do perfil MHL-3, cuja rocha de origem praticamente não contém este mineral, e, tal como o K, o comportamento geoquímico do Ba neste perfil fica comprometido.

O Ni, Cr, Co, Cu, Zn e V ocorrem nas rochas em minerais ferromagnesianos ou como sulfetos e óxidos primários, justificando seus maiores teores no perfil MHL-3 originado de rocha básica, contendo a maior proporção de

minerais ferromagnesianos (clinopiroxênios e anfibólios). Os menores teores localizam-se no perfil MHL-2 desenvolvido a partir de rocha granítica, estando os teores intermediários no perfil MHL-1, formado pela intemperização de rocha diorítica. Excetua-se o Zn que apresenta magnitude de teores praticamente equivalentes nos três perfis. Estes elementos, de modo geral, apresentam mobilidade variável nos solos; no entanto, esta é limitada pela co-precipitação com óxidos-hidróxidos hidratados de ferro na fase de solos. Precipitam-se, então, nos solos como elementos-traços nos óxidos-hidróxidos hidratados de Fe, Ti e Mn e alguns deles, em especial o Ni e Zn em estruturas de argilo-minerais silicatados (CPRM, inédito). Assim, o enriquecimento real ou relativo desses elementos nos horizontes B_t dos solos estudados, acompanha a concentração de óxidos-hidróxidos de ferro nesse horizonte, tal como o enriquecimento relativo de Fe e Ti discutido anteriormente. Assim, esse enriquecimento relativo no horizonte B_t é mais notório nos perfis MHL-3 e subordinadamente MHL-1 por apresentarem maior concentração de óxidos/hidróxidos de Fe neste horizonte.

O Pb aparece nas rochas participando da estrutura de micas e feldspatos potássicos e também como sulfetos primários, apresentando, então, o maior teor no perfil MHL-2 que apresenta as maiores proporções de micas e feldspatos potássicos. No solo, apresenta mobilidade baixa, limitada, tal como nos elementos acima discutidos (CPRM, inédito), pela precipitação com oxi-hidróxidos de Fe e matéria orgânica, justificando, também por este motivo, seu enriquecimento nos perfis MHL-1 e 3.

O Mo, Y, Nb e Zr são elementos de pequena ocorrência nas rochas ígneas comuns, geralmente ocorrendo em minerais primários acessórios, tais como sulfetos, molibdatos, fosfatos e silicatos. O mais comum em todos os tipos de

rochas ígneas, especialmente as ácidas e intermediárias, é o zircão ($ZrSiO_4$), que pode apresentar Y e Nb em sua estrutura. Assim, os maiores teores de Zr em associação com Y e Nb estão no perfil MHL-2 de origem granítica e os menores teores destes elementos são verificados no perfil MHL-3, de origem básica. Na fase de solo apresentam mobilidade variável, podendo ser limitada pela presença de ferromolibdenita, no caso do Mo, e minerais argilosos silicatados (CPRM, inédito). O enriquecimento relativo e eventualmente real nos horizontes B_t dos perfis estudados encontra-se relacionado com a maior concentração de óxidos-hidróxidos hidratados de Fe e Ti e possível enriquecimento relativo de zircão, que é um dos minerais mais resistentes ao intemperismo.

Elementos das terras raras (ETR)

Os dados geoquímicos dos elementos das terras raras mostram a mobilidade destes elementos no ciclo intempérico para as condições estudadas. Os solos B texturais, dado o seu grau de evolução, provavelmente não possibilitam a fixação dos ETR liberados dos minerais em outras partes dos perfis, impedindo sua concentração. Tal fato está de acordo com as observações de Nesbitt e Taylor (1979), Duddy (1980), Banfield e Eggleton (1989), Formoso, Melfi e Kronberg (1989) e Gasparetto e Menegotto. (1995).

A tendência genérica verificada é de perda, geralmente moderada, com algumas exceções. No perfil MHL-1 observa-se padrão mais uniforme de distribuição dos ETR, onde ganhos de La, Sm e Ho e as menores perdas para os demais ETR encontram-se nos horizontes BC e B_t, evidenciando um enriquecimento relativo.

7 - CONCLUSÕES

Através dos dados geoquímicos obtidos ao longo das seqüências de alteração para os perfis MHL-1, 2 e 3 e sua interpretação, foi possível determinar:

① A discriminação petrológica das rochas frescas de origem sobre as quais os perfis MHL-1, 2 e 3 foram desenvolvidos, corrobora suas classificações nos domínios geológicos selecionados, ou seja:

- Perfil MHL-1: rocha de composição diorítica - Domínio geológico Diorito do Rosário (Quéméneur, inédito);
- Perfil MHL-2: rocha de composição granítica - Domínio geológico Granito de Itutinga (Quéméneur, inédito);
- Perfil MHL-3: rocha básica do Domínio geológico *Greenstone-belt* de Lavras (Quéméneur, inédito).

② A variação geoquímica ocorrida durante os processos de alteração pedogenética, através da distribuição da composição química ao longo da seqüência de alteração pedogenética para os perfis MHL-1, 2 e 3:

- Compatibilidade na magnitude dos teores dos elementos maiores-óxidos constituintes, elementos traços e elementos das terras raras com a composição geoquímica dos materiais de origem, com variação química ao longo das seqüências de alteração proporcional aos teores originais, refletindo em atributos dos solos formados e individualização das classes de solos B texturais.

③ A mobilidade dos elementos químicos ao longo da seqüência de evolução da alteração pedogenética, desde a rocha fresca até o solum, através de cálculos volumétricos e seus respectivos diagramas de teor absoluto x densidade e balanço químico de massa, com estabelecimento de perdas e ganhos de elementos químicos durante os processos de alteração:

- Comportamento geoquímico semelhante para os três perfis estudados, sendo reflexo do processo pedogenético e grau de evolução dos solos B texturais, caracterizado por perda moderada de sílica, enriquecimento relativo de Al, Fe e Ti e lixiviação de bases:

a) Elementos maiores:

- Comportamento geoquímico:

- perdas moderadas de SiO_2 (cerca de 50-60%);
- perdas acentuadas a praticamente totais de CaO, MgO e Na_2O e menos acentuadas para o K_2O ;
- perdas moderadas de MnO (cerca de 50%);
- perdas acentuadas de P_2O_5 , com exceção do perfil MHL-2;
- perdas moderadas de Al_2O_3 , moderadas-baixas de Fe_2O_3 e TiO_2 com enriquecimento relativo nos horizontes B₁.

- Estabelecimento da ordem de perda dos constituintes maiores:

- Perfil MHL-1: $\text{Na} > \text{Ca} > \text{Mg} > \text{K} > \text{Si} > \text{Al} > \text{Fe}$
- Perfil MHL-2: $\text{Ca} > \text{Na} > \text{Mg} > \text{K} > \text{Si} > \text{Fe} > \text{Al}$
- Perfil MHL-3: $\text{Na} > \text{Ca} > \text{Mg} > \text{Si} > \text{K} > \text{Al} > \text{Fe}$

b) Elementos traços:

- Grupamento em duas classes de acordo com o comportamento geoquímico:

- Classe I - Elementos de mobilidade moderada-alta, caracterizando perda da rocha fresca ao sólum, por vezes mais acentuada da rocha fresca ao alterito: Rb, Sr e Ba, este último nos perfis MHL-1 e 2.

- Classe II - Elementos de mobilidade moderada, com perda geralmente acentuada da rocha fresca ao alterito e enriquecimento relativo e eventualmente real no sólum, especialmente no horizonte B: Cr, Co, Cu, Zn, V, Mo, Y, Nb, Pb, Zr.

c) Elementos das terras raras (ETR)

- Grande mobilidade desses elementos no ciclo intempérico para as condições estudadas. Os solos B texturais, dado o seu grau de evolução, provavelmente não possibilitam a fixação dos ETR liberados dos minerais em outras partes dos perfis, impedindo sua concentração.

8 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAKER, W. E. The role of humic acids from Tasmanian podzolic soils in mineral degradation and metal solubilization. *Geochim. Cosmochim. Acta*, v. 37, p. 269-281, 1973. In: TAN, K. H. *Degradation of Soil Minerals by Organic Acids*. In: HUANG, P. M.; SCHNITZER, M. eds. *Interactions of Soil Minerals with Natural Organics and Microbes*. Madison, USA: SSSA Special Publication n. 17, 1986. 606 p.

BANFIELD, J. F.; EGGLETON, R. A. Apatite replacement and Rare Earth mobilization, fractionation and fixation during weathering. *Clays and Clay Minerals*, v. 37, n. 2, p. 113-127, 1989.

- BESOAIN, E. **Mineralogía de Arcillas de Suelos**. San José, Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperacion para la Agricultura, 1985. 1205p.
- BONIFAS, M. **Contribution à l'étude Géochimique de l'alteration latéritique**. Mem. Serv. Carte Géol. d'Alsace et Lorraine, v. 17, 1959. 159p.
- CARVALHO, I. G. **Fundamentos da Geoquímica dos Processos Exógenos**. Salvador: Bureau Gráfica e Editora Ltda, 1995. 213p.
- CORRENS, C. W. Sobre los minerales de las arcillas. *Anales Edaf. y Fis. Veget.*, v. XI, n. 3, p. 283-290, 1952. In: BESOAIN, E. **Mineralogía de Arcillas de Suelos**. San José, Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperacion para la Agricultura, 1985. 1205p.
- CPRM - COMPANHIA DE PESQUISAS E RECURSOS MINERAIS. **Características geoquímicas dos elementos**. Belo Horizonte: CPRM, inédito. 40p.
- DEBON, F; LE FORT, P. A chemical mineralogical classification of common plutonic rocks and associations. *Transactions of the Royal Society of Edinburg: Earth Sciences*, v. 73, p. 135-149, 1983.
- DUDDY, I. R. Redistribution and fractionation of rare earth and other elements in a weathering profile. *Chemistry Geology*, v. 30, p. 363-381, 1980.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Manual de método de análise de solo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS, 1979.
- FORMOSO, M. L. L.; MELFI, A. J.; KRONBERG, B. I. Comportamento dos elementos terras raras no intemperismo tropical. In: FORMOSO, M. L. L.; NARDI, L. V. S.; HARTMANN, L. A. eds. **Geoquímica dos elementos terras raras no Brasil**. CPRM, DNPM, SBGq, 1989. p 109-120.
- GASPARETTO, N. V. L.; MENEGOTTO, E. Comportamento dos elementos terras raras na intemperização de rochas vulcânicas ácidas em clima subtropical. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUIMICA, 5 E CONGRESSO DE GEOQUÍMICA DOS PAÍSES DE LÍNGUA PORTUGUESA, 3, 1995, Niterói, RJ., **Resumos...** Niteróis: SBGq, 1995.

- GOLDICH, S. A. A study in rock-weathering. *Journ. Geol.*, v. 46, p. 17-23, 1938. In: BESOAIN, E. *Mineralogía de Arcillas de Suelos*. San José, Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperacion para la Agricultura, 1985. 1205p.
- GOLDSCHMIDT, V. M. Drei Vorträge über Geochemie. *Geol. Fören. Förhandl.*, v. 56, p. 385-427, 1934. In: BESOAIN, E. *Mineralogía de Arcillas de Suelos*. San José, Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperacion para la Agricultura, 1985. 1205p.
- GOLDSCHMIDT, V. M. The principles of the distribution of chemical elements in minerals and rocks. *J. Chem. Soc. Londres*, v. 40, p. 655-673, 1937. In: BESOAIN, E. *Mineralogía de Arcillas de Suelos*. San José, Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperacion para la Agricultura, 1985. 1205p.
- HANSON, G. N. Rare earth elements in petrogenetic studies of igneous systems. *Ann. Rev. Earth Plan. Sci.*, v. 8, p. 371-406, 1980.
- HENDERSON, P. *Rare earth element geochemistry*. London: British Museum (Natural History), 1984. 369p.
- JENSEN, L. S. A new cation plot for classifying subbalkalic volcanic rocks. *Ont. Div. Mines, Misc. Pap.*, v. 66, 1976. 22p.
- KELLER, W. D. Principles of chemical weathering. Los Angeles: Lucas Brothers, 1957. 11p. In: BESOAIN, E. *Mineralogía de Arcillas de Suelos*. San José, Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperacion para la Agricultura, 1985. 1205p.
- KRAUSKOPF, K. B. *Introdução à Geoquímica*. São Paulo: Polígono, 1972. 2v.
- KRAUSKOPF, K. B. The geochemistry is silica in sedimentary environments. *Silica in sediments. Soc. Econ. Paleontologists Mineralogists Symp.*, v. 7, p. 4-18, 1958. In: LOUGHNAN, F. C. *Chemical weathering of the silicate minerals*, New York: Elsevier, 1969. 154p.
- LA ROCHE, H. Sur l'expression graphique des relations entre la composition chimique et la composition minéralogique quantitative des roches cristallines. *Sciences de La Terre, Nancy, Tome IX*, n. 3, p. 293-337, 1964.

- LOUGHNAN, F. C. **Chemical weathering of the silicate minerals**. New York: Elsevier, 1969. 154p.
- MASON, B. **Principles of Geochemistry**. New York:Wiley, 1952. In: LOUGHNAN, F. C. **Chemical weathering of the silicate minerals**. New York: Elsevier, 1969.154p.
- MILLOT, G.; BONIFAS, M. Transformations isovolumétriques dans les phénomènes de laterisation et de bauxitisation. **Bull. Serv. Carte Géol. d'Alsace et Lorraine**, v. 8, p. 3-20, 1955.
- NANCE, W. B.; TAYLOR, S. R. Rare earth element and crustal evolution. 2-Archean sedimentary rocks from Lalfloorlie, Australia. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 41, p. 225-231, 1977.
- NESBITT, H. W.; TAYLOR, S. R. Mobility and fractionation of rare earth elements during weathering of a granodiorite. **Nature**, v. 279, p. 206-210, 1979.
- POLYNOV, B. B. The cycle of weathering. (A. Muir, transl) Thos. Murby., London, 1937. In: LOUGHNAN, F. C. **Chemical weathering of the silicate minerals**. New York: Elsevier, 1969. 154p.
- QUÉMÉNEUR, J. J. G. Os magmatismos de idade Arqueana e Transamazônica na Região Campo das Vertentes, MG (Sul do Cráton São Francisco), com base em geoquímica e geocronologia. Belo Horizonte: CPMTC/UFMG, 79p.(inédito)
- SINGER, A.; NAVROT, J. Extration of metals from basalt by humic acids. **Nature**, v. 262, p. 479-481, 1976. In: TAN, K. H. Degradation os Soil Minerals by Organic Acids. In: HUANG, P. M.; SCHNITZER, M. eds. **Interactions of Soil Minerals with Natural Organics and Microbes**. Madison, USA: SSSA Special Publication n. 17, 1986. 606 p.
- STEVENS, R. E.; CARRON, M. K. Simple field test for distinguishing minerals by abrasion pH. **Am. Mineralogist**, v. 33, p. 31-49, 1948. In: BESOAIN, E. **Mineralogía de Arcillas de Suelos**. San José, Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperacion para la Agricultura, 1985. 1205p.
- TAN, K. H. Degradation os Soil Minerals by Organic Acids. In: HUANG, P. M.; SCHNITZER, M. eds. **Interactions of Soil Minerals with Natural**

Organics and Microbes. Madison, USA: SSSA Special Publication n. 17, 1986. 606 p.

TATE, K. R. THENG, B. K. G. Organic matter and its interactions with inorganic soil constituents, 1980. In: THENG, B. K. G. ed. Soils with variable charge. New Zealand Society of Soil Science, Soils Bureau, Department of Science and Industrial Research, Lower Hutt. In: TAN, K. H. Degradation of Soil Minerals by Organic Acids. In: HUANG, P. M.; SCHNITZER, M. eds. **Interactions of Soil Minerals with Natural Organics and Microbes.** Madison, USA: SSSA Special Publication n. 17, 1986.606 p.